



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
PARA EL PULIDO AUTOMÁTICO DE SUPERFICIES PLANAS  
DE ACERO INOXIDABLE PARA LA EMPRESA SERVITORNO**

**AUTORES:                   MERCEDES SILVANA VALLE LALAMA  
                                  EDGAR BENJAMÍN AQUIETA TIBÁN**

**DIRECTOR: ING. OSCAR ARTEAGA**

**CODIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR**

**LATACUNGA**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE-L****CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA****CERTIFICADO**

**ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)**  
**ING. FREDDY SALAZAR (CODIRECTOR)**

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado: “**Diseño y construcción de una máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable para la empresa Servitorno**”, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto los cuales contienen los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF), Autorizan a la señorita MERCEDES SILVANA VALLE LALAMA y EDGAR BENJAMÍN AQUIETA TIBÁN, que lo entreguen a la Ing. TORRES KATYA, en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, Julio del 2015

-----  
**Ing. Oscar Arteaga.**

**DIRECTOR**

-----  
**Ing. Freddy Salazar.**

**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE-L****CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

**Nosotros, Mercedes Silvana Valle Lalama y Edgar Benjamín Aquieta Tibán.**

**DECLAROMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado: **“Diseño y construcción de una máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable para la empresa Servitorno”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio del 2015

-----  
**Mercedes Silvana Valle Lalama**

**C.C.: 1803581931**

-----  
**Edgar Benjamín Aquieta Tibán**

**C.C.: 0503145989**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA****AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

**Nosotros, Mercedes Silvana Valle Lalama y Edgar Benjamín Quieta Tibán**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo: **“Diseño y construcción de una máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable para la empresa Servitorno”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2015.

-----  
**Mercedes Silvana Valle Lalama**

**C.C.: 1803581931**

-----  
**Edgar Benjamín Quieta Tibán**

**C.C.: 0503145989**

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación le dedico completamente a la persona más importante de mi vida que, aunque hoy físicamente no me acompaña está más presente que nunca, ahora vive dentro de mi corazón y su presencia espiritual me acompaña todos los días de mi vida, por nuestra promesa de estar siempre juntos como siempre estuvimos, por todo el amor que nos unía y nos une, por todo lo que me enseñó, por todo lo que soy, por su apoyo incondicional por el amor más puro de mi vida, por ser mi padre y mi madre, por ser todo en mi vida, por ser la persona más buena y noble que he conocido y gracias a Dios que me lo regalo para poder llamarlo Padre, nadie como él que me ayudo en todo lo que he hecho en mi vida y en especial a construir este proyecto, ahí también está su esfuerzo y el gran amor que me tuvo, gracias Papito gracias mi Tutito amado, gracias por enseñarme a amar, desde el cielo vera como la niña de sus ojos, su runita, su mano derecha e izquierda como me decía, surge con sus enseñanzas, papito le amo, gracias por todo, este triunfo es para usted, el abrazo que me daría hoy, queda pendiente para cuando nos encontremos en el cielo mi angelito bello.

**Silvana Valle**

## DEDICATORIA

Este paso más como estudiante lo dejo plasmado en este pequeño esfuerzo y lo dedico de la forma más sincera a los seres que yo más amo en este momento; a toda mi familia en especial a mis padres, quienes con su sacrificio y esfuerzo valoraron a un ser que un día fue niño, adolescente y hoy un ser que pretende ser útil a la sociedad. Y a todos mis herman@s con quienes encontré los valores de sacrificio.

Además lo dedico a mis amigos y amigas con quienes compartí este largo trayecto como estudiante.

“Mi forma de ser, será el escudo para defenderme en esta vida”

**Benjamín Quieta**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente a Dios por darme la vida y por darme las fuerzas y paciencia necesaria para hacer realidad este logro de mi vida, y por todas las pruebas que me ha puesto para ayudarme a crecer y ser más fuerte.

Agradezco infinitamente a mi Padre, Jorge Washington Valle Ulloa que me ayudó con ideas y con sus manitos a hacer la máquina, quien con sus palabras de aliento y de enojo me empujó a hacer bien las cosas, gracias por enseñarme a ser buena persona como él lo fue, por el apoyo, por el amor, gracias por ser simplemente mi papito lindo, que hoy me acompaña desde el cielo y vive en la Gloria de Dios.

A mi compañero de tesis, Benjamín Quieta, que me apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, por toda la comprensión que me tuvo mientras hacíamos este proyecto, a pesar de mis dificultades nunca me reprochó, gracias por ser una persona incondicional, gracias por tus palabras de aliento, gracias por darme la oportunidad de poder llamarte amigo.

A mis tíos que con sus palabras de apoyo me han alentado a culminar este trabajo, Cecilia, Edwin y Gloria Lalama; Diego y Guillermo Valle; Cecilia Acurio.

A mis amigos Raúl, Amarilis, Mayra, Vero, Pato, Esteban, Santiago, Marcelo, Esponjita, Gloria, Dra. Betty Freire y Dr. Galo Peñaherrera.

A los empleados de Servitorno que me ayudaron en todo lo que les pedí, en especial a Enrique Bravo y Fabian Gómez.

A mi Gary que con su presencia y compañía a hecho más que con palabras, mi amiga incondicional.

**Silvana Valle**

## **AGRADECIMIENTO**

Los más sinceros sentimientos de gratitud hacia:

Dios y la Virgen María por darme la oportunidad de seguir en el camino de la vida.

Mis padres por regalarme el amor y el afecto en los momentos de alegría y tristeza.

Mis herman@s quienes me apoyaron en todo momento; gracias por los detalles en esos momentos difíciles.

Los docentes quienes compartieron sus conocimientos y apoyo en este trayecto más como estudiante.

Mis amig@s quienes me acompañaron en este largo caminar como estudiante, en especial a Silvana Valle.

**Benjamín Quieta**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICADO</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>1</b>
1.1 Estudio del acabado de superficies en acero inoxidable (304) .....	1
1.2 Recomendaciones del acabado superficial .....	2
1.2.1 Acabado superficial 2K .....	2
1.2.2 Elementos que se utilizan en los procesos de acabados superficiales .....	2
1.2.3 Velocidades de bandas abrasivas y discos para los procesos de acabados superficiales .....	5
1.2.4 Procesos de acabado mecánico con abrasivos .....	7
1.2.5 Estudio para el diseño e implementación mecánica de los procesos de acabado mecánico .....	9
1.2.6 Filosofía de diseño .....	10
1.2.7 Herramienta computacional para ahorrar tiempo y recursos en el diseño .....	11
1.2.8 Características de los elementos mecánicos de la máquina .....	12
1.2.9 Estudio para el diseño e implementación eléctrica y electrónica de los procesos de acabado mecánico .....	18

1.2.10	Herramientas computacionales para la simulación, comunicación, visualización y monitoreo de los procesos de acabado mecánico .....	19
1.2.11	Características de los elementos eléctricos y electrónicos de la máquina .....	20
1.3	Estudio para el diseño e implementación neumática de los procesos de acabado mecánico.....	25
1.3.1	Criterios de diseño .....	25
1.3.2	Herramienta computacional para el desarrollo de la implementación electroneumática.....	25
1.3.3	Características de los elementos neumáticos y electroneumáticos de la máquina.....	26
<b>CAPITULO II .....</b>		<b>28</b>
<b>DISEÑO, SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO .....</b>		<b>28</b>
2.1	Introducción.....	28
2.2	Parámetros de diseño .....	28
2.2.1	Esquema preliminar de la maquina de pulido .....	29
2.2.2	Diseño mecánico de la máquina .....	30
2.4.1	Diseño del sistema de esmerilado .....	30
2.4.2	Diseño del sistema de pulido .....	53
2.4.3	Diseño del sistema de abrillantado .....	70
2.4.4	Diseño del sistema de banda transportadora.....	84
2.4.5	Modelo completo de la maquina de pulido .....	99
2.5	Diseño del sistema eléctrico.....	100
2.5.1	Acondicionamiento del sistema eléctrico .....	100
2.5.2	Dimensionamiento y selección eléctrica .....	102
2.6	Diseño, dimensionamiento y selección electrónica .....	107
2.6.1	Variador de frecuencia ls .....	107
2.6.2	Decodificador rotativo incremental bidireccional ibest.....	109
2.6.3	Sensor inductivo ibest .....	111
2.6.4	Plc xlogic.....	112
2.6.5	Módulo xlogic hmi elc.....	113
2.6.5	Fuente de alimentación .....	113

2.7	Diseño del algoritmo de programación del plc .....	114
2.8	Diseño del algoritmo de programación de la pantalla hmi.....	116
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>117</b>
<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS SISTEMAS DE LA</b>		
<b>MÁQUINA.....</b>		<b>117</b>
3.1	Construcción del sistema mecánico.....	117
3.1.1	Construcción del soporte esmerilado .....	117
3.1.2	Construcción del soporte pulido .....	118
3.1.3	Construcción del soporte abrillantado .....	120
3.1.4	Construcción del rodillo motriz de los sistemas.....	121
3.1.5	Construcción rodillo conducido de los sistemas.....	122
3.1.6	Construcción del soporte de la banda.....	123
3.1.7	Construcción rodillo motriz banda .....	124
3.1.8	Construcción rodillo conducido banda .....	126
3.1.9	Construcción del tornillo tensor .....	127
3.1.10	Construcción de la mesa soporte.....	128
3.2	Montaje del sistema mecánico .....	129
3.2.1	Diagrama de procesos del ensamblaje total de la máquina de abrillantado de superficies planas de acero inoxidable .....	131
3.3	Montaje del sistema eléctrico, electrónico y electroneumático....	132
3.3.1	Acondicionamiento para el correcto funcionamiento eléctrico de la máquina.....	133
3.3.2	Montaje del tablero de control eléctrico.....	133
3.4	Programa del plc xlogic elc-12dc-da-r hmi .....	139
3.5	Programa del módulo hmi elc-md204lv4.....	142
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>146</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>		<b>146</b>
4.1	Pruebas del sistema mecánico .....	146
4.1.1	Pruebas con variación de velocidad (sistema motorreductor).....	146
4.1.2	Pruebas con variación de las alturas (sistemas de elevación) ....	148
4.2	Pruebas del sistema eléctrico .....	151

4.4.	Elaboración de un manual de procedimiento para la operación de la máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable .....	152
4.5	Análisis financiero .....	153
4.5.1	Análisis de tiempos .....	153
4.5.2	Análisis de costos .....	153
4.5.3	Inversión total.....	158
4.5.4	Análisis de producción y costos antes y después de la construcción de la máquina de pulido automático de superficies planas de acero inoxidable .....	158
4.5.5	Financiamiento.....	160
4.6	Análisis técnico - económico.....	160
4.6.1	Flujo de caja.....	160
4.6.2	Valor actual neto y tasa interna de retorno .....	161
4.6.3	Período de recuperación de la inversión.....	162
4.6.4	Relación beneficio-costo (b/c).....	164
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>165</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>165</b>
5.1	Conclusiones.....	165
5.2	Recomendaciones .....	166
Referencias bibliográficas.....		<b>167</b>
Anexos.....		<b>170</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. 1</b>	<b>Métodos de predicción de falla.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 1. 2</b>	<b>Comparación entre los principales tipos de rodamientos.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 1. 3</b>	<b>Tamaño de cadenas con rodamientos.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2. 1</b>	<b>Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Esmerilado.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 2. 2</b>	<b>Propiedades de material del sistema de esmerilado.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 2. 3</b>	<b>Análisis de sujeciones del sistema de esmerilado.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 2. 4</b>	<b>Análisis de cargas del sistema de esmerilado.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 2. 5</b>	<b>Tensión de Von Mises en el sistema de esmerilado.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 2. 6</b>	<b>Desplazamientos resultantes del sistema de esmerilado.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 2. 7</b>	<b>Factor de seguridad en el sistema de esmerilado.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 2. 8</b>	<b>Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Pulido.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 2. 9</b>	<b>Propiedades del material del sistema de pulido.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 2. 10</b>	<b>Análisis de sujeción del sistema de esmerilado.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 2. 11</b>	<b>Análisis de cargas del sistema de esmerilado.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 2. 12</b>	<b>Tensión de Von Mises en el sistema de pulido.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 2. 13</b>	<b>Desplazamientos resultantes del sistema de pulido.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 2. 14</b>	<b>Factor de seguridad en el sistema de pulido.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 2. 15</b>	<b>Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Pulido.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 2. 16</b>	<b>Propiedades del material del sistema de abrillantado.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 2. 17</b>	<b>Análisis de sujeción del sistema de abrillantado.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 2. 18</b>	<b>Análisis de carga del sistema de abrillantado.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 2. 19</b>	<b>Tensión de Von Mises en el sistema de abrillantado.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 2. 20</b>	<b>Desplazamientos resultantes del sistema de abrillantado.....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 2. 21</b>	<b>Factor de seguridad en el sistema de abrillantado.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 2. 22</b>	<b>Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Soporte de la banda.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 2. 23</b>	<b>Propiedades del material del sistema soporte de la banda.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 2. 24</b>	<b>Análisis de sujeción del sistema soporte de la banda.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 2. 25</b>	<b>Análisis del sistema de carga del sistema de soporte de la banda.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 2. 26</b>	<b>Tensión de Von Mises en el sistema de soporte de la banda...97</b>	

<b>Tabla 2. 27</b> Desplazamientos resultantes del sistema de soporte de la banda.....	<b>98</b>
<b>Tabla 2. 28</b> Factor de seguridad del sistema de soporte de la banda.....	<b>99</b>
<b>Tabla 2. 29</b> Selección de los dispositivos de protección de los elementos de la máquina.....	<b>103</b>
<b>Tabla 2. 30</b> Selección de los relés auxiliares.....	<b>105</b>
<b>Tabla 2. 31</b> Selección del pulsador de paro general.....	<b>106</b>
<b>Tabla 2. 32</b> Selección del conmutador de levas.....	<b>106</b>
<b>Tabla 2. 33</b> Selección de las válvulas solenoides.....	<b>107</b>
<b>Tabla 2. 34</b> Selección del Variador de frecuencia para control del motoreductor de la banda transportadora.....	<b>108</b>
<b>Tabla 2. 35</b> Selección del interruptor termomagnético del variador de frecuencia.....	<b>108</b>
<b>Tabla 2. 36</b> Selección del decodificador rotativo sistemas 1 y 3.....	<b>110</b>
<b>Tabla 2. 37</b> Número de entradas analógicas y digitales de los elementos auxiliares.....	<b>112</b>
<b>Tabla 2. 38</b> Número de salidas analógicas y digitales.....	<b>112</b>
<b>Tabla 2. 39</b> Selección de la fuente de alimentación.....	<b>113</b>
<b>Tabla 3. 1</b> Diagrama de procesos del soporte esmerilado.....	<b>118</b>
<b>Tabla 3. 2</b> Diagrama de procesos del soporte pulido.....	<b>119</b>
<b>Tabla 3. 3</b> Diagrama de procesos del soporte abrillantado.....	<b>120</b>
<b>Tabla 3. 4</b> Diagrama de procesos del rodillo motriz de los sistemas.....	<b>121</b>
<b>Tabla 3. 5</b> Diagrama de procesos del rodillo conducido de los sistemas...	<b>122</b>
<b>Tabla 3. 6</b> Diagrama de procesos de soporte de la banda.....	<b>123</b>
<b>Tabla 3. 7</b> Diagrama de procesos del rodillo motriz banda.....	<b>125</b>
<b>Tabla 3. 8</b> Diagrama de procesos del rodillo conducido banda.....	<b>127</b>
<b>Tabla 3. 9</b> Diagrama de procesos del tornillo tensor.....	<b>128</b>
<b>Tabla 3. 10</b> Diagrama de procesos de la mesa soporte.....	<b>129</b>
<b>Tabla 3. 11</b> Diagrama de procesos del ensamblaje total de la máquina de abrillantado de superficies planas de acero inoxidable.....	<b>131</b>
<b>Tabla 3. 12</b> Calibres seleccionados para los elementos de la máquina....	<b>135</b>
<b>Tabla 3. 13</b> Terminales para diferentes calibres de conductores.....	<b>136</b>
<b>Tabla 3. 14</b> Selección de las variables de salida para el PLC.....	<b>142</b>
<b>Tabla 3. 15</b> Selección de las variables de entradas para el PLC.....	<b>142</b>

<b>Tabla 3. 16</b>	<b>Elementos para la visualización en la primera pantalla.....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 3. 17</b>	<b>Elementos para la visualización en la segunda pantalla.....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 4. 1</b>	<b>Pruebas de tiempos según velocidad de avance de la banda transportadora.....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 4. 2</b>	<b>Variación de alturas de los sistemas 1 y 3 para las superficies planas.....</b>	<b>149</b>
<b>Tabla 4. 3</b>	<b>Cantidad de superficies planas por minuto con un acabado de alta calidad.....</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 4. 4</b>	<b>Pruebas del sistema eléctrico.....</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 4. 5</b>	<b>Pruebas de conexiones de comunicación.....</b>	<b>152</b>
<b>Tabla 4. 6</b>	<b>Tabla de tiempos del proceso total de la tapa y platina.....</b>	<b>153</b>
<b>Tabla 4. 7</b>	<b>Costos de materiales sistemas mecánicos.....</b>	<b>154</b>
<b>Tabla 4. 8</b>	<b>Costos de material eléctrico y electrónico.....</b>	<b>155</b>
<b>Tabla 4. 9</b>	<b>Costos de mano de obra.....</b>	<b>157</b>
<b>Tabla 4. 10</b>	<b>Costos suministro eléctrico.....</b>	<b>157</b>
<b>Tabla 4. 11</b>	<b>Costos extras.....</b>	<b>158</b>
<b>Tabla 4. 12</b>	<b>Inversión Total.....</b>	<b>158</b>
<b>Tabla 4. 13</b>	<b>Tabla comparativa de costo del proceso total de forma manual y automático.....</b>	<b>159</b>
<b>Tabla 4. 14</b>	<b>Cálculo de valor ahorrado mensual.....</b>	<b>159</b>
<b>Tabla 4. 15</b>	<b>Flujo de caja.....</b>	<b>160</b>
<b>Tabla 4. 16</b>	<b>Valores de VAN Y TIR.....</b>	<b>162</b>
<b>Tabla 4. 17</b>	<b>Flujos futuros.....</b>	<b>163</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1</b> Acabado 2K.....	<b>2</b>
<b>Figura 1. 2</b> Bandas abrasivas largas y cortas.....	<b>3</b>
<b>Figura 1. 3</b> Granos típicos de lijas según el tipo de operación.....	<b>4</b>
<b>Figura 1. 4</b> Disco de tela.....	<b>5</b>
<b>Figura 1. 5</b> Pastas para abrillantar.....	<b>5</b>
<b>Figura 1. 6</b> Velocidades de procesos de acabados mecánicos superficiales.....	<b>6</b>
<b>Figura 1. 7</b> Velocidades periféricas para bandas cortas y largas.....	<b>6</b>
<b>Figura 1. 8</b> Esmerilador de banda abrasiva.....	<b>8</b>
<b>Figura 1. 9</b> Pulidor con banda abrasiva.....	<b>8</b>
<b>Figura 1. 10</b> Abrillantador con disco de tela.....	<b>9</b>
<b>Figura 1. 11</b> Cinta transportadora.....	<b>13</b>
<b>Figura 1. 12</b> Tipos de cojinetes.....	<b>13</b>
<b>Figura 1. 13</b> Estilo de cabezas disponibles en tornillos, pernos y prisioneros.....	<b>16</b>
<b>Figura 1. 14</b> Configuraciones prácticas de los extremos de los resortes cilíndricos de compresión y extensión respectivamente.....	<b>17</b>
<b>Figura 1. 15</b> Acople rígido tipo mordaza “L”.....	<b>18</b>
<b>Figura 1. 16</b> Motor Trifásico WEG W22.....	<b>20</b>
<b>Figura 1. 17</b> Motor monofásico de baja velocidad y alto torque.....	<b>21</b>
<b>Figura 1. 18</b> Sensor inductivo tipo PNP y NPN.....	<b>21</b>
<b>Figura 1. 19</b> Encoder rotativo incremental bidireccional.....	<b>22</b>
<b>Figura 1. 20</b> Relés, Micro-Relés y Contactores.....	<b>23</b>
<b>Figura 1. 21</b> LOGO! Siemens (0BA6).....	<b>23</b>
<b>Figura 1. 22</b> LOGO! TD.....	<b>24</b>
<b>Figura 1. 23</b> Diagrama básico de las conexiones en un inversor.....	<b>24</b>

<b>Figura 1. 24</b> Válvulas electroneumáticas.....	<b>26</b>
<b>Figura 1. 25</b> Cilindro de doble efecto con el vástago dentro y fuera de la cámara.....	<b>27</b>
<b>Figura 2. 1</b> Esquema preliminar de la máquina de pulido.....	<b>30</b>
<b>Figura 2. 2</b> Sistema de esmerilado.....	<b>31</b>
<b>Figura 2. 3</b> Fuerza de esmerilado.....	<b>33</b>
<b>Figura 2. 4</b> Cargas en el eje del rodillo motriz.....	<b>34</b>
<b>Figura 2. 5</b> Momento de flexión máximo en el rodillo motriz.....	<b>35</b>
<b>Figura 2. 6</b> Fuerza de tensión de la banda abrasiva.....	<b>37</b>
<b>Figura 2. 7</b> Cargas sobre el rodillo tensor.....	<b>38</b>
<b>Figura 2. 8</b> Esfuerzos en la Estructura Soporte del Sistema de Esmerilado.....	<b>46</b>
<b>Figura 2. 9</b> Mallado del sistema de esmerilado.....	<b>50</b>
<b>Figura 2. 10</b> Sistema de pulido.....	<b>54</b>
<b>Figura 2. 11</b> Cargas generadas en el pulido.....	<b>56</b>
<b>Figura 2. 12</b> Cargas en el mecanismo de presión para el pulido.....	<b>58</b>
<b>Figura 2. 13</b> Esfuerzos en la Estructura Soporte del Sistema de Esmerilado.....	<b>60</b>
<b>Figura 2. 14</b> Mallado del sistema de pulido.....	<b>67</b>
<b>Figura 2. 15</b> Sistema de abrillantado.....	<b>71</b>
<b>Figura 2. 16</b> Cargas generadas en el abrillantado.....	<b>72</b>
<b>Figura 2. 17</b> Cargas en el eje del rodillo motriz.....	<b>74</b>
<b>Figura 2. 18</b> Momento de flexión máximo en el eje del rodillo de abrillantado.....	<b>75</b>
<b>Figura 2. 19</b> Esfuerzos en la Estructura Soporte del Sistema de Abrillantado.....	<b>77</b>
<b>Figura 2. 20</b> Malla Solida del sistema de abrillantado.....	<b>80</b>
<b>Figura 2. 21</b> Sistema de banda transportadora.....	<b>84</b>

<b>Figura 2. 22</b> Cargas sobre la banda transportadora.....	<b>85</b>
<b>Figura 2. 23</b> Momento de flexión máximo en el rodillo motriz.....	<b>87</b>
<b>Figura 2. 24</b> Esfuerzos en la Estructura Soporte de la Banda Transportadora.....	<b>90</b>
<b>Figura 2. 25</b> Malla Solida del sistema de soporte de banda.....	<b>96</b>
<b>Figura 2. 26</b> Ensamblaje completo de la máquina pulidora.....	<b>100</b>
<b>Figura 2. 27</b> Conmutador de levas de dos posiciones e interruptor termomagnético.....	<b>104</b>
<b>Figura 2. 28</b> Algoritmo de programación.....	<b>115</b>
<b>Figura 2. 29</b> Algoritmo de programación pantalla HMI.....	<b>116</b>
<b>Figura 3. 1</b> Soporte esmerilado.....	<b>117</b>
<b>Figura 3. 2</b> Soporte pulido.....	<b>119</b>
<b>Figura 3. 3</b> Soporte abrillantado.....	<b>120</b>
<b>Figura 3. 4</b> Rodillo motriz de los sistemas.....	<b>121</b>
<b>Figura 3. 5</b> Rodillo conducido de los sistemas.....	<b>122</b>
<b>Figura 3. 6</b> Soporte de la banda.....	<b>123</b>
<b>Figura 3. 7</b> Rodillo motriz banda.....	<b>125</b>
<b>Figura 3. 8</b> Rodillo conducido banda.....	<b>126</b>
<b>Figura 3. 9</b> Tornillo tensor.....	<b>128</b>
<b>Figura 3. 10</b> Construcción mesa soporte.....	<b>129</b>
<b>Figura 3. 11</b> Elementos que conforman la máquina pulidora de superficies de acero inoxidable.....	<b>130</b>
<b>Figura 3. 12</b> Selección del lugar para el tablero de control eléctrico.....	<b>133</b>
<b>Figura 3. 13</b> Elementos colocados simultáneamente en el tablero de control.....	<b>134</b>
<b>Figura 3. 14</b> Colocación del riel Din y canaleta.....	<b>134</b>
<b>Figura 3. 15</b> Montaje y conexión de los elementos en el tablero de control.....	<b>135</b>

<b>Figura 3. 16</b>	Borneras individuales de conexión.....	<b>136</b>
<b>Figura 3. 17</b>	Montaje del módulo ELC HMI, conmutador y paro general...	<b>137</b>
<b>Figura 3. 18</b>	Montaje de los sensores en los sistemas de elevación.....	<b>137</b>
<b>Figura 3. 19</b>	Montaje de los encoder en los sistemas de abrillantado y esmerilado respectivamente.....	<b>138</b>
<b>Figura 3. 20</b>	Caja con borneras para los sensores de proximidad y rotación.....	<b>138</b>
<b>Figura 3. 21</b>	Instalación del motorreductor 0.5Hp.....	<b>139</b>
<b>Figura 3. 22</b>	Instalación de las válvulas solenoides.....	<b>139</b>
<b>Figura 3. 23</b>	Creación de un nuevo proyecto en el software xLogicsoft....	<b>140</b>
<b>Figura 3. 24</b>	Selección del tipo de módulo principal del PLC.....	<b>141</b>
<b>Figura 3. 25</b>	Área de trabajo software xLogicsoft.....	<b>141</b>
<b>Figura 3. 26</b>	Software TP200.....	<b>143</b>
<b>Figura 3. 27</b>	Selección del PLC.....	<b>143</b>
<b>Figura 3. 28</b>	Primera pantalla “INICIO”.....	<b>144</b>
<b>Figura 3. 29</b>	Segunda pantalla “SET/ACTUAL”.....	<b>145</b>
<b>Figura 4. 1</b>	Platina y tapa pulida con velocidad baja de la banda transportadora.....	<b>147</b>
<b>Figura 4. 2</b>	Tapa y platina con un acabado mecánico superficial reflectante.....	<b>148</b>
<b>Figura 4.3</b>	Altura final ideal de los sistemas 1 y 3 para el acabado superficial.....	<b>149</b>
<b>Figura 4. 4</b>	Tapa con un acabado alto.....	<b>150</b>
<b>Figura 4. 5</b>	Platina con un acabado alto.....	<b>150</b>
<b>Figura 4. 6</b>	Configuración de la comunicación entre PC y PLC.....	<b>152</b>

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el “Diseño y construcción de una máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable para la empresa Servitorno”. El diseño se realizó con Solid Works 2015 para ahorrar recursos y así determinar el factor de seguridad para que no falle en su proceso. La máquina tiene tres sistemas principales en línea que son: esmerilado, pulido y abrillantado, por los cuales las piezas se desplazan mediante un sistema de banda transportadora con control de velocidad. El esmerilado y pulido poseen bandas abrasivas con un determinado grano abrasivo mientras que el abrillantado tiene un disco de tela con características de acuerdo a las exigencias de manufactura del acero inoxidable. Los sistemas de esmerilado y pulido tienen un mecanismo de elevación para cuando exista superficies planas con espesores mayores o menores. Para que la superficie plana obtenga un acabado correcto se utiliza: pasta abrasiva que se adhiere por medio de un pistón neumático en el sistema de abrillantado y fuerza de presión con otro pistón neumático en el sistema de pulido. Con el PLC Xlogic se controla el encendido de todos los sistemas de la máquina, la activación de un variador de frecuencia para el control de la banda transportadora y también maneja las señales de los sensores de proximidad y rotación que controlan los mecanismos de elevación. Finalmente con la implementación de un módulo ELC HMI se realiza la interface HMI para la visualización y mando de los sistemas de la máquina pulidora.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ACERO INOXIDABLE**
- **EMPRESA SERVITORNO**
- **BANDA TRANSPORTADORA**
- **ACERO - INDUSTRIAS Y COMERCIO**

## **ABSTRACT**

This project is about the "Design and construction of a machine for automatic polished of flat stainless steel surfaces for company ServiTorno". The design was made with Solid Works 2015 to save resources and to determine the safety factor it will fail in the process. The machine has three main systems online are: grinding, buffing and polishing, whereby the pieces are moved by a conveyor belt system with speed control. Grinding and polishing abrasive belts have a certain abrasive grain while buffing has a disk with features according to the demands of manufacturing stainless steel. The grinding and polishing systems have a lifting mechanism for flat surfaces where there is greater or lesser thickness. The flat surface to obtain a proper finish used: abrasive paste which adheres via a pneumatic piston in the polishing system and another pressing force in the pneumatic piston polishing system. With the PLC XLogic control the start-up power to all machine systems controlling the activation of an inverter to control the conveyor belt and also handles signals from proximity sensors and controlling rotation hoists. Finally, with the implementation of a ELC HMI interface module for viewing and control systems polishing machine it is performed.

### **KEYWORDS:**

- **STAINLESS STEEL**
- **COMPANY SERVITORNO**
- **CONVEYOR BELT**
- **STEEL - INDUSTRIES AND COMMERCE**

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 ESTUDIO DEL ACABADO DE SUPERFICIES EN ACERO INOXIDABLE (304)

Casi cualquier elemento de metal se pueden pulir a un brillo alto o un brillo satinado con la rueda de pulido correcta y el compuesto de pulido adecuado. La composición molecular de diferentes metales es tan diferente como el aspecto, la densidad y brillo de los metales mismos.

Cada metal requiere distintos procesos de pulido, esto dependerá del acabado final que se desea, especialmente en el acero inoxidable se tiene un mayor cuidado, ya que depende también del uso que se le vaya a dar a la pieza final, pues es distinto el acero inoxidable de uso alimentario y el que se va a utilizar tan solo como elemento decorativo.

Para poder detallar el tipo de acabado y tipo de laminado del acero inoxidable es necesario basarse en las *Normas Europeas*, específicamente la *Norma EN 10088* (Anexo A-1) que posee toda la información necesaria sobre el acabado del acero inoxidable específicamente. En la parte 2 de esta norma se detallan los acabados superficiales acabados mecánicamente de los aceros inoxidables laminados en caliente y en frío. Los acabados superficiales se designan con un número, 1 para los laminados en caliente, 2 para los laminados en frío, y se clasifican con una combinación de números y letras; este sistema proporciona información básica sobre su proceso de fabricación y su descripción, aunque no su aplicación práctica.

## 1.2 RECOMENDACIONES DEL ACABADO SUPERFICIAL

Para realizar el acabado mecánico superficial es necesario analizar el tipo de material que se va utilizar, sus propiedades mecánicas y la aplicación que va tener luego de todo el proceso. Según *Euro Inox* recomienda utilizar un acabado superficial 2K.

### 1.2.1 ACABADO SUPERFICIAL 2K

La superficie lisa reflectante de este tipo lo hace adecuado a la mayoría de aplicaciones arquitectónicas, sobre todo en el exterior donde las condiciones atmosféricas son críticas. El acabado se obtiene usando cintas o cepillos de esmeril más fino que proporcionan un acabado limpio con una rugosidad de  $Ra = 0,5$  micrones como máximo. (Figura 1.1) [1]



**Figura 1. 1 Acabado 2K**

**Fuente: [1]**

### 1.2.2 ELEMENTOS QUE SE UTILIZAN EN LOS PROCESOS DE ACABADOS SUPERFICIALES

En muchas de las manufacturas, los requisitos de acabado superficial y de exactitud dimensional de las partes son demasiado finos, el material de la pieza es demasiado duro o es demasiado frágil para poder producirlas sólo con cualquiera de los procesos.

Los mejores métodos para producir estas partes es el maquinado con abrasivo.

Para los procesos mecánicos de acabados superficiales de Acero Inoxidable 304 que existen hoy en día es recomendable utilizar según grandes industrias de pulido como Euro Inox los siguientes elementos:

#### a. BANDAS ABRASIVAS

Un abrasivo es una partícula dura, pequeña y no metálica que tiene aristas agudas y forma irregular. Los abrasivos son capaces de quitar pequeñas cantidades de material de una superficie, mediante un proceso de corte que produce virutas diminutas.

Los recientes desarrollos en tecnología de bandas abrasivas han producido paños abrasivos con aditivos de refrigeración incorporados. Estos reducen el calor generado durante el proceso y ofrecen una vida de servicio mejor. [2]

En la figura 1.2 se muestra los distintos tipos de bandas abrasivas que se pueden conseguir en el mercado.



**Figura 1. 2 Bandas abrasivas largas y cortas**

**Fuente: [3]**

Euro Inox recomienda utilizar bandas abrasivas las cuales poseen componentes químicos abrasivos para los respectivos procesos mecánicos de acabados superficiales de acero inoxidable.

En la Figura 1.3 se muestra los granos típicos de lijas para determinadas operaciones.

Operación	Tamaño de grano típico
• Eliminación de costuras de soldadura (requiere acabado más fino)	36
• Esmerilado de material laminado en caliente "1D"	36/60
• Prepulido de acero inoxidable laminado en frío	80/120
• Pulido como paso de acabado o como preparación	120/180/240
• Pulido final (etapas finales)	320/400

**Figura 1. 3 Granos típicos de lijas según el tipo de operación**

**Fuente: [2]**

La línea de bandas abrasivas *Fandeli* y *Pferd* (Anexo A-2) posee productos que se encuentran relacionados con las recomendaciones de Euro Inox, las cuales se detallan a continuación:

- **BANDA ABRASIVA PARA EL ESMERILADO**

Para este tipo de proceso de acabado mecánico se va utilizar una banda que posee un abrasivo de zirconio, grano ANSI P80.

- **BANDA ABRASIVA PARA EL PULIDO**

Para el proceso de pulido se va a utilizar una banda con abrasivo óxido de aluminio premium, grano FEPA P150.

- **DISCOS PARA ABRILLANTAR**

Adicional a las bandas abrasivas convencionales en las que se puede escoger el tamaño de grano, material y otras características, existen otros elementos complementarios que se darán al proceso de abrillantado del acero inoxidable que se requiere especialmente en elementos decorativos.

Los discos para abrillantar son mopas de algodón, sisal o fieltro, los cuales son capaces de quitar imperfecciones (rayones) que las bandas abrasivas convencionales no hayan quitado. (Figura 1.4) (Anexo A-3).



**Figura 1. 4 Disco de tela**

**Fuente: [4]**

#### **a. CREMAS Y PASTAS ABRILLANTADORAS**

La pasta o cremas se utilizan para dar el acabado final del abrillantado, se usa como complemento con el disco de tela de acuerdo al proceso y material. (Anexo A-4).

En la figura 1.5 se muestra las pastas para abrillantar disponibles en el mercado.



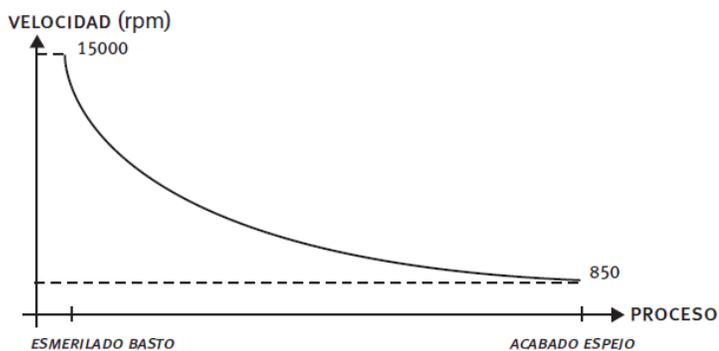
**Figura 1. 5 Pastas para abrillantar**

**Fuente: [5]**

#### **1.2.3 VELOCIDADES DE BANDAS ABRASIVAS Y DISCOS PARA LOS PROCESOS DE ACABADOS SUPERFICIALES**

La gama aceptable de velocidades de la superficie abrasiva depende del tamaño de grano utilizado. Cuando se realizan operaciones de pulido en varias fases con abrasivos de tamaño de grano progresivamente más fino, la velocidad

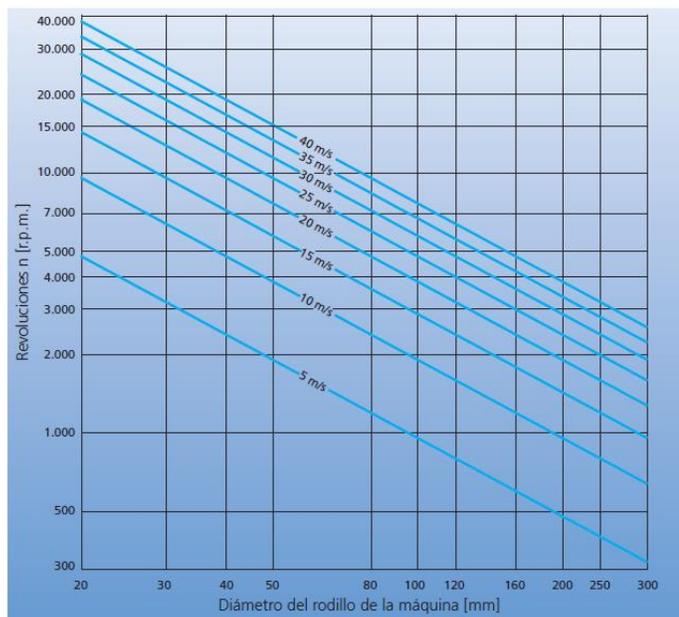
de la superficie se debería ir reduciendo a medida que el tamaño de grano disminuye. (Figura 1.6) [2]



**Figura 1. 6 Velocidades de procesos de acabados mecánicos superficiales**

**Fuente: [2]**

Las velocidades para los procesos de acabados mecánicos de superficies de acero inoxidable se relacionan y se ajustan con la línea de bandas abrasivas PFERD y se muestran a continuación:



**Figura 1. 7 Velocidades periféricas para bandas cortas y largas.**

**Fuente: [5]**

- **VELOCIDAD PARA EL PROCESO DE ESMERILADO**

La velocidad de la banda depende del material que se está esmerilando. El rango típico es de 750 a 1 700 m/min (2 500 a 5 500 ft/min). [6]

- **VELOCIDAD PARA EL PROCESO DE PULIDO**

La velocidad se encuentra alrededor de 2 300 m/min (7 500 ft/min). [6]

- **VELOCIDAD PARA EL PROCESO DE ABRILLANTADO**

La velocidad óptima están entre 2400 y 5200 m/min (8000 y 17000 ft/min). [6]

#### **1.2.4 PROCESOS DE ACABADO MECÁNICO CON ABRASIVOS**

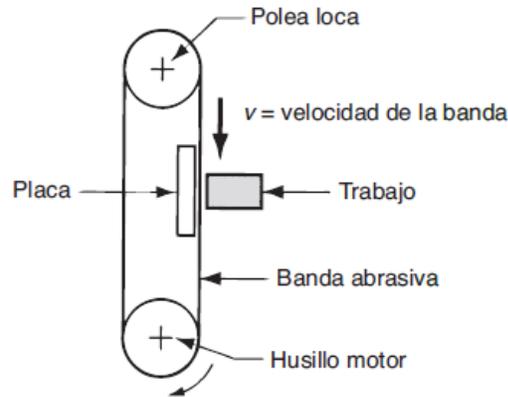
Los procesos mecánicos a utilizar dependerán del tipo de material a trabajar, influyendo en la decisión a tomar la dureza del material, su formato y rugosidad inicial que este posea.

Los pasos básicos para realizar el correcto acabado de una superficie inoxidable son: esmerilado, pulido y abrillantado

##### **a. ESMERILADO CON BANDAS ABRASIVAS**

El término lijadora de banda se refiere a las aplicaciones ligeras del esmerilado, en las cuales la pieza de trabajo se presiona contra la banda para eliminación de rebabas y salientes, y también para producir un mejor acabado en forma rápida y manual. [6]

La velocidad y el grano de la banda dependen del material que se está esmerilando. En la Figura 1.8 se muestra los componentes típicos de un sistema de esmerilado con banda abrasiva.



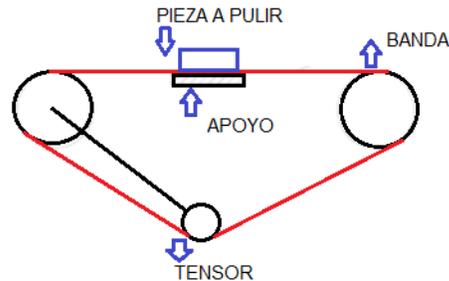
**Figura 1. 8 Esmerilador de banda abrasiva**

**Fuente: [6]**

## **b. PULIDO CON BANDAS ABRASIVAS**

Es un proceso que produce un acabado de superficie liso y lustroso. En este proceso intervienen dos mecanismos básicos: remoción abrasiva a escala fina, y suavizado y extendido de capas superficiales por calentamiento de fricción durante el pulido. [7]

La velocidad y el grano de la banda dependen del material que se aplicará en el proceso de pulido. En la Figura 1.9 se muestra los elementos que componen un sistema triangular pulidor con dos rodillos locos y uno motriz.



**Figura 1. 9 Pulidor con banda abrasiva**

**Fuente: [8]**

### c. ABRILLANTADO CON DISCOS O RUEDAS

El abrillantado es similar en apariencia al pulimentado, pero su función es diferente. El abrillantado se usa para producir superficies atractivas de alto lustre. Las ruedas de abrillantado se hacen de materiales (cuero, sisal, fieltro, algodón, entre otros). [6]

Este proceso utiliza pastas o cremas que se añaden a la superficie de la rueda. La velocidad, el tipo de disco y la pasta dependen del material en el que se aplicará el proceso de abrillantado. En la Figura 1.10b se muestra el uso típico que se le da al disco de tela en el mercado.



**Figura 1. 10 Abrillantador con disco de tela**

**Fuente: [2]**

### 1.2.5 ESTUDIO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA DE LOS PROCESOS DE ACABADO MECÁNICO

Una máquina está compuesta por una serie de piezas desde el más pequeño hasta el más grande y se denominan elementos de máquinas, los cuales ayudarán a formar un mecanismo mecánico ya sea estático o dinámico. Todos los mecanismos utilizan elementos de sujeción fija (remache o soldadura) o móvil (tuercas, tornillos, pasadores), elementos de transmisión de movimiento (árboles de transmisión, correas, cadenas), elementos de rodadura que permiten el giro,

deslizamiento o pivotaje (rodamientos, cojinetes) que constituyen la estructura de la máquina.

### **1.2.6 FILOSOFÍA DE DISEÑO**

Es responsabilidad del diseñador garantizar que el elemento de la máquina funcione bajo condiciones razonablemente previsibles. Se debe evaluar de acuerdo: al trabajo que va a desempeñar, al tipo de carga aplicado al elemento que se va a diseñar, al análisis de esfuerzos, al medio en el cual va a trabajar, al tipo de material y al grado de confianza aplicados en los datos de diseño. [9]

#### **a. FACTOR DE SEGURIDAD (N)**

El factor de diseño N es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabricará un componente se divide entre el factor de diseño para determinar un esfuerzo de diseño, ( $\sigma_d$ ) que a veces se llama esfuerzo permisible. [9]

Los factores de seguridad se aplican a materiales dúctiles y se aplican de acuerdo al tipo de elemento ya sea estructura o pieza de máquina, cargas aplicadas ya sean estáticas o dinámicas.

#### **b. MÉTODOS DE PREDICIONES DE FALLA.**

Existen varios métodos para predecir la falla, y es responsabilidad del diseñador seleccionar el más adecuado para las condiciones del diseño de la máquina. En la Tabla 1.1 se muestra una clasificación de los métodos para predecir la falla en un diseño mecánico.

Tabla 1. 1

**Métodos de predicción de falla**

MÉTODO DE PREDICCIÓN DE FALLA	EMPLEOS
Esfuerzo normal máximo.	Esfuerzo estático uniaxial en materiales frágiles
Mohr modificado.	Esfuerzo estático biaxial en materiales frágiles
Resistencia de fluencia.	Esfuerzo estático uniaxial en materiales dúctiles
Esfuerzo cortante máximo.	Esfuerzo estático biaxial en materiales dúctiles
Energía de la distorsión.	Esfuerzo biaxial o triaxial en materiales dúctiles
Goodman	Esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles
Gerber	Esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles
Soderberg	Esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles

Fuente: [9]

El método de la energía de la distorsión es el más utilizado para predecir la falla en materiales dúctiles bajo cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinados totalmente reversibles. Para su aplicación interviene un nuevo término llamado esfuerzo de Von Mises, representado por el símbolo ( $\sigma'$ ), que se puede calcular para esfuerzos biaxiales y a continuación se muestra una relación donde se aplica el N a la resistencia de fluencia para diseñar:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ecuación [1. 1]}$$

Donde;

$$\sigma' > S_y$$

### 1.2.7 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA AHORRAR TIEMPO Y RECURSOS EN EL DISEÑO

El término de ingeniería asistida por computadora (CAE) se aplica generalmente a todas las aplicaciones de ingeniería relacionadas con la computadora. Con esta definición, el diseño asistido por computadora (CAD) y el análisis de elemento finito (FEA) pueden considerarse como un subconjunto del CAE y a continuación se describe uno de ellos: [10]

### **a. SOLIDWORKS**

Es un programa que permite modelar piezas y ensamblajes así como también realizar tanto planos como estudios mecánicos y eléctricos en general necesarios para la producción. Funciona en base a técnicas de modelado con sistemas CAD.

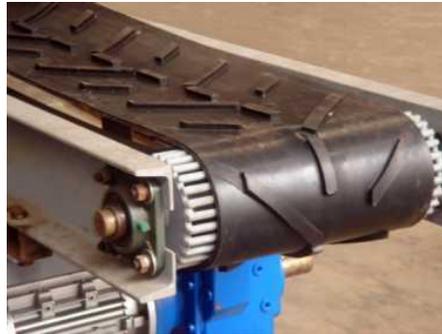
Además en diseño mecánico, donde el software CAD se utiliza de manera considerable, posee el método de análisis de elementos finitos (FEA) que se integra perfectamente con el CAD. Son innumerables las aplicaciones del FEA tales como análisis estático y dinámico lineal y no lineal, de esfuerzo y de deflexión; vibraciones libres y forzadas, transferencia de calor; inestabilidad elástica (pandeo); dinámica de fluidos; análisis de tuberías y física múltiple.

## **1.2.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA MÁQUINA**

### **a. CINTA O BANDA TRANSPORTADORA PVC LISA**

Están fabricadas a base de cloruro de polivinilo (PVC), por lo que son flexibles y presentan una baja fricción con el acero (ANEXO A-5). Se emplean para el transporte horizontal o con poca inclinación de productos manufacturados y/o a granel, en la mayoría de los sectores industriales: alimentación, cerámica, madera, papel, embalaje, cereales, entre otros. Son bandas ligeras resistentes a los aceites y soportan temperaturas desde  $-15^{\circ}$  hasta  $80^{\circ}$  grados centígrados.  
[11]

Se fabrican en diferentes colores y acabados, permitiendo además la colocación de perfiles y guías en la superficie de la banda según los requisitos de la aplicación. (Figura 1.11)



**Figura 1. 11 Cinta transportadora**

**Fuente: [12]**

## **b. COJINETES**

Existen dos clases de cojinetes: cojinetes con contacto de rodadura y cojinetes de superficie plana. (Figura 1.12)



**Figura 1. 12 Tipos de cojinetes**

**Fuente: [13]**

La función de estos cojinetes es soportar una carga, y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina. Los cojinetes con rodadura usan elementos rodantes, como bolas esféricas, rodillos cilíndricos o cónicos como se muestra en la Tabla 1.2, mientras que los cojinetes planos constan de dos piezas que se mueven entre sí pero no tienen elementos rodantes entre ellas (Anexo A-6). [9]

**Tabla 1. 2**  
**Comparación entre los principales tipos de rodamientos**

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas.	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas.	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular. Rodillos cilíndricos.	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos.	Excelente	Mala	Regular
Agujas.	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos.	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos.	Excelente	Excelente	Mala

Fuente: [9]

### c. CADENA ESTÁNDAR DE TRAMO ÚNICO CON RODAMIENTOS

Este tipo de cadena es el más común porque el rodamiento de cada perno proporciona una fricción excepcionalmente baja entre la cadena y las ruedas dentadas. Su lubricación es manual o por goteo cada ocho horas de operación.

[9]

A continuación se muestra se muestra en la Tabla 1.3 el tamaño de las cadenas con rodamientos.

**Tabla 1. 3**  
**Tamaño de cadenas con rodamientos**

Número de cadena	Paso (in)	Diámetro del rodillo	Ancho del rodillo	Espesor de placa lateral	Resistencia promedio al esfuerzo de tracción (lb)
25	¼	Ninguno	-	0.030	925
35	3/8	Ninguno	-	0.050	2100
41	½	0.306	0.250	0.050	2000
40	½	0.312	0.312	0.060	3700
50	5/8	0.400	0.375	0.080	6100
60	¾	0.469	0.500	0.094	8500
80	1	0.626	0.625	0.125	14500
100	1 ¼	0.750	0.750	0.156	24000
120	1 ½	0.875	1.000	0.187	34000
140	1 ¾	1.000	1.000	0.219	46000
160	2	1.125	1.250	0.250	58000
180	2 ¼	1.406	1.406	0.281	80000
200	2 ½	1.562	1.500	0.312	95000
240	3	1.875	1.875	0.375	130000

Fuente: [9]

#### **d. RUEDAS DENTADAS DE LA GAMA B**

Básicamente es una rueda dentada en la cual engrana o caza la cadena para transmitir la fuerza al eje. Las ruedas dentadas o piñones Tipo B (ANEXO A-7) son macizos y enterizos con manzana hasta 140mm dobles o triples de dos o tres hileras de dientes. [14]

Su nomenclatura está asociada al número de la cadena que debe engranar, el tipo de manzana con la que está construido y por último al número de dientes como se indica a continuación: 35B18 significa cadena número 35, manzana B y 18 dientes. Generalmente el orificio central de estos piñones es pequeño y está diseñado para ser agrandado al diámetro requerido.

#### **e. SUJETADORES**

Un sujetador es cualquier objeto que se use para conectar o juntar dos o más componentes. Los más comunes son los roscados, a los cuales se les conoce con muchos nombres, entre ellos pernos, tornillos, tuercas, espárragos, prisioneros, entre otros. [9]

En las máquinas, la mayoría de los tornillos o pernos son de acero, por su alta resistencia, gran rigidez, buena ductilidad y buena facilidad de maquinado y formado. Los sujetadores con normas ASTM relacionadas a su resistencia de grado 4.6 se utilizarán en el montaje de la máquina.

A continuación, en la Figura 1.13 se muestra diferentes estilos de cabeza disponibles en tornillos, pernos y prisioneros.



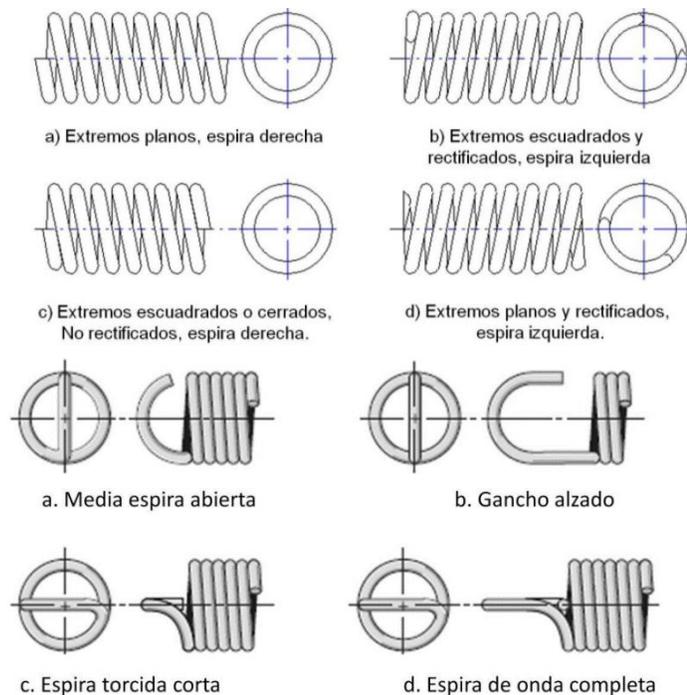
**Figura 1. 13 Estilo de cabezas disponibles en tornillos, pernos y prisioneros**

**Fuente: [15]**

#### **f. RESORTES CILÍNDRICOS HELICOIDALES DE COMPRESIÓN Y EXTENSIÓN**

Los resortes cilíndricos helicoidales de compresión se fabrican en general con alambre redondo de acero al carbono, enrollado sobre una forma recta y cilíndrica, con paso constante entre las espiras adyacentes y trabajan cuando se aplica una fuerza de compresión, la cual une todas las espiras entre sí; mientras que los resortes de extensión se fabrican del mismo material y forma pero sus espiras están unidas entre sí y trabajan cuando se aplica una fuerza de tensión. [9]

En la implementación de la máquina se utilizará resortes para servicio ligero de hasta 100 ciclos de carga y sin impacto. En la figura 1.14 se muestran cuatro configuraciones prácticas de los extremos del resorte cilíndrico de compresión y extensión respectivamente.



**Figura 1. 14 Configuraciones prácticas de los extremos de los resortes cilíndricos de compresión y extensión respectivamente.**

**Fuente: [9]**

### **g. ACOPLAMIENTOS RÍGIDOS DE MORDAZA**

Sirven para unir dos ejes en forma apretada de manera que no sea posible que se genere movimiento relativo entre ellos. Se utiliza en equipos donde se requiere una alineación precisa entre dos ejes y para transmitir el torque en los ejes. [9]

Estos acoplamientos no requieren lubricación y prestan excelentes y fiables servicios en aplicaciones de motores eléctricos ligeros, medios y pesados, y transmisiones de potencia de combustión interna. Además no permiten vibraciones ni movimientos axiales o radiales de un eje con respecto al otro. (Anexo A-8).

En la Figura 1.15 se muestra los acoples Lovejoy tipo mordaza L.



**Figura 1. 15 Acople rígido tipo mordaza “L”**

### **1.2.9 ESTUDIO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LOS PROCESOS DE ACABADO MECÁNICO**

Para que una máquina sea automática se requiere elementos eléctricos de fuerza (motores), mando y maniobra (interruptores); los cuales por medio de elementos sensores y actuadores (relés, contactores, entre otros) se obtienen señales analógicas o digitales para luego ser interpretadas, comunicadas y visualizadas (HMI) por un controlador lógico controlable (PLC).

#### **• CRITERIOS DE DISEÑO**

Una máquina automática maneja un proceso de manufactura, por lo que es responsabilidad del diseñador garantizar que la automatización e implementación funcione bajo las necesidades del proceso.

- Tipo de proceso
- Horas de trabajo
- Condiciones de trabajo (temperatura, presión, altura)

### **1.2.10 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA SIMULACIÓN, COMUNICACIÓN, VISUALIZACIÓN Y MONITOREO DE LOS PROCESOS DE ACABADO MECÁNICO**

Un proceso de manufactura automático maneja señales analógicas y digitales por medio de un controlador lógico programable y al mismo tiempo son monitoreadas y visualizadas por una interfaz de comunicación.

Existen software's que permiten simular todo el proceso de manufactura antes de las respectivas conexiones para generar soluciones y ahorrar recursos.

En la automatización de la máquina se utilizará para la simulación, control y visualización de los procesos de acabado mecánico el siguiente software:

#### **a. SOFTWARE LOGO! SOFT COMFORT**

Permite crear esquemas de contactos y diagramas bloques de funciones simplemente escogiendo, arrastrando y colocando las funciones correspondientes a su respectiva conexión. Además se puede simular y comprobar todo el programa de control o maniobra en modo offline en el PC. [16]

#### **b. INTERFAZ LOGO! TD**

Se requiere el mismo software LOGO! Soft Comfort para configurar el LOGO! TD y admitir las siguiente funciones del LOGO! TD: [16]

- Retroiluminación automática de la pantalla ante determinados mensajes/gráficos
- Teclas de función
- Mensajes de texto
- Sencilla funcionalidad de gráfico de barras

## 1.2.11 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DE LA MÁQUINA

### a. CONDUCTORES MULTIPOLARES

Los conductores multipolares son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado, alimentación de motores, tableros y acometidas eléctricas en general, conexión de electrodomésticos, conexiones portátiles, cables de control, señal y comunicación, interconexión de equipos en los que se prevea transmisión de ruido o vibración. [17]

### b. ELEMENTOS DE FUERZA

- **MOTORES TRIFÁSICOS WEG W22**

Proporciona la energía principal a la maquinaria industrial con especificaciones de alto rendimiento con máxima eficiencia de energía, reducción de vibraciones, ruido y fácil mantenimiento. (Figura 1.16).



**Figura 1. 16 Motor Trifásico WEG W22**

**Fuente: [18]**

- **MOTORES MONOFÁSICOS DE BAJA VELOCIDAD Y ALTO TORQUE**

La mayoría de los motores monofásicos son motores pequeños de potencia (menos de 1hp). El alto torque se obtiene por medio de un sistema de engranes. Se usa para aplicaciones donde su trabajo no sea constante (2 a 4 veces al día). (Figura 1.17)

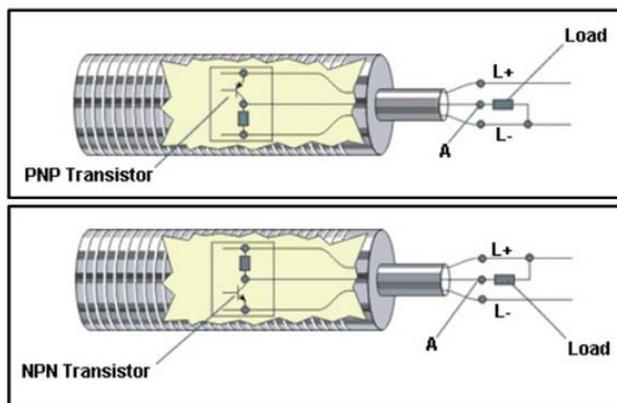


**Figura 1. 17 Motor monofásico de baja velocidad y alto torque**

### c. SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Este tipo de sensores incorporan una bobina electromagnética que es usada para detectar la presencia de un objeto de metal conductor. Ignoran los objetos no metálicos. Son utilizados principalmente en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia de objetos metálicos en determinados contextos (control de presencia o ausencia de paso, de atasco, de posicionamiento, de codificación y de conteo).

Cuando el transistor PNP conmuta en ON, la corriente fluye a través del transistor a la carga, mientras que cuando el transistor NPN conmuta en ON, la corriente fluye a través de la carga al transistor. (Figura 1.18)



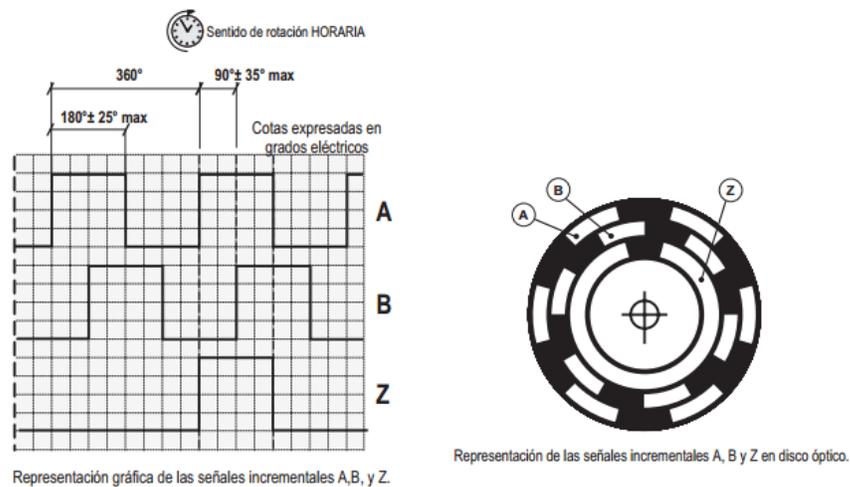
**Figura 1. 18 Sensor inductivo tipo PNP y NPN**

Fuente: [19]

#### d. DECODIFICADOR ROTATIVO INCREMENTAL BIDIRECCIONAL

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de pulsos digitales. Estos pulsos son utilizados para controlar desplazamientos lineales o angulares de cualquier máquina o sistema rotativo.

Es un decodificador rotativo incremental bidireccional porque tiene dos canales de salida A y B, que permiten detectar el sentido de rotación del eje y el canal B está desfasado  $90^\circ$  eléctricos respecto al canal A. Además puede poseer una tercera señal (canal de salida z) de referencia cero, que proporciona un impulso a cada vuelta del eje y permite determinar una referencia de posición cero al eje del encoder. (Figura 1.19) [20]



**Figura 1. 19 Encoder rotativo incremental bidireccional**

**Fuente: [21]**

#### e. RELÉS, MICRO-RELÉS Y CONTACTORES

Son elementos electromecánicos que permiten o bloquean el paso de la corriente en los circuitos de potencia o de mando al energizarse la bobina.

En la Figura 1.20 se muestra los tres tipos de actuadores electromecánicos:



**Figura 1. 20 Relés, Micro-Relés y Contactores**

#### **f. PLC SIEMENS LOGO**

LOGO! es ideal para tareas sencillas de automatización industrial y de edificios. Este módulo lógico inteligente destaca por su extraordinaria facilidad de manejo y lo tiene todo en cuanto a funcionalidades, gracias, entre otras cosas, a su alta capacidad de almacenamiento y su uso eficiente de la memoria. Gracias a sus módulos de ampliación, LOGO! puede gestionar sin problemas incluso instalaciones complejas. [16]

En la Figura 1.21 se muestra un Logo! Siemens (0BA6).



**Figura 1. 21 LOGO! Siemens (0BA6)**

**Fuente: [22]**

### g. LOGO! TD (VISUALIZACIÓN DE TEXTO)

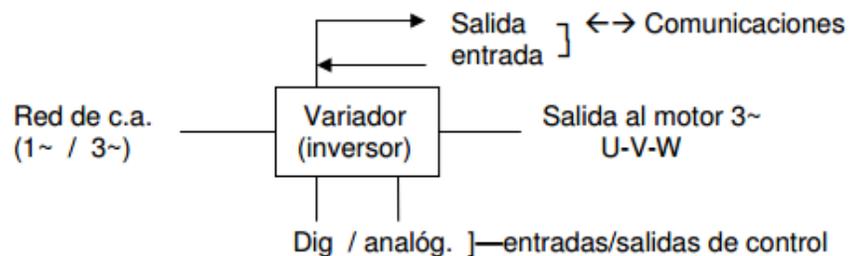
El LOGO! TD ofrece una interfaz accesible para los fabricantes de equipos y sus clientes, incluso para simples sistemas de conmutación. Los ajustes y alarmas de solución de problemas son de fácil manejo con el LOGO! TD con funciones y diagnósticos incorporados por el operador. Un panel visualizador de texto se indica en la Figura 1.22 [16]

**Figura 1. 22 LOGO! TD**

**Fuente: [16]**

### h. VARIADOR DE FRECUENCIA

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción. Existen de corriente continua que sirven para la variación de la tensión, y de corriente alterna que sirven para la variación de la frecuencia. En la Figura 1.23 se muestra un diagrama básico de las conexiones en un inversor. [23]



**Figura 1. 23 Diagrama básico de las conexiones en un inversor**

**Fuente: [24]**

### **1.3 ESTUDIO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN NEUMÁTICA DE LOS PROCESOS DE ACABADO MECÁNICO**

Con la implementación neumática se elimina la utilización de elementos eléctricos de fuerza por su costo como una ventaja principal.

Con la ayuda del diseño neumático se desarrolla la implementación más sencilla pero cuando las distancias a cubrir por las conducciones neumáticas son grandes, las señales de mando se debilitan y retrasan sus efectos, debido a la pérdida de carga, lo que significa que ya no tiene la condición de rápidas y seguras. Por otro lado, las conducciones largas representan un consumo muy elevado de aire y los gastos que de ello se derivan pueden resultar intolerables, por lo que es necesario el desarrollo de la electroneumática.

#### **1.3.1 CRITERIOS DE DISEÑO**

La energía principal para el control de un sistema neumático es el aire, el cual sustituye a la energía eléctrica para el control de sistemas de mando.

Las señales de control deben inspeccionarse de acuerdo a los siguientes criterios:

- Presión
- Altura
- Tipo de proceso

#### **1.3.2 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DESARROLLO DE LA IMPLEMENTACIÓN ELECTRONEUMÁTICA**

La Electroneumática es una de las técnicas de automatización que en la actualidad viene cobrando vital importancia en la optimización de los procesos a nivel industrial. Para su optimización se requiere de un software para ahorrar recursos y tiempos de diseño así también la ejecución de soluciones.

### a. FESTO FLUIDSIM

Es una herramienta de simulación para la obtención de los conocimientos de la neumática y funciona con Microsoft Windows.

Características:

- Permite un esquema DIN de diagramas de circuitos de fluidos.
- Permite la simulación explicativa.
- Está ideada para el campo de la técnica de fluidos.
- Ayuda a entender, visualizar y enseñar la neumática.
- Finalmente, permite al usuario conocer, diseñar y editar circuitos de fluidos.

### 1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS NEUMÁTICOS Y ELECTRONEUMÁTICOS DE LA MÁQUINA

#### a. VÁLVULAS ELECTRONEUMÁTICAS

Estas válvulas realizan la conversión de energía eléctrica, proveniente de los relevadores a energía neumática, transmitida a los actuadores o a alguna otra válvula neumática. En la Figura 1.24 se muestran las válvulas electroneumáticas. [25]



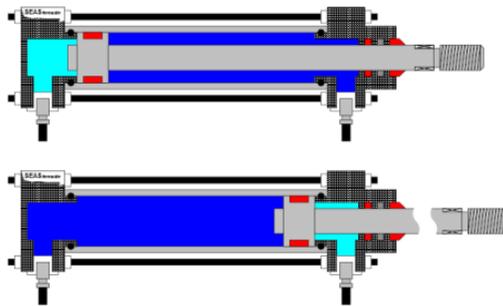
**Figura 1. 24 Válvulas electroneumáticas**

**Fuente: [26]**

## b. CILINDROS NEUMÁTICOS DE DOBLE EFECTO

Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes sí pueden realizar trabajo en ambos sentidos.

A continuación se muestra en la Figura 1.25. Un cilindro de doble efecto con el vástago fuera y dentro.



**Figura 1. 25 Cilindro de doble efecto con el vástago dentro y fuera de la cámara**

**Fuente: [27]**

## **CAPITULO II**

### **DISEÑO, SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta de forma detallada el diseño, dimensionamiento y selección de los diferentes componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman la máquina para el pulido de superficies planas de acero inoxidable, de forma que cumpla con todos los requerimientos funcionales y de seguridad exigidos para esta clase de máquinas.

Para lograr este cometido se partió de un diseño preliminar de la máquina pulidora y el mismo se fue modificando y optimizando durante el proceso de diseño, en función del esfuerzo máximo producido en cada elemento, su geometría y sus dimensiones, con el fin de obtener un factor de seguridad mayor al recomendado, hasta llegar al diseño definitivo.

Con el fin de acelerar el proceso iterativo de diseño, se utilizó programas de Diseño Asistido por Computador (CAD) y de Ingeniería Asistida por Computador (CAE), con el fin de realizar de forma rápida y precisa el análisis de movimiento y de esfuerzos de las diferentes alternativas de diseño hasta determinar las dimensiones, geometría y disposición óptimas de los diferentes componentes de la máquina, garantizando de esta manera el funcionamiento adecuado y seguro de la pulidora bajo condiciones críticas de operación.

#### **2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO**

Partiendo de los requerimientos funcionales de la máquina para pulido, así como también de las especificaciones técnicas que tienen equipos semejantes existentes en el mercado, se detallan a continuación los parámetros principales que con intervienen directamente en el diseño mecánico de la pulidora:

Etapas de trabajo de la máquina:	Esmerilado
	Pulido
	Abrillantado
Rango de velocidad periférica recomendada:	Esmerilado: 15 a 30 m/s
	Pulido: 25 a 30 m/s
	Abrillantado: 30 a 40 m/s
Fuerza de trabajo recomendada ( $F_{tra}$ ):	Esmerilado: 150 N
	Pulido: 150 N
	Abrillantado: 120 N
Velocidad de avance banda transportadora ( $V_{BT}$ ):	0,5 m/s
Factor de seguridad mínimo requerido ( $FS$ ):	2.5 (Anexo A-9)

A partir de estos parámetros se procede con el diseño y la selección de los diferentes componentes mecánicos de la máquina de pulido.

### 2.2.1 ESQUEMA PRELIMINAR DE LA MAQUINA DE PULIDO

En base a los parámetros de diseño y los requerimientos funcionales establecidos para la máquina de pulido, en la figura 2.1 se presenta el esquema preliminar concebido para la máquina con sus sistemas y componentes principales:

1. Sistema de esmerilado.
2. Sistema de pulido.
3. Sistema de abrillantado.

4. Sistema de banda transportadora.
5. Estructura soporte.

### 2.2.2 DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA

Se diseñará una máquina semiautomática que realice simultáneamente el proceso de esmerilado, pulido y abrillantado de piezas de acero inoxidable. Estas piezas se desplazarán a través de las diferentes etapas del pulido mediante una banda transportadora accionada por un motor eléctrico.

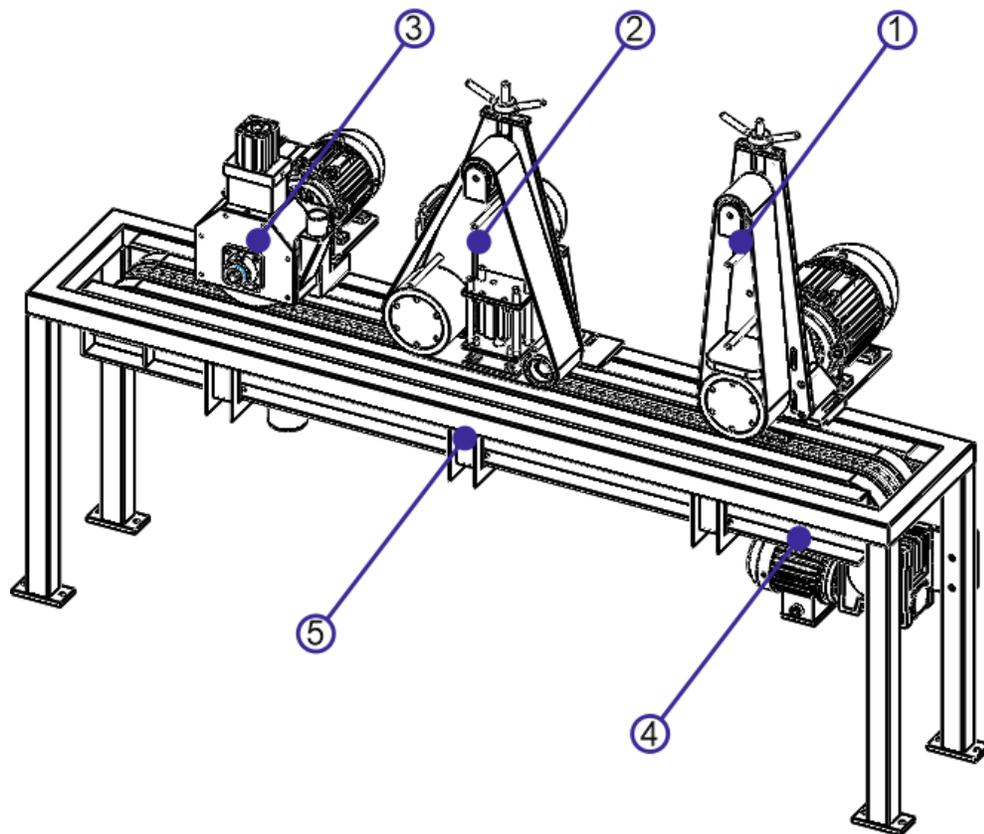
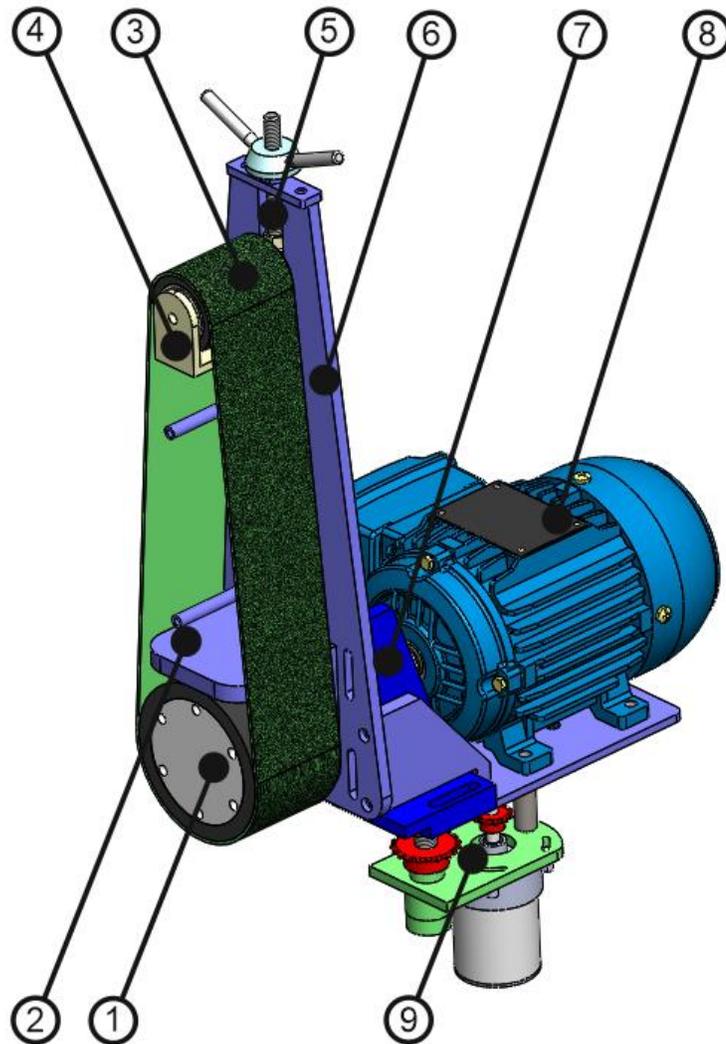


Figura 2. 1 Esquema preliminar de la máquina de pulido

### 2.4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE ESMERILADO

Este sistema constituye la etapa inicial del proceso de pulido de las piezas de acero inoxidable y estará formado por los elementos que se detallan en la

Figura 2.2. En el sistema de esmerilado se realiza una limpieza inicial de la pieza mediante una banda abrasiva accionada por el rodillo motriz que se sujeta a la placa base del sistema de esmerilado y cuya altura puede ser regulada mediante un mecanismo de elevación.



**Figura 2. 2 Sistema de esmerilado**

1. Rodillo motriz
2. Soporte del rodillo motriz
3. Rodillo tensor para la banda abrasiva

4. Soporte del rodillo tensor
5. Tornillo tensor para la banda abrasiva
6. Placa soporte del sistema de esmerilado
7. Base soporte del sistema de esmerilado
8. Motor eléctrico
9. Mecanismo de elevación del sistema de esmerilado

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS

Considerando que para realizar la operación de esmerilado se recomienda una fuerza de trabajo de 150 N, la fuerza de fricción que se genera en la banda abrasiva viene dado por (figura 2.3):

$$F_{fric} = F_{esm} = \mu_{AI-BA} \cdot N_1 = \mu_{AI-BA} \cdot F_{tra} \quad \text{Ecuación 2. 1}$$

$$F_{esm} = 0,7 \cdot 150 \text{ N}$$

$$F_{esm} = 105 \text{ N}$$

Donde:

$F_{esm}$  = fuerza generada durante el esmerilado

$\mu_{AI-BA}$  = coeficiente de fricción entre acero inoxidable – banda abrasiva

gruesa = 0,7 (Anexo A-10)

$N_1$  = Normal 1 =  $F_{tra}$  = Fuerza de trabajo entre la rueda y la pieza

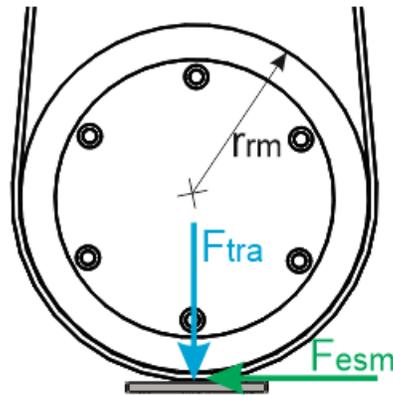


Figura 2. 3 Fuerza de esmerilado

## b. SELECCIÓN DEL RODILLO MOTRIZ

El diámetro requerido en el rodillo motriz se determina en base a la velocidad periférica recomendada para la operación de esmerilado, la misma que se considera un valor promedio de 25 m/s.

Para un motor eléctrico que gira a con una velocidad nominal de 1750 rpm (183,26 rad/s), el diámetro necesario del rodillo se obtiene a partir de la ecuación:

$$V_{esm} = \omega_{mot} \cdot r_{rm} \quad \text{Ecuación 2. 2}$$

$$r_{rm} = \frac{25 \text{ m/s}}{183,26 \text{ rad/s}}$$

$$r_{rm} = 0,137 \text{ m} = 137 \text{ mm}$$

Donde:

$V_{esm}$  = velocidad periférica de esmerilado

$\omega_{mot}$  = velocidad angular del motor

$r_{rm}$  = radio del rodillo motriz

Por lo tanto se selecciona un rodillo motriz con diámetro estándar de 150 mm. La velocidad periférica para este rodillo es:

$$V_{esm} = 183,26 \frac{rad}{s} \cdot 0,15m$$

$$V_{esm} = 27,5 \text{ m/s}$$

Debido a que esta velocidad se encuentra dentro del rango recomendado (15 a 30 m/s), el diámetro del rodillo motriz seleccionado es adecuado.

El torque requerido para el esmerilado viene dado por (figura 2.4):

$$T_{esm} = F_{esm} \cdot r_{rm} \quad \text{Ecuación 2. 3}$$

$$T_{esm} = 105 \text{ N} \cdot 0,15m$$

$$T_{esm} = 15,75 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_{esm}$  = Torque sistema esmerilado

$F_{esm}$  = Fuerza tangencial del rodillo de esmerilado

La fuerza resultante ( $F_{res1}$ ) que actúa sobre el rodillo motriz se obtiene en base a la figura 2.4:

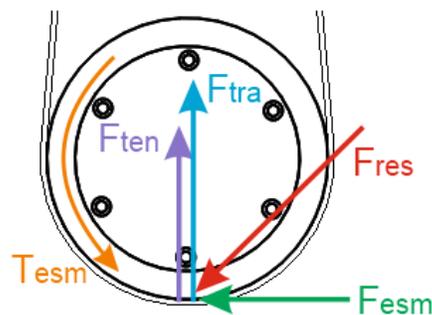


Figura 2. 4 Cargas en el eje del rodillo motriz

$$F_{res1} = \sqrt{(F_{tra} + F_{ten})^2 + F_{esm}^2} \quad \text{Ecuación 2. 4}$$

$$F_{res1} = \sqrt{(150 + 123,53)^2 + 105^2}$$

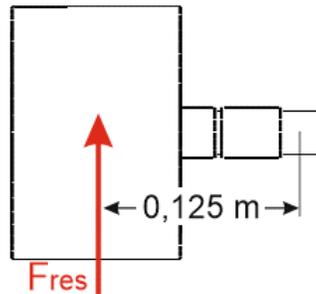
$$F_{res1} = 293,0 \text{ N}$$

Donde:

$F_{res1}$  = Fuerza resultante 1

$F_{ten}$  = fuerza de tensión requerida para tensar la banda abrasiva  
(calculada en la siguiente sección).

El momento de flexión al que está sometido el eje del rodillo motriz se obtiene a partir de la figura 2.5.



**Figura 2. 5 Momento de flexión máximo en el rodillo motriz**

$$M_{esm} = F_{res1} \cdot d_1 \quad \text{Ecuación 2. 5}$$

$$M_{esm} = 293,0 \text{ N} \cdot 0,125 \text{ m}$$

$$M_{esm} = 36,62 \text{ Nm}$$

Donde:

$M_{esm}$  = momento de flexión máximo del rodillo de esmerilado

Si el eje se fabrica con acero estructural ASTM A36, a partir del torque y el momento de flexión en el sistema de esmerilado se determina el diámetro

mínimo requerido en el eje del rodillo motriz, para lo cual se utiliza la ecuación para el diseño de flechas mediante la teoría de la energía de distorsión:

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{esm}^2 + \frac{3}{4} T_{esm}^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ecuación 2. 6}$$

$$\phi_{eje1} = \left[ \frac{32 \cdot 2,5}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 36,62^2 + \frac{3}{4} 15,75^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje1} = 0,0159 \text{ m} = 15,9 \text{ mm}$$

Donde:

$\phi_{eje}$  = diámetro del eje del rodillo motriz

$S_y$  = resistencia a la fluencia del acero estructural ASTM A36 = 250 MPa

Por lo tanto, se selecciona un eje con un diámetro estándar de 20 mm.

### c. DISEÑO DEL MECANISMO TENSOR DE LA BANDA ABRASIVA

Este sistema está formado por el rodillo tensor, el soporte del rodillo tensor y por el tornillo de potencia, y es el encargado de generar la fuerza de tracción suficiente para tensar la banda abrasiva y así evitar que ésta se deslice sobre el rodillo motriz, por lo que, la fuerza de fricción entre la banda abrasiva y el rodillo motriz debe ser igual a mayor que la fuerza de esmerilado (Figura 2.6).

$$F_{esm} = \mu_{Ca-BA} \cdot N_2 = \mu_{Ca-BA} \cdot F_{ten}$$

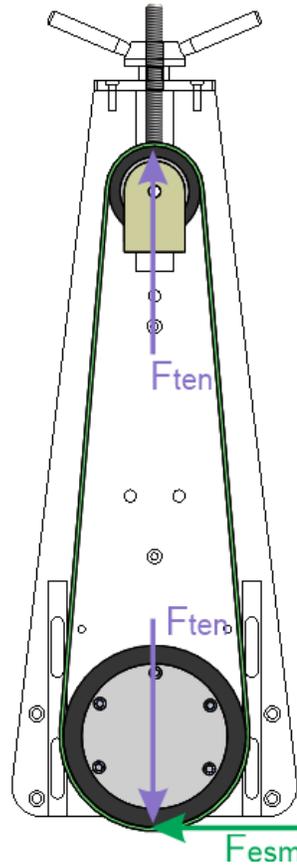
$$F_{ten} = \frac{105 \text{ N}}{0,85}$$

$$F_{ten} = 123,53 \text{ N}$$

Donde:

$F_{ten}$  = fuerza de tensión requerida

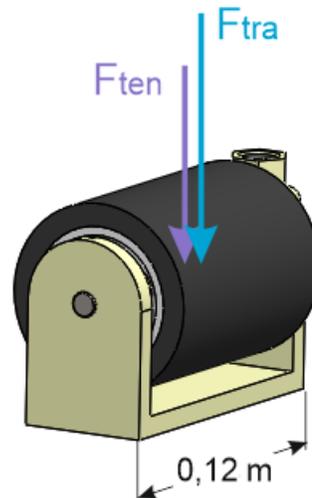
$\mu_{Ca-BA}$  = coeficiente de fricción entre cartón – caucho = 0,85



**Figura 2. 6 Fuerza de tensión de la banda abrasiva**

El rodillo tensor permite tensar la banda abrasiva y gira de forma loca (no transmite torque), por lo tanto no está sometido a ninguna carga de torsión, por tal motivo, su diámetro se selecciona de los rodillos estándar disponibles en los catálogos y es de 100 mm.

Considerando que la fuerza de esmerilado se transmite a lo largo de toda la banda abrasiva, el momento de flexión al que está sometido el eje del rodillo tensor se obtiene a partir de la figura 2.7.



**Figura 2. 7 Cargas sobre el rodillo tensor**

$$M_{ten} = \frac{(F_{tra} + F_{ten}) \cdot d_2}{4} \quad \text{Ecuación 2. 7}$$

$$M_{ten} = \frac{(150 + 123,53) \cdot 0,12\text{ m}}{4}$$

$$M_{ten} = 8,21\text{ Nm}$$

Donde:

$M_{ten}$  = momento de flexión en el rodillo tensor

El diámetro mínimo requerido para el eje del rodillo tensor se determina de forma semejante al eje del rodillo motriz:

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{ten}^2 + \frac{3}{4} T_{ten}^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 2,5}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 8,21^2 + \frac{3}{4} 0^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = 0,0094\text{ m} = 9,4\text{ mm}$$

Por lo tanto, se selecciona un eje con diámetro estándar de 10 mm.

El tornillo de potencia del sistema tensor de la banda abrasiva se ensambla al soporte del rodillo y debe generar la fuerza de elevación suficiente para tensar la banda abrasiva y así evitar que ésta se deslice sobre el rodillo motriz.

La carga sobre el rodillo tensor somete al tornillo a tensión directa y el área de tracción que se requiere viene dado por:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} \leq \frac{S_y}{FS} \quad \text{Ecuación 2. 8}$$

Donde:

$F$  = fuerza total que actúa sobre el tornillo

$\sigma_t$  = esfuerzo de tracción en el tornillo

$A_t$  = área de tracción

$$A_{t1} = \frac{FS \cdot (F_{tra} + F_{ten})}{S_y} \quad \text{Ecuación 2. 9}$$

$$A_{t1} = \frac{2,5 \cdot (150 + 123,53)N}{250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$A_{t1} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,0424 \text{ plg}^2$$

De la Tabla del Anexo A-11 se determina que un tornillo provisto de cuerda ACME de 5/16" (8 mm) de diámetro con 14 hilos por pulgada y diámetro de paso de 0,2614 plg (6,64 mm) proporciona un área de esfuerzo de tracción de 0,04438 plg<sup>2</sup>.

El torque requerido para elevar el soporte del rodillo tensor se calcula a partir de la ecuación:

$$T_{u1} = \frac{F \cdot D_{p1}}{2} \left[ \frac{(\cos \phi \cdot \tan \lambda + f)}{(\cos \phi - f \tan \lambda)} \right] \quad \text{Ecuación 2. 10}$$

$$T_{u1} = \frac{273,53 \text{ N} \cdot 0,00664 \text{ m}}{2} \left[ \frac{(\cos 14,5^\circ \cdot \tan 4,97^\circ + 0,15)}{(\cos 14,5^\circ - 0,15 \cdot \tan 4,97^\circ)} \right]$$

$$T_{u1} = 0,22 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_u$  = torque requerido para subir la carga

$F$  = fuerza total que actúa sobre el tornillo

$D_{p1}$  = diámetro de paso del tornillo de potencia = 0,00664 m

$\phi$  = ángulo de la cuerda ACME = 14,5°

$f$  = torque de fricción sobre la tuerca y tornillo de acero = 0,15

$p$  = paso del tornillo = 0.0714 plg = 1,8 mm

$\lambda$  = ángulo de desplazamiento

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{p}{\pi \cdot D_{p1}} = \tan^{-1} \frac{1,8 \text{ mm}}{\pi \cdot 6,64 \text{ mm}} \quad \text{Ecuación 2. 11}$$

$$\lambda = 4,97^\circ$$

#### d. SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL ESMERILADO

Para generar el torque de esmerilado se utiliza un motor eléctrico de corriente alterna que gira a 1750 rpm y se acopla de forma directa al eje del rodillo motriz.

La potencia requerida en el motor para el esmerilado de las piezas de acero inoxidable, viene dado por:

$$Pot_{m1} = T_{esm} \cdot \omega_{mot} \quad \text{Ecuación 2. 12}$$

$$Pot_{m1} = 15,75 \text{ Nm} \cdot 183,26 \text{ rad/s}$$

$$Pot_{m1} = 2886,5 \text{ W}$$

Donde:

$Pot_{m1}$  = potencia requerida del motor 1

Considerando una eficiencia total del motor de 80% con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, así como los diferentes tipos de pérdidas en el sistema, la potencia efectiva requerida en el motor es:

$$P_{Mot1} = \frac{Pot_{m1}}{\eta_T} \quad \text{Ecuación 2. 13}$$

$$P_{Mot1} = \frac{2886,5 \text{ W}}{0,8}$$

$$P_{Mot1} = 3608,13 \text{ W} = 4,84 \text{ hp}$$

Donde:

$\eta_T$  = eficiencia total del motor

Se selecciona un motor eléctrico de 5,0 hp de potencia nominal.

#### **e. DISEÑO DEL MECANISMO DE ELEVACIÓN DEL SISTEMA DE ESMERILADO**

Para regular la altura del sistema de esmerilado de acuerdo con el espesor de la pieza a pulir, se utiliza un mecanismo de tornillo de potencia accionado mediante una transmisión de rueda dentada y cadena.

Considerando que el sistema de esmerilado genera una carga total de 750 N (incluido el peso del sistema), el tornillo de potencia del mecanismo de

elevación debe generar la fuerza de elevación suficiente para elevar dicha carga hasta la altura requerida.

Entonces, el peso del sistema de esmerilado somete al tornillo de potencia a esfuerzo de compresión, por lo que el área de tracción que se requiere viene dado por:

$$A_{t2} = \frac{FS \cdot F}{S_y} \quad \text{Ecuación 2. 14}$$

$$A_{t2} = \frac{2,5 \cdot 750 \text{ N}}{250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$A_{t2} = 7,50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,116 \text{ plg}^2$$

De la Tabla del Anexo A-11 se determina que el tornillo provisto de cuerda ACME de 1/2" (12,7 mm) de diámetro con 10 hilos por pulgada y diámetro de paso de 0,4306 plg (10,94 mm) proporciona un área de esfuerzo de tracción de 0,1225 plg<sup>2</sup>.

El torque requerido para elevar toda la carga del sistema se calcula a partir de la ecuación:

$$T_{u2} = \frac{F \cdot D_p l}{2} \left[ \frac{(\cos \phi \cdot \tan \lambda + f)}{(\cos \phi - f \tan \lambda)} \right]$$

$$T_{u2} = \frac{750 \text{ N} \cdot 0,01094 \text{ m}}{2} \left[ \frac{(\cos 14,5^\circ \cdot \tan 4,23^\circ + 0,15)}{(\cos 14,5^\circ - 0,15 \cdot \tan 4,23^\circ)} \right]$$

$$T_{u2} = 0,95 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_u$  = torque requerido para subir la carga

$F$  = fuerza total que actúa sobre el tornillo

$D_{p1}$  = diámetro de paso del tornillo de potencia = 0,01094 m

$\phi$  = ángulo de la cuerda ACME = 14,5°

$f$  = torque de fricción sobre la tuerca y tornillo de acero = 0,15

$p$  = paso del tornillo = 0.10 plg = 2,5 mm

$\lambda$  = ángulo de desplazamiento

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{p}{\pi \cdot D_{p1}} = \tan^{-1} \frac{2,5 \text{ mm}}{\pi \cdot 10,94 \text{ mm}}$$

$$\lambda = 4,23^\circ$$

Para una velocidad de elevación del sistema de esmerilado de 25 mm/s, la velocidad de giro requerida en el tornillo de potencia es:

$$\omega_{tor2} = \frac{25 \text{ mm/s} \cdot 1 \text{ rev}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$\omega_{tor2} = 10 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 600 \text{ rpm} = 62,83 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Donde:

$\omega_{tor2}$  = velocidad angular del tornillo de potencia

Entonces, la potencia que se necesita para impulsar el tornillo es:

$$Pot_{m2} = T_{u2} \cdot \omega_{tor2}$$

$$Pot_{m2} = 0,95 \text{ Nm} \cdot 62,83 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$Pot_{m2} = 59,69 W$$

Donde:

$Pot_{m2}$  = potencia motor 2 requerida para impulsar el tornillo sin considerar la eficiencia

Considerando una eficiencia total del motor y del sistema de transmisión de cadena de 60% con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, así como los diferentes tipos de pérdidas en el sistema, la potencia efectiva requerida en el motor es:

$$P_{Mot2} = \frac{Pot_{m2}}{\eta_T}$$

$$P_{Mot2} = \frac{59,69 W}{0,6}$$

$$P_{Mot2} = 99,5 W = 0,133 hp$$

Donde:

$P_{Mot2}$  = potencia del motor 2 considerando la eficiencia mínima

Se selecciona un motor-reductor de 1/6 hp de potencia nominal.

Para seleccionar el tamaño de cadena de rodillos óptima para transmitir la potencia desde el motor al tornillo, es necesario primero determinar la potencia de diseño.

Para un sistema de transmisión de bajo impacto e impulsado mediante un motor eléctrico, el factor de servicio se obtiene de la Tabla del Anexo A-12 y su valor es de 1.3, por lo que la potencia de diseño es:

$$P_D = 1.3 \cdot P_{Mot2} = 1.3 \cdot 1/6 hp$$

**Ecuación 2. 15**

$$P_D = 0.217 \text{ hp}$$

Donde:

$P_D$  = potencia de diseño del motor 2

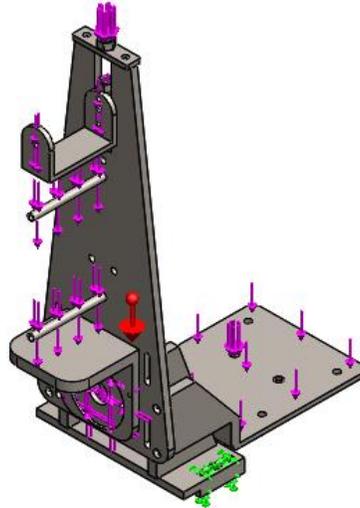
De la figura del Anexo A-13 se determina que para una potencia nominal de 0.217 hp y 600 rpm, la rueda dentada pequeña más adecuada cae en la zona RS25 con menos de 13 dientes, la misma que tiene un paso de  $\frac{1}{4}$  plg.

Mientras que de la figura del Anexo A-14 se determina que la rueda dentada RS25 más pequeña (con  $N_1 = 11$  dientes) puede transmitir una potencia de 0,27 hp, por lo que resulta la más adecuada.

#### **f. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL SISTEMA DE ESMERILADO**

La estructura soporte del sistema de esmerilado se compone de la placa soporte, la base soporte y el soporte del rodillo tensor, y debido a la geometría compleja que tiene, su análisis de esfuerzos se realiza con ayuda de un software de ingeniería asistida por computador. (Informe de SolidWorks).

En la figura 2.8 se analiza los esfuerzos que soporta la estructura soporte del sistema de esmerilado.

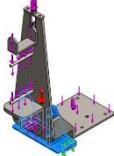
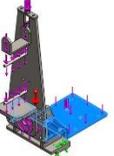


**Figura 2. 8 Esfuerzos en la Estructura Soporte del Sistema de Esmerilado**

En las Tablas 2.1 a la Tabla 2.4 se muestran los distintos informes del ensamblaje del sistema 1 que se visualiza en el programa de Solidworks.

**Tabla 2. 1**

**Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Esmerilado**

Sólido			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<b>Cortar-Extruir6</b> 	Sólido	Masa:7.75969 kg Volumen:0.000988495 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:76.0449 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\Trabajos SoliD\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Base de esmerilado.SLDPRT Jun 02 08:21:33 2015
<b>Redondeo1</b> 	Sólido	Masa:6.34437 kg Volumen:0.000808201 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:62.1749 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\Trabajos SoliD\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Base motor esmerilado.SLDPRT Jun 11 15:50:54 2015

CONTINÚA 

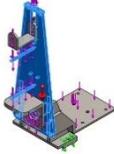
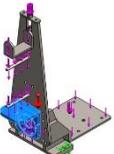
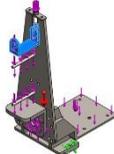
Sólido			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<b>Cortar-Extruir9</b> 	Sólido	Masa:9.04235 kg Volumen:0.00115189 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:88.615 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\Trabajos SoliD\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Placa soporte esmerilado.SLDPRT Jun 07 18:40:51 2015
<b>Cortar-Extruir3</b> 	Sólido	Masa:3.28627 kg Volumen:0.000418633 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:32.2054 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\Trabajos SoliD\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Soporte rodillo motriz esmerilado.SLDPRT Jun 07 18:40:12 2015
<b>Chaflán1</b> 	Sólido	Masa:0.940493 kg Volumen:0.000119808 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:9.21683 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\Trabajos SoliD\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Soporte rodillo tensor.SLDPRT Jun 05 11:12:54 2015

Tabla 2. 2

## Propiedades de material del sistema de esmerilado

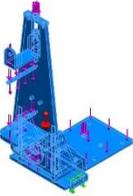
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido <b>Límite elástico:</b> 250 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 400 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.26 <b>Densidad:</b> 7850 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 79300 N/mm <sup>2</sup>	Sólido 1(Cortar-Extruir6)(Base de esmerilado-1), Sólido 1(Redondeo1)(Base motor esmerilado-1), Sólido 1(Cortar-Extruir9)(Placa soporte esmerilado-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soporte rodillo motriz esmerilado-1), Sólido 1(Chaflán1)(Soporte rodillo tensor-1)
<b>Datos de curva: N/A</b>		

Tabla 2. 3

## Análisis de sujeciones del sistema de esmerilado

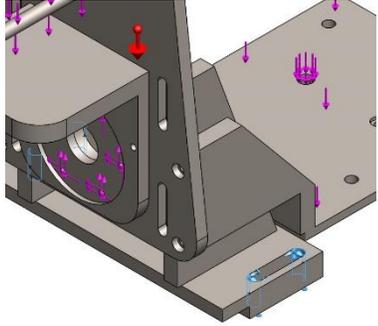
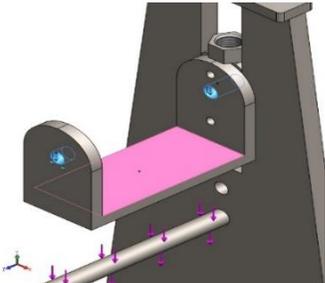
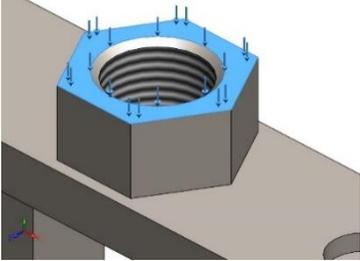
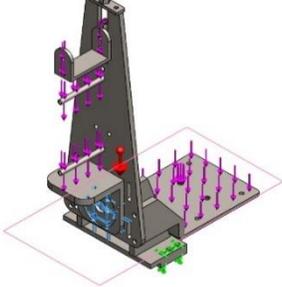
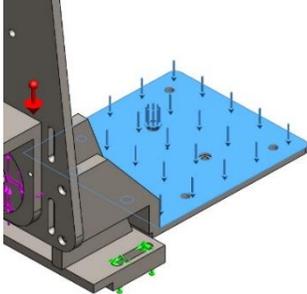
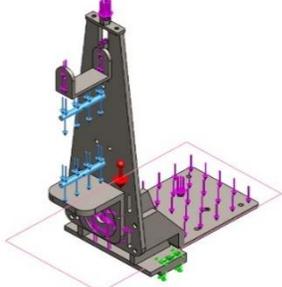
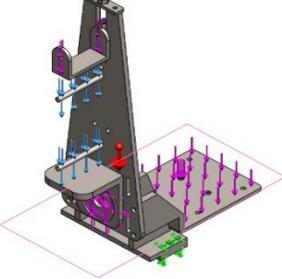
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 4 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija			
<b>Fuerzas resultantes</b>					
	<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza reacción(N)</b>	de	630.007	-153.608	0.0306332	648.463
<b>Momento reacción(N.m)</b>	de	0	0	0	0

Tabla 2. 4

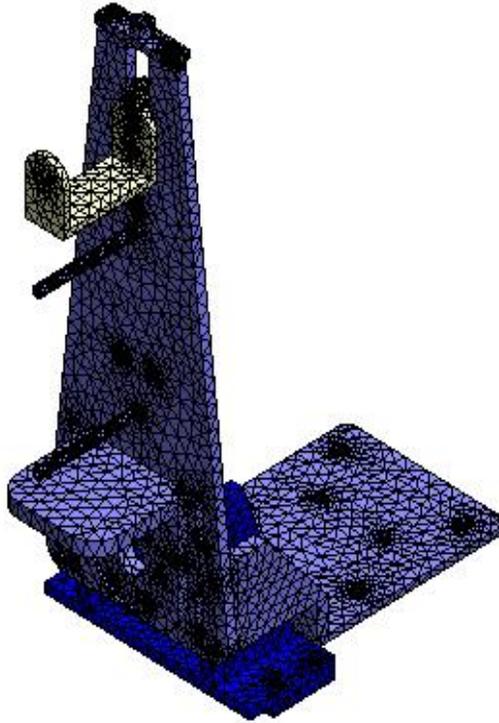
## Análisis de cargas del sistema de esmerilado

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, 273.53 N

CONTINÚA 

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-2		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 273.53 N
Fuerza-3		<b>Entidades:</b> 6 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> -105, ---, 273.53 N
W motor		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 250 N
W cubierta		<b>Entidades:</b> 2 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, -75 N
Gravedad-1		<b>Referencia:</b> Planta <b>Valores:</b> 0 0 -9.81 <b>Unidades:</b> SI

A continuación, en la figura 2.9, se muestra el mallado modelado en Solidworks de la estructura soporte del sistema de esmerilado.



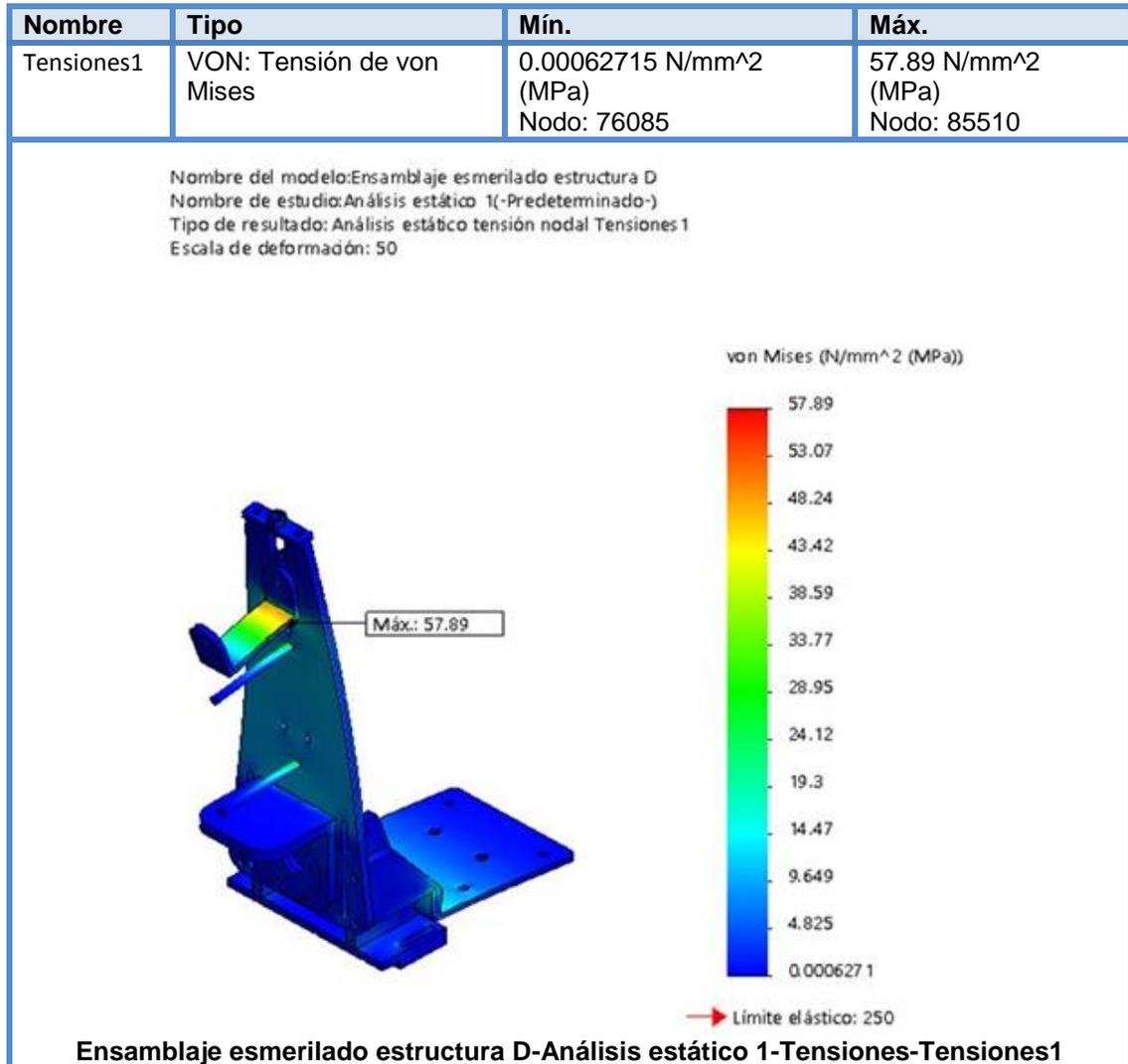
**Figura 2. 9 Mallado del sistema de esmerilado**

#### **g. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE ESMERILADO**

En la Tabla 2.5 se muestra la tensión de Von Mises es de 57,89 MPa que es menor al límite estático del material de 250 MPa, por tanto la estructura de esmerilado soporta la tensión sin fallas.

Tabla 2. 5

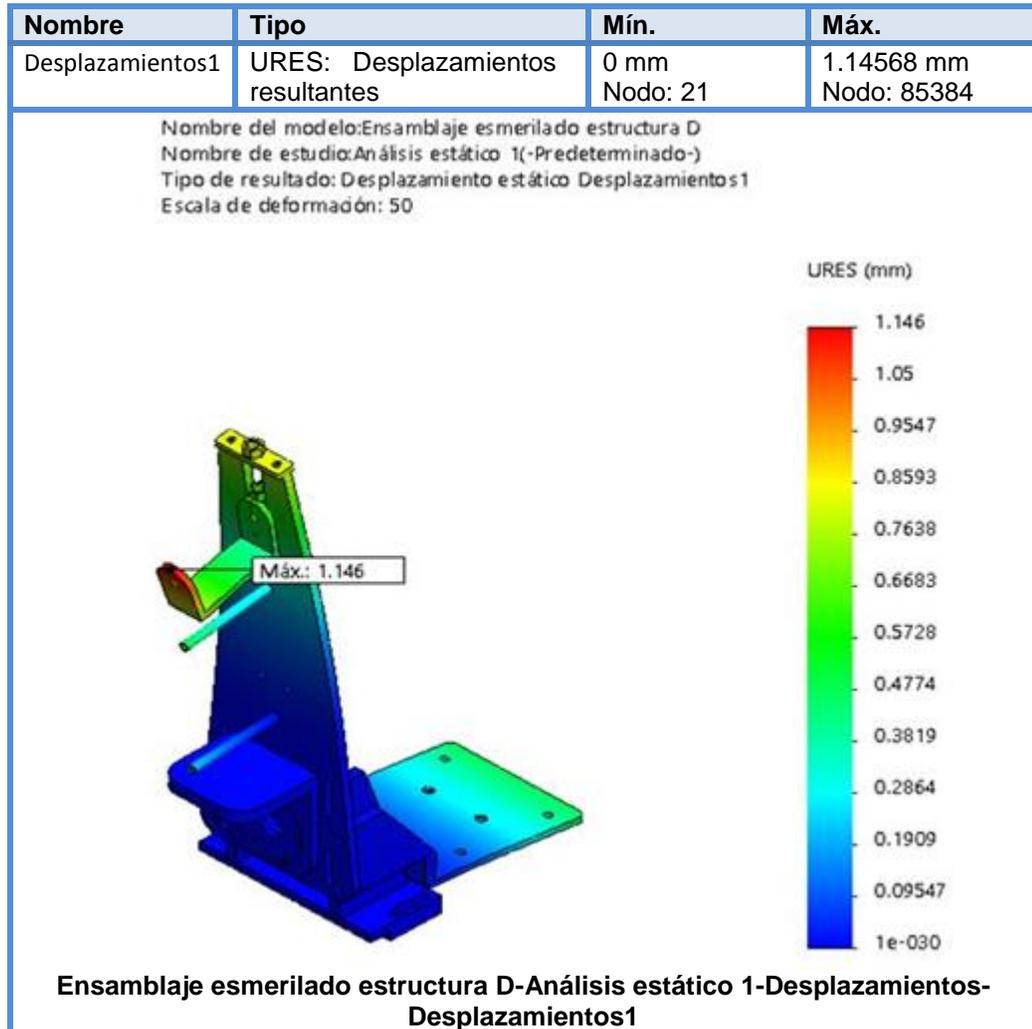
## Tensión de Von Mises en el sistema de esmerilado



La Tabla 2.6 muestra la máxima deformación que se produce en la estructura, se ve que el desplazamiento es de 1,146 mm que ocurre en el soporte del rodillo tensor, pero este no afecta el normal funcionamiento de la máquina.

Tabla 2. 6

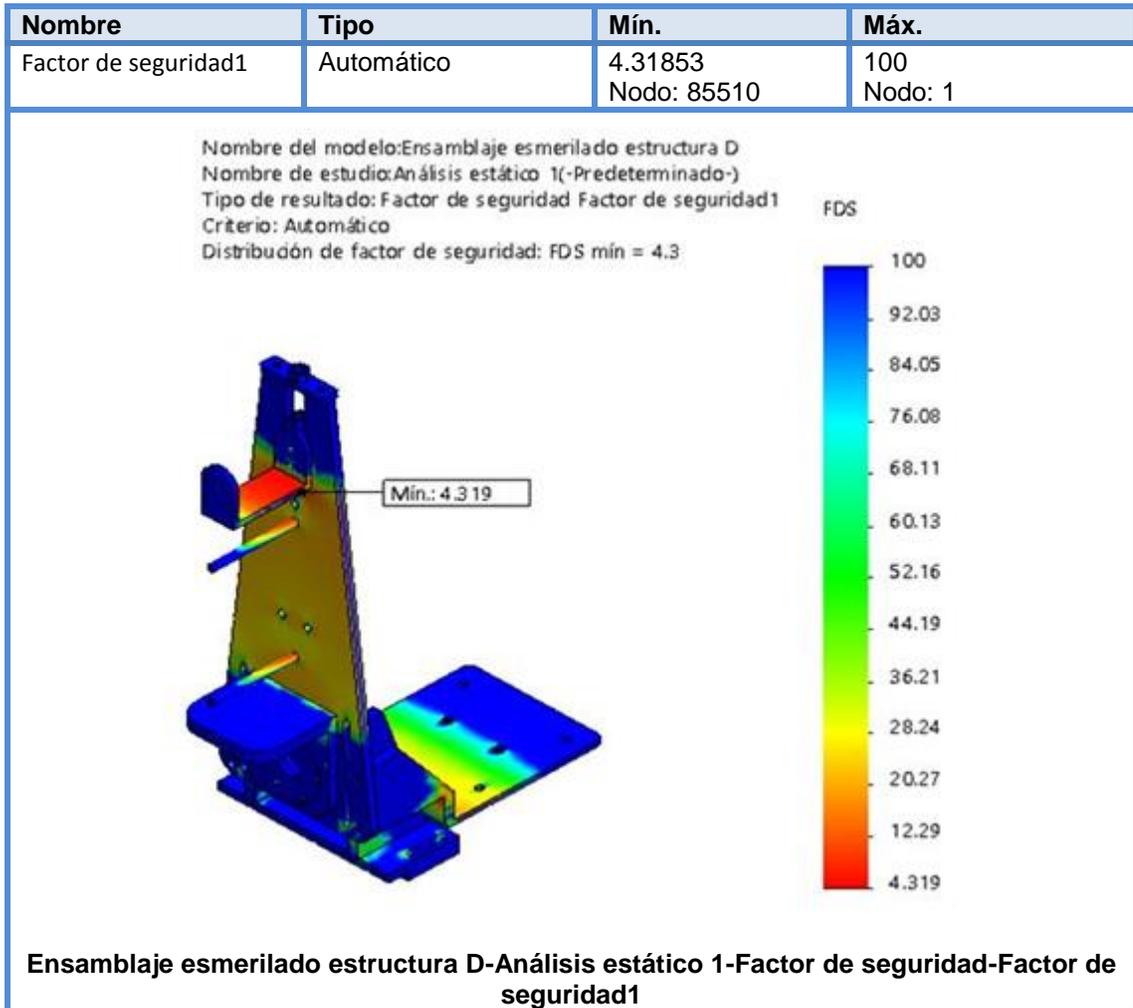
## Desplazamientos resultantes del sistema de esmerilado



El factor de seguridad mínimo es 4,319, pero como este valor es mayor a 2,5 que es el factor de seguridad utilizado, entonces se concluye que el diseño es seguro, como se muestra en la Tabla 2.7.

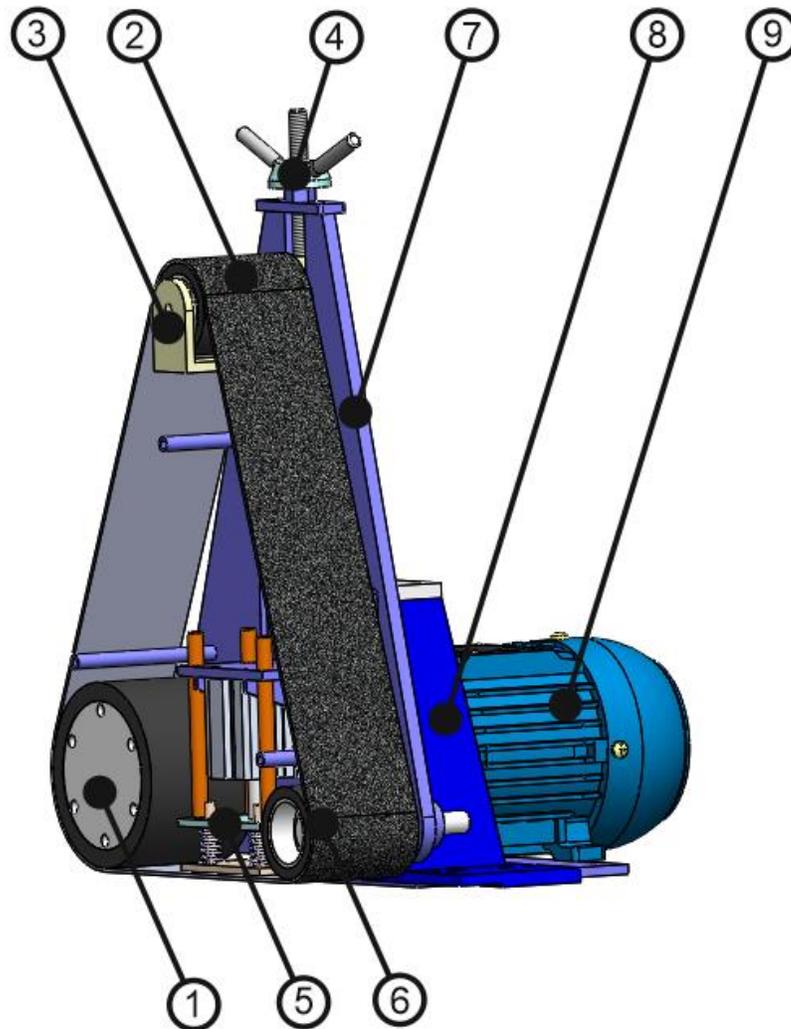
Tabla 2. 7

## Factor de seguridad en el sistema de esmerilado



## 2.4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE PULIDO

Este sistema constituye la segunda etapa del proceso y está formado por los elementos que se detallan en la figura 2.10. En este sistema se realiza el pulido de las piezas de acero inoxidable mediante una banda abrasiva accionada por el rodillo motriz, la misma que es presionada contra la pieza a pulir por una placa impulsada mediante un cilindro neumático.



**Figura 2. 10 Sistema de pulido**

1. Rodillo motriz
2. Rodillo tensor para la banda abrasiva
3. Soporte del rodillo tensor
4. Tornillo tensor para la banda abrasiva
5. Mecanismo de presión de la banda abrasiva
6. Rodillo de arrastre

7. Placa soporte del sistema de pulido
8. Base soporte del sistema de pulido
9. Motor eléctrico

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS

Considerando que para realizar la operación de pulido se recomienda una fuerza de trabajo de 150 N, la fuerza de fricción que se genera en la banda abrasiva viene dado por (figura 2.10):

$$F_{fric} = F_{pul} = \mu_{AI-BA} \cdot N_1 = \mu_{AI-BA} \cdot F_{tra} \quad \text{Ecuación 2. 16}$$

$$F_{pul} = 0,4 \cdot 150 \text{ N}$$

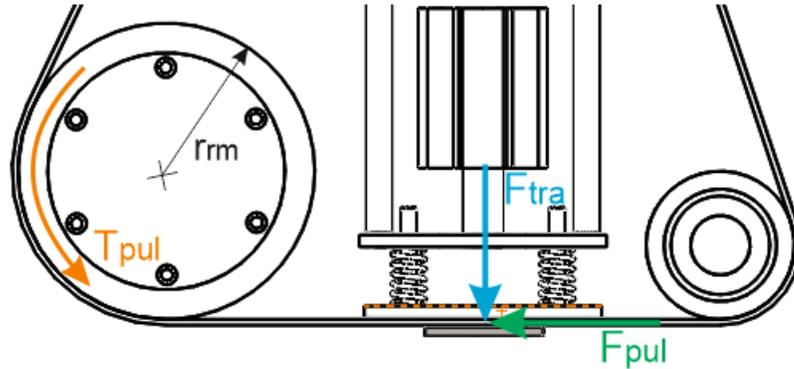
$$F_{pul} = 60,0 \text{ N}$$

Donde:

$F_{pul}$  = fuerza generada durante el pulido

$\mu_{AI-BA}$  = coeficiente de fricción entre acero inoxidable – banda abrasiva  
fina = 0,4 (Anexo A-10)

$F_{tra}$  = fuerza de trabajo



**Figura 2. 11 Cargas generadas en el pulido**

El torque requerido para el pulido viene dado por:

$$T_{pul} = F_{pul} \cdot r_{rm}$$

$$T_{pul} = 60,0 \text{ N} \cdot 0,15\text{m}$$

$$T_{pul} = 9,0 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_{pul}$  = torque requerido para el pulido

$r_{rm}$  =radio del rodillo motriz del sistema de pulido

## **b. SELECCIÓN DEL RODILLO MOTRIZ Y DEL MECANISMO TENSOR DE LA BANDA ABRASIVA**

Por facilidad de fabricación de las piezas de la máquina, intercambiabilidad de repuestos y facilidad de las operaciones de mantenimiento, tanto el rodillo motriz como el mecanismo tensor de la banda abrasiva para el sistema de pulido, será el mismo que el del sistema de esmerilado.

### c. SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL PULIDO

Para generar el torque para pulir las piezas se utiliza un motor eléctrico de corriente alterna que gira a 1750 rpm y se acopla de forma directa al eje del rodillo motriz.

La potencia requerida en el motor para el pulido, viene dado por:

$$Pot_{m3} = T_{pul} \cdot \omega_{mot3}$$

$$Pot_{m3} = 9,0 \text{ Nm} \cdot 183,26 \text{ rad/s}$$

$$Pot_{m3} = 1649,3 \text{ W}$$

Donde:

$Pot_{m3}$  = potencia del motor requerida en el sistema 2.

$\omega_{mot3}$  = velocidad angular del motor 3 del sistema 2.

Considerando una eficiencia total del motor de 80% con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, así como los diferentes tipos de pérdidas en el sistema, la potencia efectiva requerida en el motor es:

$$P_{Mot3} = \frac{Pot_{m3}}{\eta_T}$$

$$P_{Mot3} = \frac{1649,3 \text{ W}}{0,8}$$

$$P_{Mot3} = 2061,6 \text{ W} = 2,77 \text{ hp}$$

Por lo tanto, se selecciona un motor eléctrico que entrega 3,0 hp de potencia nominal a 1750 rpm.

#### d. DISEÑO DEL MECANISMO DE PRESIÓN PARA EL PULIDO

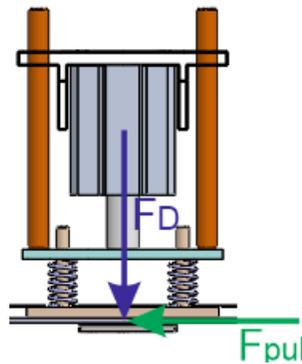
Para que la banda abrasiva ejerza presión sobre la pieza a pulir se utiliza una placa plana accionada mediante un cilindro neumático (figura 2.11), el mismo que debe transmitir una carga igual a la fuerza de trabajo multiplicado por un factor de carga, que para este mecanismo se considera de 1,5. Por lo tanto, la fuerza máxima de diseño que debe transmitir el pistón del cilindro neumático es:

$$F_D = 1,5 \cdot F_{tra} = 1,5 \cdot 150 \text{ N} \quad \text{Ecuación 2. 17}$$

$$F_D = 225 \text{ N}$$

Donde:

$F_D$  = fuerza máxima de diseño del pistón



**Figura 2. 12 Cargas en el mecanismo de presión para el pulido**

El movimiento vertical de la placa plana que presiona la banda abrasiva es generado por la carrera del émbolo de un cilindro neumático que es alimentado por un sistema de aire comprimido, el mismo que entrega aire a una presión máxima de 5 bares (500 kPa).

El diámetro requerido en el pistón del cilindro neumático ( $\phi_{pist}$ ) viene dado por:

$$p = \frac{F_D}{A_{pist}} = \frac{4 \cdot F_D}{\pi \cdot \phi_{pist}^2} \quad \text{Ecuación 2. 18}$$

De donde:

$$\phi_{pist} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_D}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 225 \text{ N}}{\pi \cdot 500 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2}}$$

$$\phi_{pist} = 0.024 \text{ m} = 24 \text{ mm}$$

Donde:

$p$  = presión del cilindro neumático

De acuerdo al diámetro calculado y la longitud de la cremallera se selecciona del catálogo JS el cilindro neumático tipo básico JS-25-50, que funciona en un rango de presiones de 0.6 a 12 bar, tiene un diámetro de émbolo de 25 mm y una carrera de 50 mm. (Anexo A-15).

El caudal de aire requerido para alcanzar una velocidad de descenso de la placa de presión 25 mm/s es:

$$Q = V \cdot A = V \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{pist}^2}{4} \quad \text{Ecuación 2. 19}$$

$$Q = 25 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot \frac{\pi \cdot 25^2 \text{ mm}^2}{4}$$

$$Q = 12271,8 \text{ mm}^3/\text{s} = 0.012 \text{ lt/s}$$

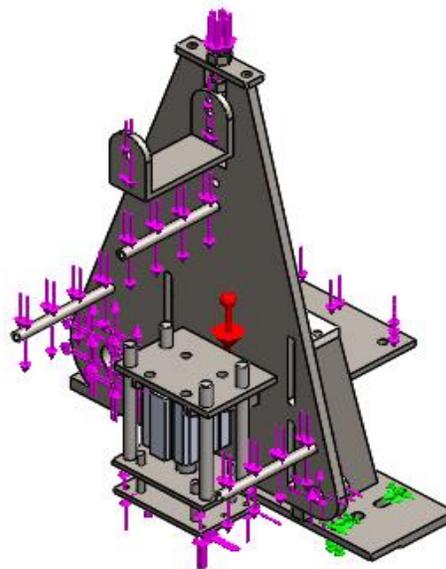
Donde:

$Q$  = caudal de aire requerido

### e. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL SISTEMA DE PULIDO

La estructura soporte del sistema de pulido se compone de la placa soporte, la base soporte, el soporte del rodillo tensor y el soporte de mecanismo de presión. El análisis de esfuerzos de la estructura soporte del sistema de pulido se realiza con ayuda de un software de ingeniería asistida por computador. (Informe de SolidWorks).

En la figura 2.13 se analiza los esfuerzos que soporta la estructura soporte del sistema de esmerilado.

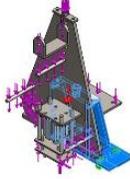
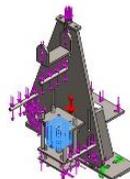
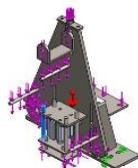
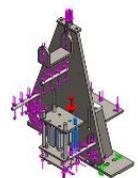


**Figura 2. 13 Esfuerzos en la Estructura Soporte del Sistema de Esmerilado**

En las Tablas 2.8 a la Tabla 2.11 se muestran los distintos informes del ensamblaje del sistema 2 que se visualiza en el programa de Solidworks.

Tabla 2. 8

## Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Pulido

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<b>Línea de partición1</b> 	Sólido	Masa:7.28078 kg Volumen:0.000927487 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:71.3516 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Base de pulido.SLDPRT Jun 02 08:21:23 2015
<b>Cortar-Extruir7</b> 	Sólido	Masa:0.589955 kg Volumen:0.000218098 m <sup>3</sup> Densidad:2705 kg/m <sup>3</sup> Peso:5.78156 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Cilindro neumatico JS50X50.SLDPRT May 26 10:30:01 2015
<b>Chaflán1</b> 	Sólido	Masa:0.145881 kg Volumen:1.8466e-005 m <sup>3</sup> Densidad:7900 kg/m <sup>3</sup> Peso:1.42964 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Guias vastago.SLDPRT Jun 07 18:59:52 2015
<b>Chaflán1</b> 	Sólido	Masa:0.145881 kg Volumen:1.8466e-005 m <sup>3</sup> Densidad:7900 kg/m <sup>3</sup> Peso:1.42964 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Guias vastago.SLDPRT Jun 07 18:59:52 2015

CONTINÚA 

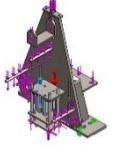
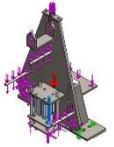
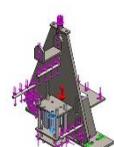
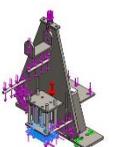
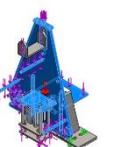
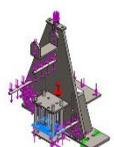
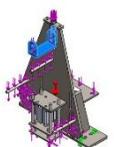
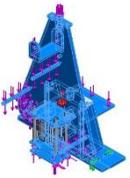
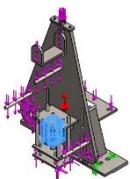
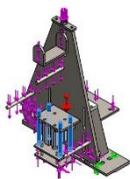
<p><b>Chaflán1</b></p> 	Sólido	<p>Masa:0.145881 kg  Volumen:1.8466e-005 m<sup>3</sup>  Densidad:7900 kg/m<sup>3</sup>  Peso:1.42964 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Guias  vastago.SLDPRT  Jun 07 18:59:52 2015</p>
<p><b>Chaflán1</b></p> 	Sólido	<p>Masa:0.145881 kg  Volumen:1.8466e-005 m<sup>3</sup>  Densidad:7900 kg/m<sup>3</sup>  Peso:1.42964 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Guias  vastago.SLDPRT  Jun 07 18:59:52 2015</p>
<p><b>Chaflán1</b></p> 	Sólido	<p>Masa:0.231676 kg  Volumen:2.9702e-005 m<sup>3</sup>  Densidad:7800 kg/m<sup>3</sup>  Peso:2.27042 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Piston  neumatico  JS50X50.SLDPRT  Jun 01 12:31:35 2015</p>
<p><b>Chaflán1</b></p> 	Sólido	<p>Masa:0.525433 kg  Volumen:6.69342e-005  m<sup>3</sup>  Densidad:7850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:5.14925 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Placa presion  abrasivo.SLDPRT  Jun 01 12:31:35 2015</p>
<p><b>Chaflán2</b></p> 	Sólido	<p>Masa:16.8809 kg  Volumen:0.00215044 m<sup>3</sup>  Densidad:7850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:165.433 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Placa soporte  pulido.SLDPRT  Jun 07 18:58:59 2015</p>
<p><b>Cortar-Extruir1</b></p> 	Sólido	<p>Masa:0.440481 kg  Volumen:5.61123e-005  m<sup>3</sup>  Densidad:7850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:4.31672 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Placa  vastago.SLDPRT  Jun 01 22:02:26 2015</p>
<p><b>Chaflán1</b></p> 	Sólido	<p>Masa:0.940493 kg  Volumen:0.000119808 m<sup>3</sup>  Densidad:7850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:9.21683 N</p>	<p>C:\Users\OSCAR\Downlo  ads\&amp;Trabajos  Solid\Pulidora Acero  Inoxidable\Pulidora  SolidWorks\Soporte  rodillo tensor.SLDPRT  Jun 05 11:12:54 2015</p>

Tabla 2. 9

## Propiedades del material del sistema de pulido

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido <b>Límite elástico:</b> 250 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 400 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.26 <b>Densidad:</b> 7850 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 79300 N/mm <sup>2</sup>	Sólido 1(Línea de partición1)(Base de pulido-1), Sólido 1(Chaflán1)(Placa presión abrasivo-1), Sólido 1(Chaflán2)(Placa soporte pulido-1), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Placa vástago-1), Sólido 1(Chaflán1)(Soporte rodillo tensor-1)
Datos de curva: N/A		
	<b>Nombre:</b> 1060-H18 Barra (SS) <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido <b>Límite elástico:</b> 108 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 130 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 69000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.33 <b>Densidad:</b> 2705 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 26000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 2.4e-005 /Kelvin	Sólido 1(Cortar-Extruir7)(Cilindro neumático JS50X50-1)
Datos de curva: N/A		
	<b>Nombre:</b> AISI 1020 <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido <b>Límite elástico:</b> 351.571 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 420.507 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.29 <b>Densidad:</b> 7900 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 77000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.5e-005 /Kelvin	Sólido 1(Chaflán1)(Guías vástago-1), Sólido 1(Chaflán1)(Guías vástago-2), Sólido 1(Chaflán1)(Guías vástago-3), Sólido 1(Chaflán1)(Guías vástago-4)
Datos de curva: N/A		

CONTINÚA 

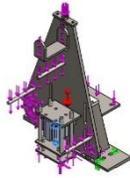
	<p><b>Nombre:</b> Acero inoxidable al cromo</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite elástico:</b> 172.339 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 413.613 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.28</p> <p><b>Densidad:</b> 7800 g/cm<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 77000 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.1e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Chaflán1)(Pistón neumático JS20X50-1)</p>
<p>Datos de curva: N/A</p>		

Tabla 2. 10

Análisis de sujeción del sistema de esmerilado

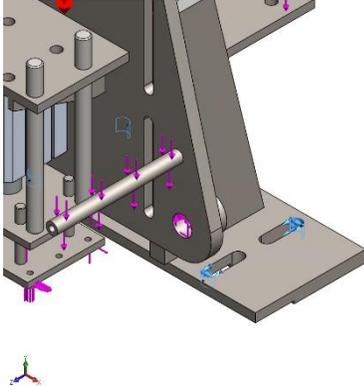
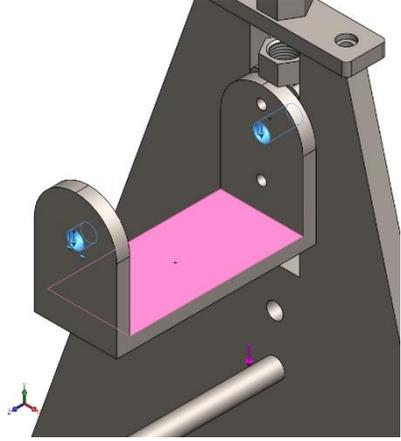
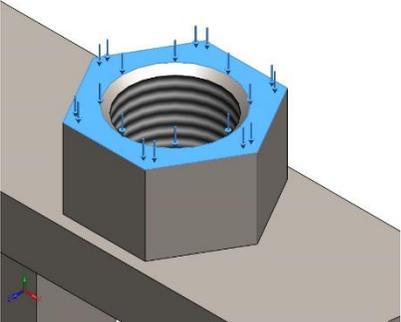
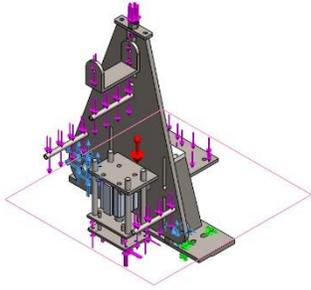
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
<p>Fijo-1</p>		<p><b>Entidades:</b> 4 cara(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Geometría fija</p>		
<p><b>Fuerzas resultantes</b></p>				
<p><b>Componentes</b></p>	<p><b>X</b></p>	<p><b>Y</b></p>	<p><b>Z</b></p>	<p><b>Resultante</b></p>
<p><b>Fuerza de reacción(N)</b></p>	<p>480.085</p>	<p>-1075.97</p>	<p>-0.107625</p>	<p>1178.22</p>
<p><b>Momento de reacción(N.m)</b></p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>

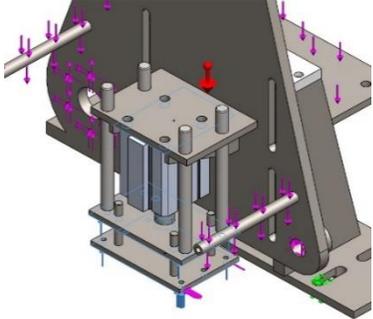
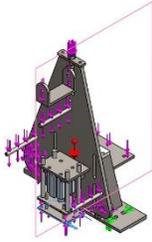
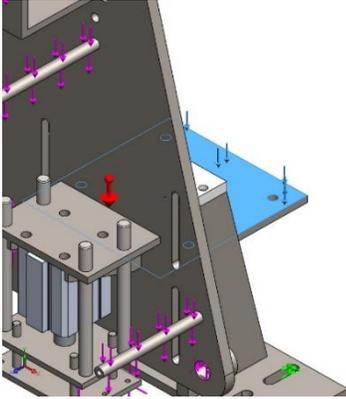
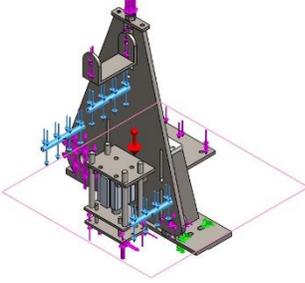
Tabla 2. 11

## Análisis de cargas del sistema de esmerilado

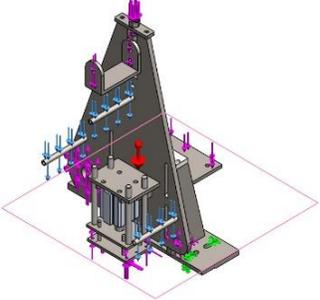
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, 273.53 N
Fuerza-2		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 273.53 N
Fuerza-3		<b>Entidades:</b> 7 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> -60, ---, 273.53 N

CONTINÚA

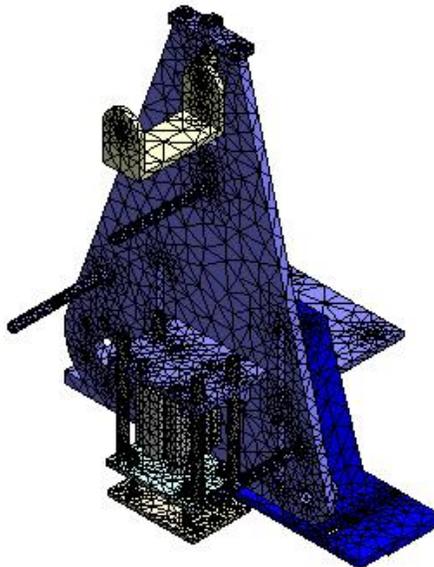


Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		<b>Entidades:</b> 3 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 225 N
Fuerza-5		<b>Entidades:</b> 1 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Vista lateral <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, -60 N
W motor		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 200 N
W cubierta		<b>Entidades:</b> 3 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, -75 N

 CONTINÚA 

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Gravedad-1		<b>Referencia:</b> Planta <b>Valores:</b> 0 0 -9.81 <b>Unidades:</b> SI

A continuación, en la figura 2.14, se muestra el mallado modelado en Solidworks de la estructura soporte del sistema de pulido.



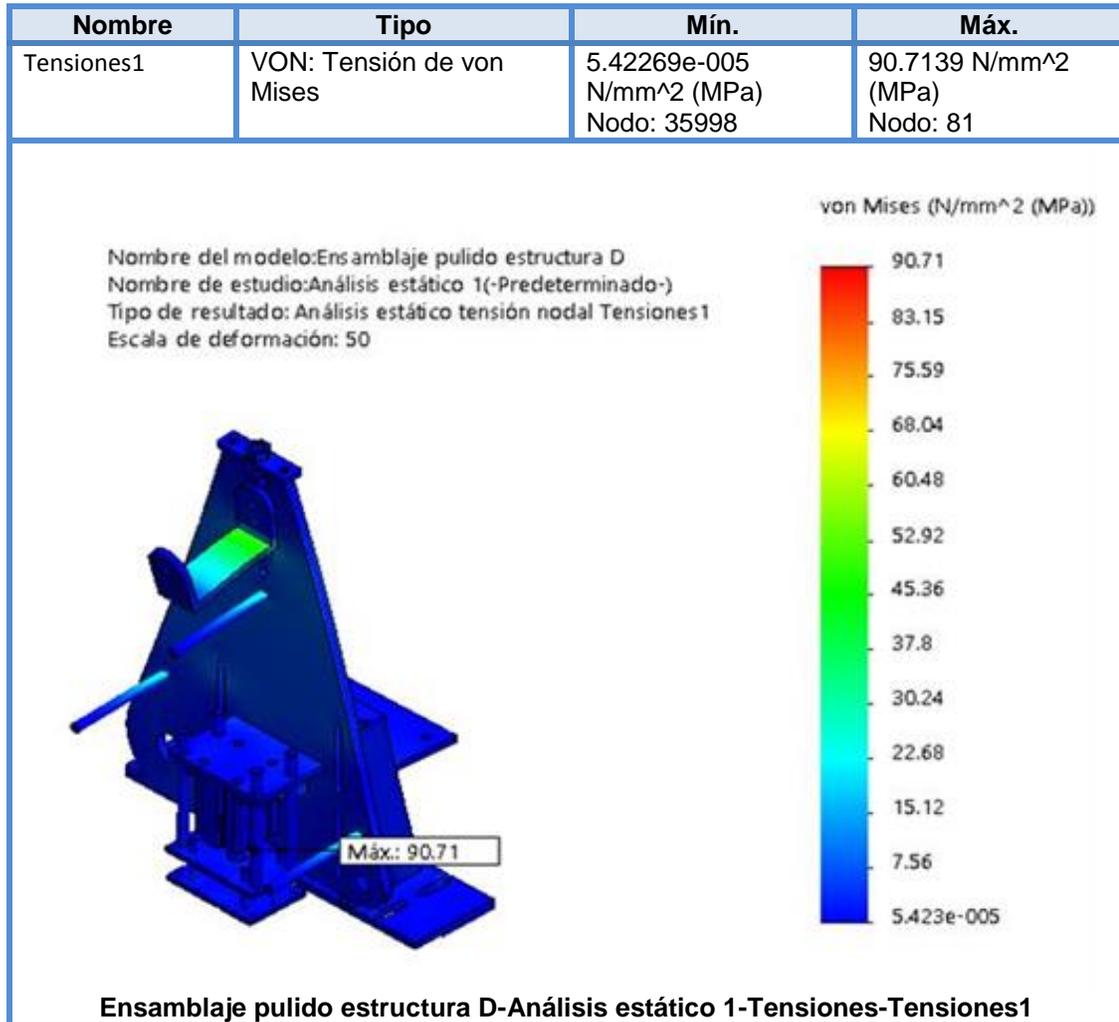
**Figura 2. 14 Mallado del sistema de pulido**

#### **f. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE PULIDO**

En la Tabla 2.12 se muestra la tensión de Von Mises es de 90,71 MPa que es menor al límite estático del material de 250 MPa, por tanto la estructura de pulido soporta la tensión sin fallas. (Tabla 2.12)

Tabla 2. 12

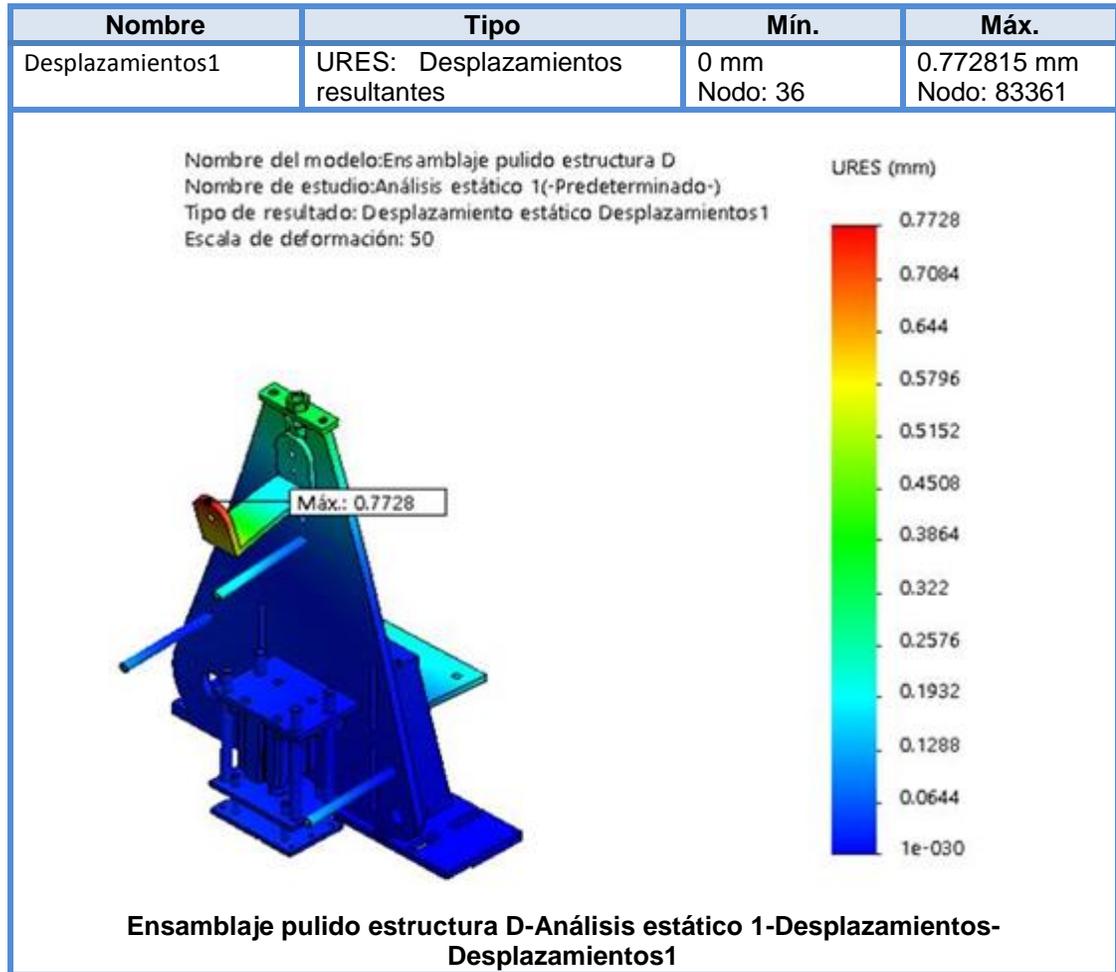
## Tensión de Von Mises en el sistema de pulido



La Tabla 2.13 muestra la máxima deformación que se produce en la estructura, se ve que el desplazamiento es de 0,7728 mm que ocurre en el soporte superior del rodillo tensor, pero este no afecta el normal funcionamiento de la máquina.

Tabla 2. 13

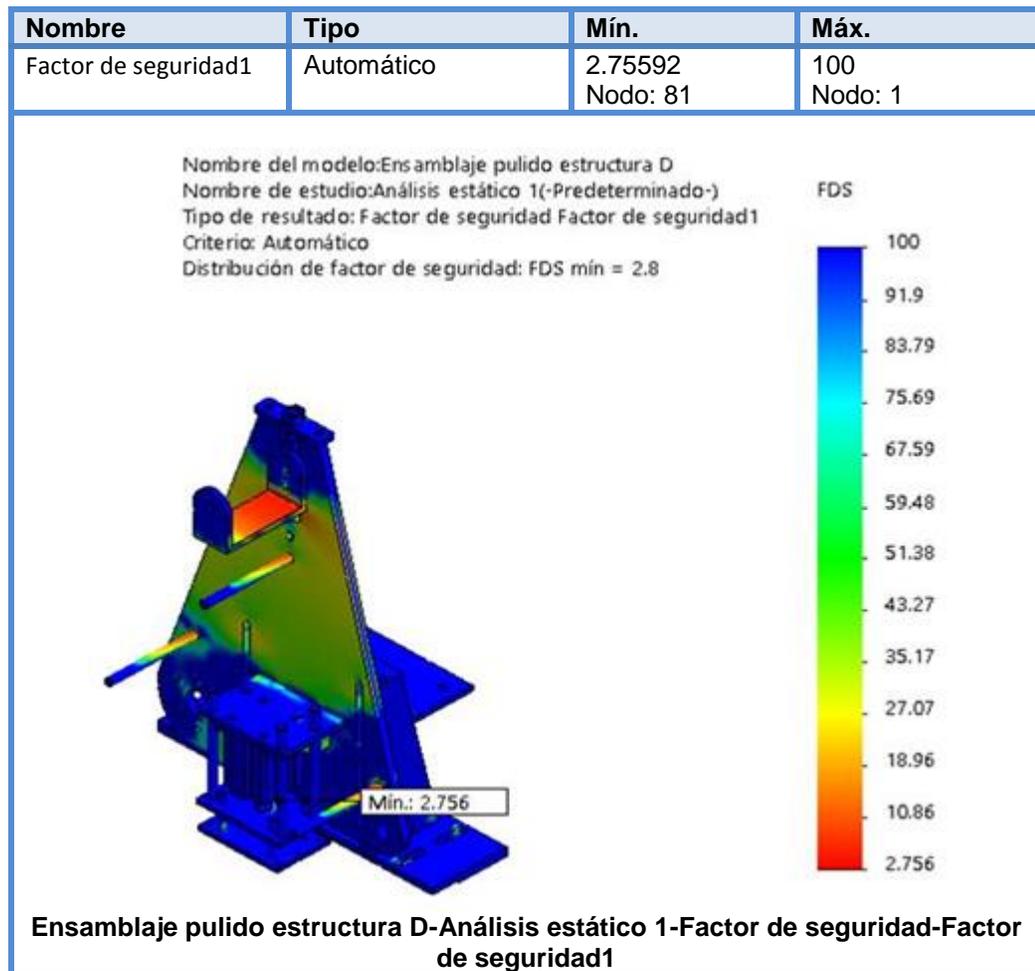
## Desplazamientos resultantes del sistema de pulido



En la Tabla 2.14 se muestra el factor de seguridad mínimo es 2,75, pero como este valor es mayor a 2,5 que es el factor de seguridad utilizado para los cálculos, entonces se concluye que el diseño es seguro.

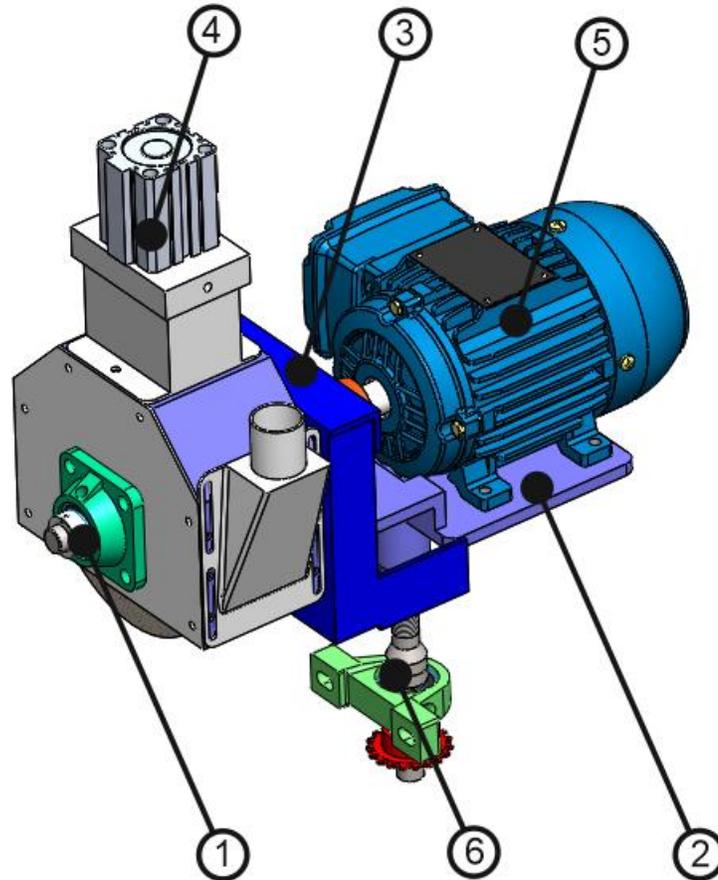
Tabla 2. 14

## Factor de seguridad en el sistema de pulido



### 2.4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ABRILLANTADO

Este sistema constituye la tercera etapa del proceso y está formado por los elementos que se detallan en la figura 2.15. En este sistema se realiza el abrillantado de las piezas de acero inoxidable mediante un rodillo accionado por un motor eléctrico y una pasta de abrillantado que es dosificada en el rodillo mediante un cilindro neumático.



**Figura 2. 15 Sistema de abrillantado**

1. Disco de abrillantado
2. Estructura soporte del sistema de abrillantado
3. Base soporte del sistema de abrillantado
4. Mecanismo aplicador de pasta abrasiva del sistema de abrillantado
5. Motor eléctrico
6. Mecanismo de elevación del sistema de abrillantado

### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS

Considerando que para realizar la operación de abrillantado se recomienda una fuerza de trabajo de 150 N, la fuerza de fricción que se genera en el rodillo viene dado por (figura 2.16):

$$F_{fric} = F_{abr} = \mu_{AI-BA} \cdot N_1 = \mu_{AI-BA} \cdot F_{tra}$$

$$F_{abr} = 0,3 \cdot 120 \text{ N}$$

$$F_{abr} = 36 \text{ N}$$

Donde:

$F_{abr}$  = fuerza generada durante el abrillantado

$\mu_{AI-DA}$  = coeficiente de fricción entre acero inoxidable – fibra de abrillantado = 0,3

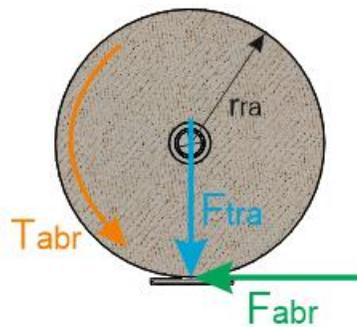


Figura 2. 16 Cargas generadas en el abrillantado

### b. SELECCIÓN DEL RODILLO DE ABRILLANTADO

El diámetro requerido en el rodillo se determina en función de la velocidad periférica recomendada para la operación de abrillantado, la misma que se considera un valor promedio de 35 m/s.

Para un motor eléctrico que gira a con una velocidad nominal de 1750 rpm (183,26 rad/s), el diámetro requerido en el disco de abrillantado se obtiene de la ecuación:

$$V_{abr} = \omega_{mot4} \cdot r_{ra}$$

$$r_{ra} = \frac{35 \text{ m/s}}{183,26 \text{ rad/s}}$$

$$r_{ra} = 0,191 \text{ m} = 191 \text{ mm}$$

Donde:

$V_{abr}$  = velocidad periférica de abrillantado

$r_{ra}$  = radio del disco de abrillantado

$\omega_{mot4}$  = velocidad angular del motor 4

Se selecciona un disco de abrillantado con un diámetro de 200 mm.

Para el diámetro del disco, la velocidad periférica para es:

$$V_{abr} = 183,26 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,15\text{m}$$

$$V_{abr} = 36,65 \text{ m/s}$$

Debido a que esta velocidad se encuentra dentro del rango recomendado (30 a 40 m/s), el diámetro del rodillo seleccionado es adecuado.

El torque requerido para el abrillantado viene dado por:

$$T_{abr} = F_{abr} \cdot r_{ra}$$

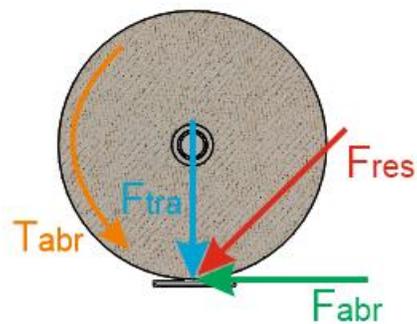
$$T_{abr} = 36 \text{ N} \cdot 0,20 \text{ m}$$

$$T_{abr} = 7,2 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_{abr}$  = torque requerido para abrillantar

La fuerza resultante ( $F_{res2}$ ) que actúa sobre el rodillo de abrillantado se obtiene en base a la figura 2.17:



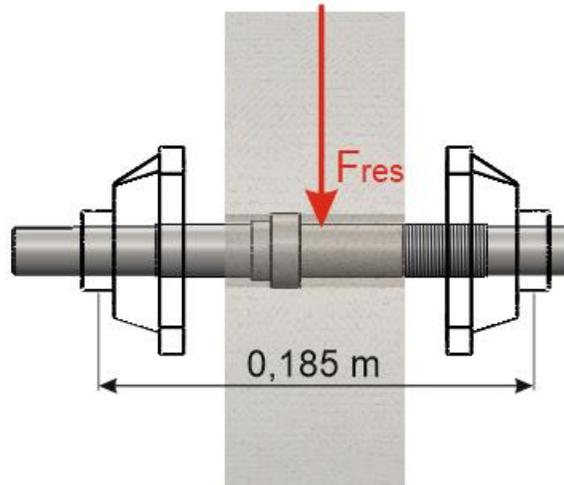
**Figura 2. 17 Cargas en el eje del rodillo motriz**

$$F_{res2} = \sqrt{F_{tra}^2 + F_{abr}^2} \quad \text{Ecuación 2. 20}$$

$$F_{res2} = \sqrt{120^2 + 36^2}$$

$$F_{res2} = 125,28 \text{ N}$$

El momento de flexión al que está sometido el eje del rodillo de abrillantado se obtiene a partir de la figura 2.18.



**Figura 2. 18 Momento de flexión máximo en el eje del rodillo de abrillantado**

$$M_{abr} = F_{res} \cdot d_3$$

$$M_{abr} = 125,28\text{ N} \cdot 0,185\text{ m}$$

$$M_{abr} = 23,18\text{ Nm}$$

Donde:

$M_{abr}$  = momento de flexión máximo del eje del rodillo de abrillantado

Para un eje de acero estructural ASTM A36, el diámetro mínimo requerido se determina a partir del torque y el momento de flexión al que está sometido, para lo cual se utiliza la ecuación para el diseño de flechas mediante la teoría de la energía de distorsión:

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{abr}^2 + \frac{3}{4} T_{abr}^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 2,5}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 23,18^2 + \frac{3}{4} 7,2^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\varnothing_{eje} = 0,0128 \text{ m} = 12,8 \text{ mm}$$

Donde:

$S_y$  = resistencia a la fluencia del acero estructural ASTM A36 = 250 MPa

Se selecciona un eje con un diámetro estándar de 15 mm.

### c. SELECCIÓN DEL MOTOR DE ABRILLANTADO

Para generar el torque de abrillantado se utiliza un motor eléctrico que gira a 1750 rpm y se acopla de forma directa al eje del rodillo.

La potencia requerida en el motor para realizar el proceso de abrillantado, viene dado por:

$$Pot_{m4} = T_{abr} \cdot \omega_{mot}$$

$$Pot_{m4} = 7,2 \text{ Nm} \cdot 183,26 \text{ rad/s}$$

$$Pot_{m4} = 1319,4 \text{ W}$$

Considerando una eficiencia total del motor de 85% con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, así como los diferentes tipos de pérdidas en el sistema, la potencia requerida en el motor es:

$$P_{Mot4} = \frac{Pot_{m4}}{\eta_T}$$

$$P_{Mot4} = \frac{1319,4 \text{ W}}{0,85}$$

$$P_{Mot4} = 1552,2 \text{ W} = 2,07 \text{ hp}$$

Se selecciona un motor eléctrico que entrega 2,0 hp de potencia nominal a 1750 rpm.

#### **d. DISEÑO DEL MECANISMO DE ELEVACIÓN DEL SISTEMA DE ABRILLANTADO**

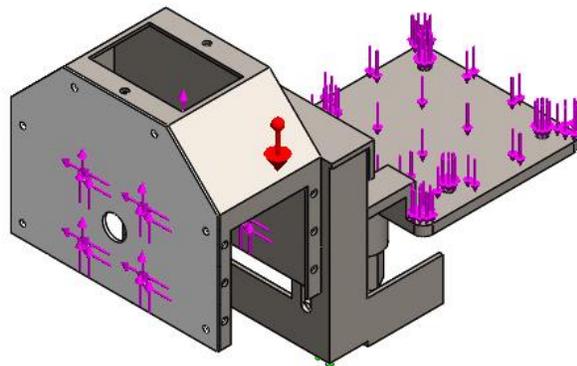
Por facilidad de fabricación de las piezas de la máquina, intercambiabilidad de repuestos y facilidad de las operaciones de mantenimiento, para la elevación del sistema de abrillantado se utilizará el mismo mecanismo que para el sistema de esmerilado.

Por las mismas razones, para el dosificado de la pasta para abrillantar, se utilizará el mismo cilindro neumático seleccionado para el mecanismo de presión del sistema de pulido.

#### **e. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL SISTEMA DE ABRILLANTADO**

La estructura soporte del sistema de abrillantado se compone de la estructura soporte y la base soporte, y su análisis de esfuerzos se realiza con ayuda de un software de ingeniería asistida por computador. (Informe de SolidWorks).

En la figura 2.19 se analiza los esfuerzos que soporta la estructura soporte del sistema de abrillantado.

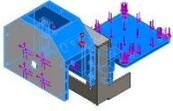
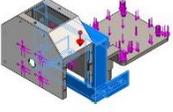


**Figura 2. 19 Esfuerzos en la Estructura Soporte del Sistema de Abrillantado**

En las Tablas 2.15 a la Tabla 2.18 se muestran los distintos informes del ensamblaje del sistema 3 que se visualiza en el programa de Solidworks

**Tabla 2. 15**

**Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Pulido**

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<b>Cortar-Extruir8</b> 	Sólido	Masa:7.39019 kg Volumen:0.000941425 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:72.4238 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Cubierta abrillantado.SLDPR T Jun 07 17:30:27 2015
<b>Saliente-Extruir3</b> 	Sólido	Masa:2.37984 kg Volumen:0.000303165 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:23.3225 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Soporte abrillantadora.SLDP RT Jun 02 07:59:35 2015

**Tabla 2. 16**

**Propiedades del material del sistema de abrillantado**

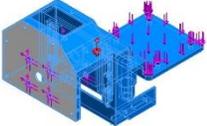
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido <b>Límite elástico:</b> 250 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 400 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.26 <b>Densidad:</b> 7850 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 79300 N/mm <sup>2</sup>	Sólido 1(Cortar-Extruir8)(Cubierta abrillantado-1), Sólido 1(Saliente-Extruir3)(Soporte abrillantadora-1)
<b>Datos de curva: N/A</b>		

Tabla 2. 17

## Análisis de sujeción del sistema de abrillantado

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 4 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	72.0012	5.88327	0.0923166	72.2412
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	0	0	0	0

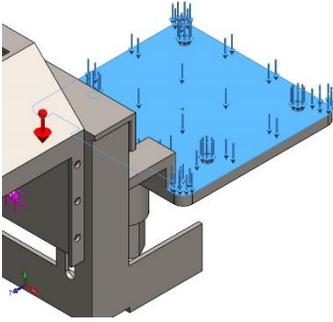
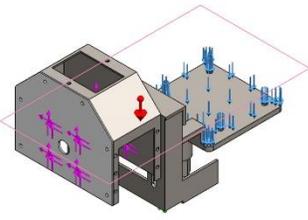
Tabla 2. 18

## Análisis de carga del sistema de abrillantado

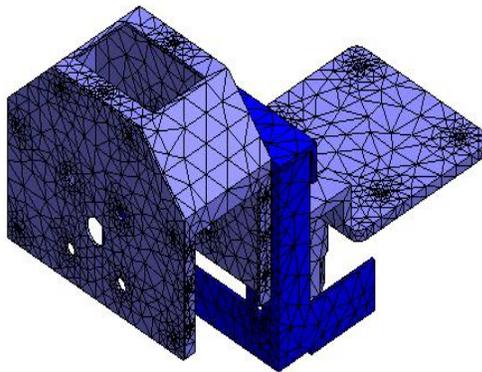
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidad s:</b> 4 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> -36, ---, 120 N
Fuerza-2		<b>Entidad s:</b> 4 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> -36, ---, 120 N

CONTINÚA



Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
W motor		<b>Entidad s:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 150 N
Gravedad-1		<b>Referencia:</b> Planta <b>Valores:</b> 0 0 -9.81 <b>Unidades:</b> SI

En la figura 2.20, se muestra el mallado modelado en Solidworks de la estructura soporte del sistema de abrillantado.



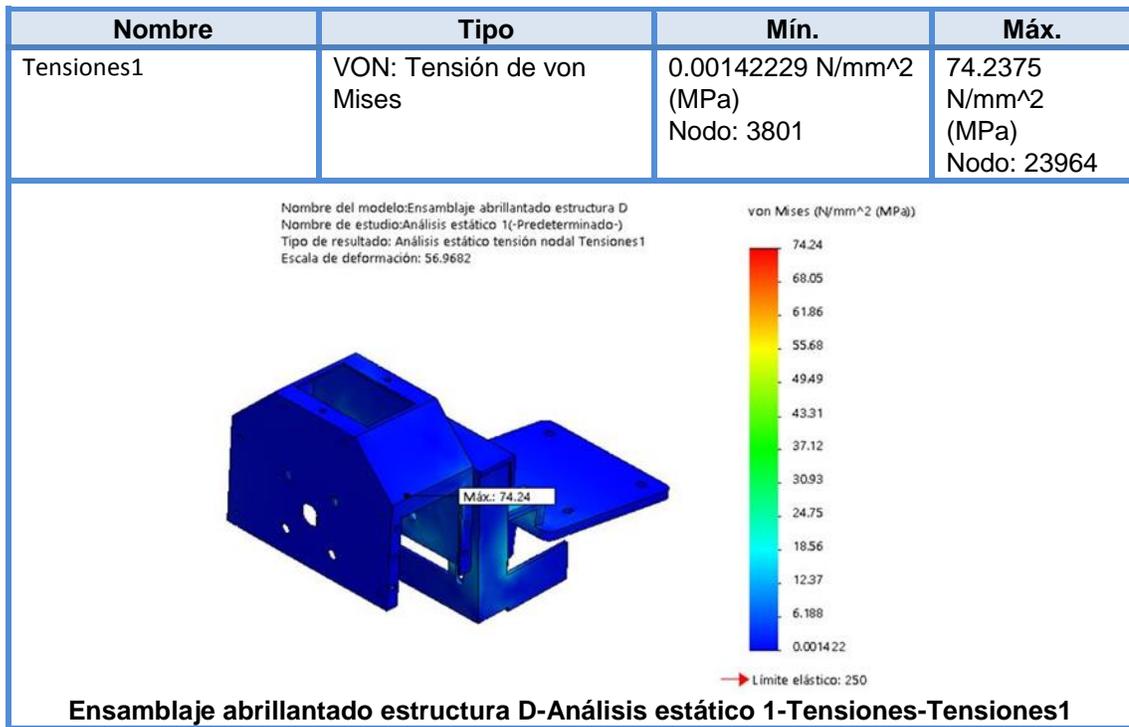
**Figura 2. 20 Malla Solida del sistema de abrillantado**

## f. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE ABRILLANTADO

La tensión de Von Mises es de 74,24 MPa que es menor al límite estático del material de 250 MPa, por tanto la estructura de abrillantado soporta la tensión sin fallas. (Tabla 2.19).

**Tabla 2. 19**

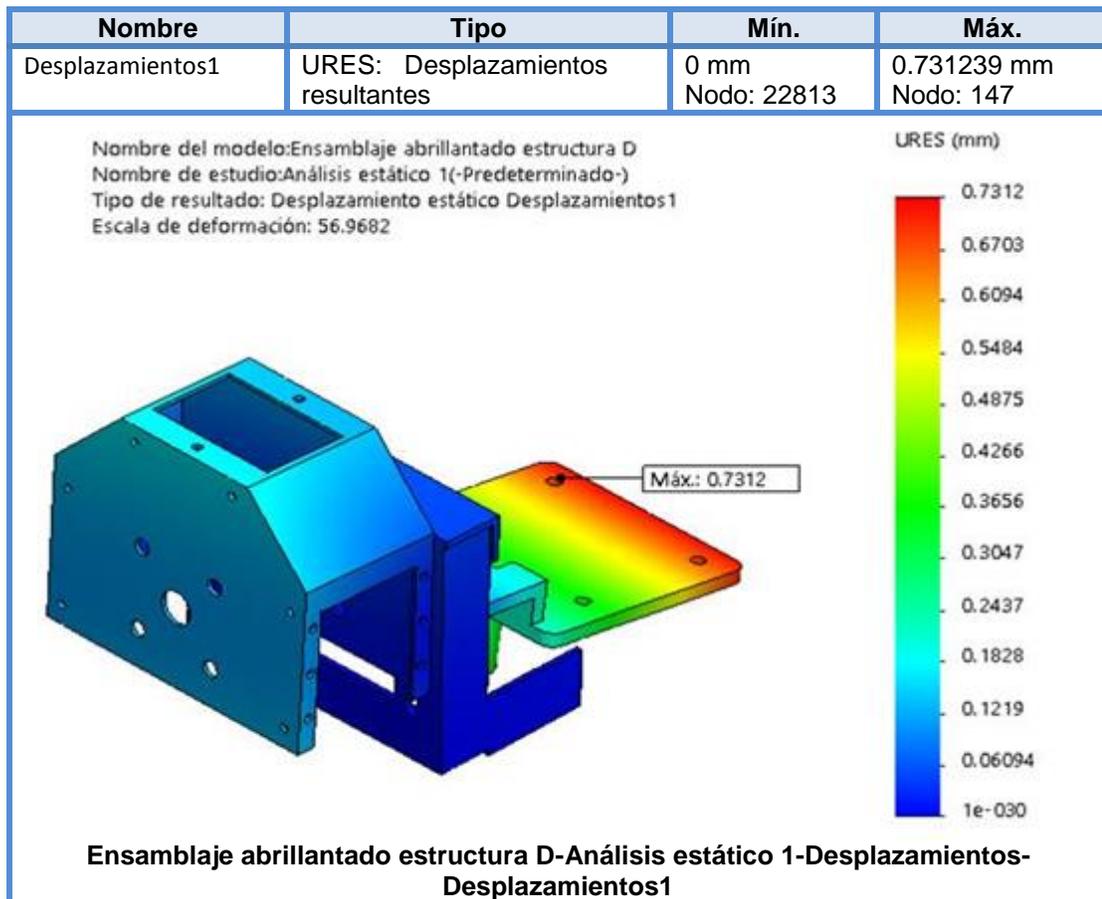
### Tensión de Von Mises en el sistema de abrillantado



El desplazamiento en el sistema de abrillantado es de 0,7312 mm, que se produce en la base del motor, pero al no ser un valor muy elevado, no afecta el normal funcionamiento de la máquina. (Tabla 2.20)

Tabla 2. 20

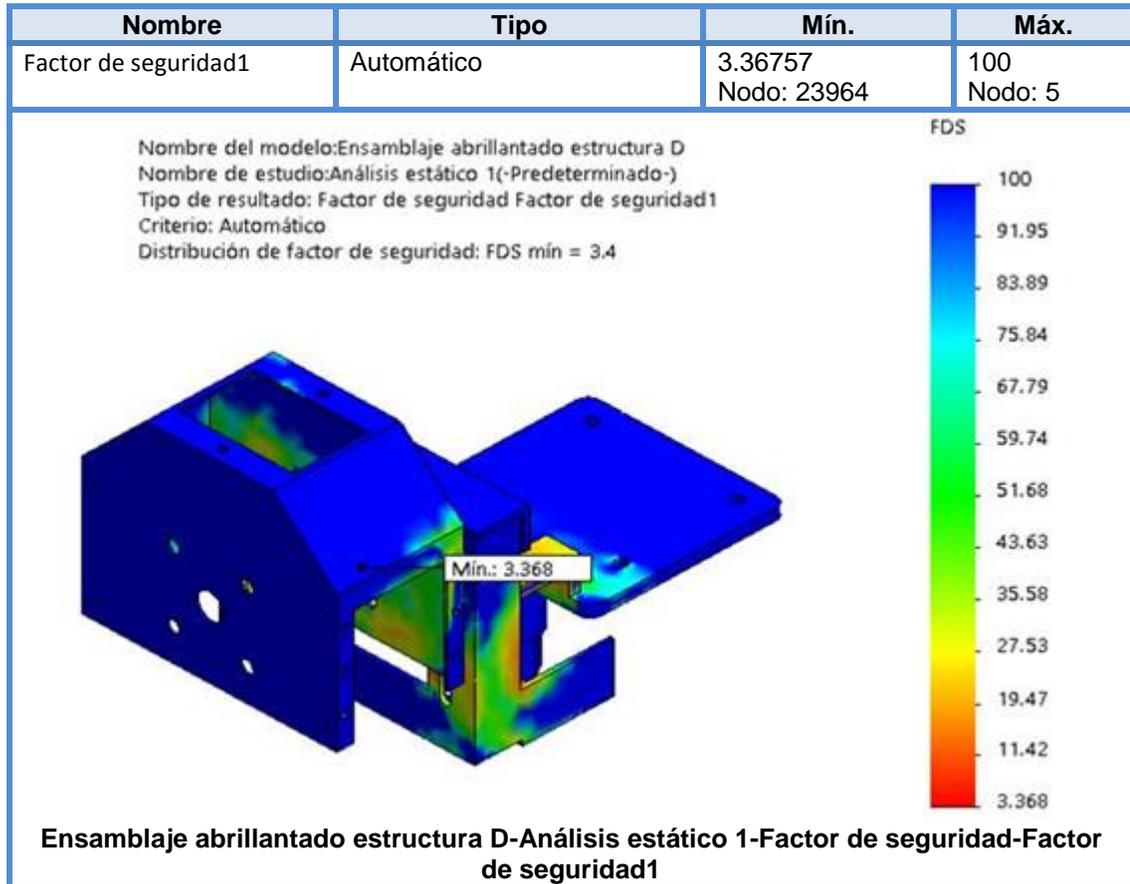
## Desplazamientos resultantes del sistema de abrillantado



El factor de seguridad mínimo es de 3,368, pero como este valor es mayor a 2,5 que es el factor de seguridad utilizado para los cálculos, entonces se concluye que el diseño es seguro. (Tabla 2.21).

Tabla 2. 21

## Factor de seguridad en el sistema de abrillantado



#### 2.4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE BANDA TRANSPORTADORA

Este sistema permite que las piezas a ser pulidas se desplacen a través de las diferentes etapas del proceso a una velocidad constante de 0,5 m/s. La banda transportadora está formada por los elementos que se detallan en la figura 2.21.

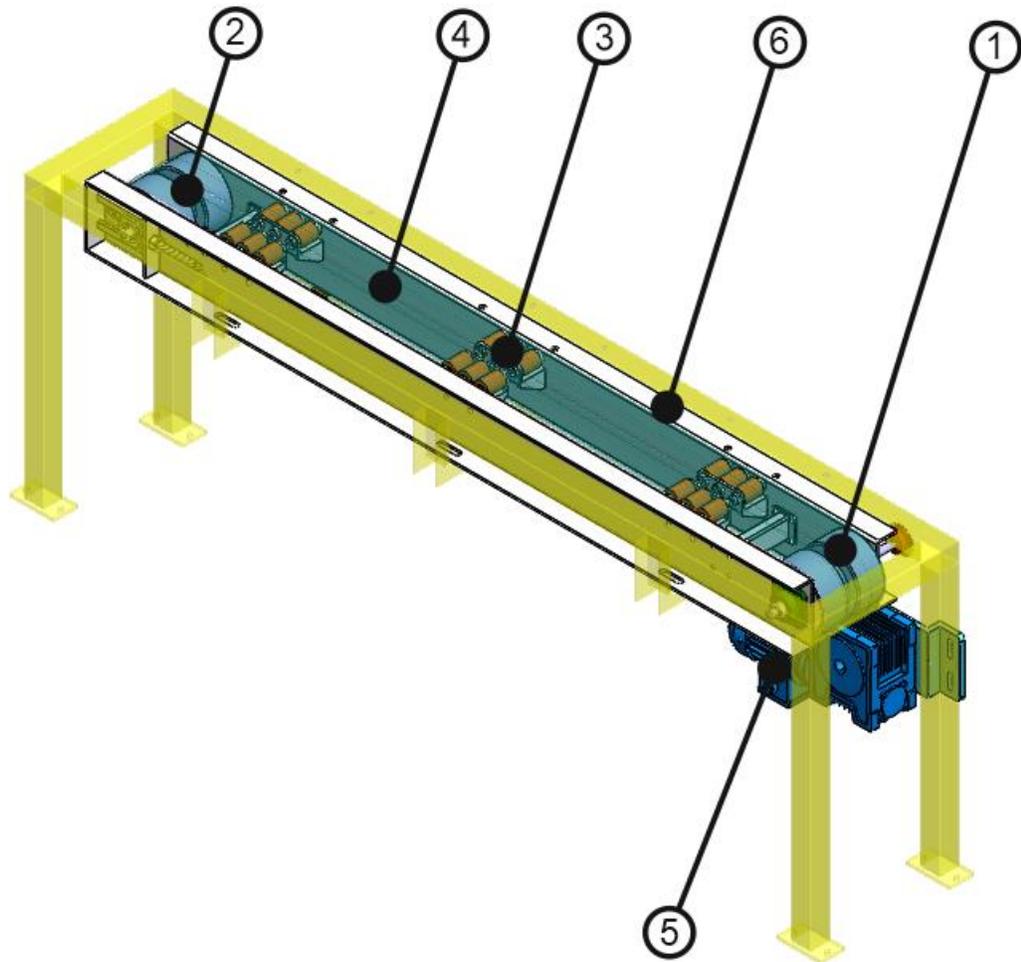


Figura 2. 21 Sistema de banda transportadora

1. Rodillo motriz
2. Rodillo tensor
3. Rodillos guías

4. Banda transportadora
5. Motor-reductor de la banda transportadora
6. Estructura soporte de la banda transportadora

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS

Tomando en cuenta que sobre la banda transportadora se transmiten de forma simultánea todas las fuerzas de trabajo y de fricción que se producen en las tres etapas del proceso de pulido (figura 2.22), se determina que la fuerza tangencial total que actúa sobre la banda transportadora, es:

$$F_{BT} = F_{esm} + F_{pul} + F_{abr} \quad \text{Ecuación 2. 21}$$

$$F_{BT} = 105 \text{ N} + 60 \text{ N} + 36 \text{ N}$$

$$F_{BT} = 201 \text{ N}$$

Donde:

$F_{BT}$  = fuerza trabajo de la banda transportadora

$F_{esm}$  = fuerza de fricción del sistema de esmerilado

$F_{pul}$  = fuerza de fricción del sistema de pulido

$F_{abr}$  = fuerza de fricción del sistema de abrillantado

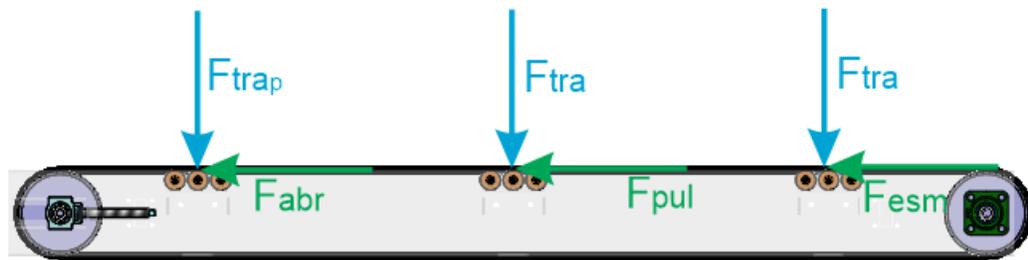


Figura 2. 22 Cargas sobre la banda transportadora

## b. SELECCIÓN DEL RODILLO MOTRIZ

El diámetro requerido en el rodillo motriz se determina en base a la velocidad de avance de la banda transportadora, la misma que tiene un valor de 0,5 m/s.

Para un motor eléctrico que gira a con una velocidad nominal de 1750 rpm (183,26 rad/s), y un reductor de velocidad con una relación de transmisión de 50:1, el diámetro requerido en el rodillo se obtiene a partir de la ecuación:

$$V_{BT} = \frac{\omega_{mot}}{i_{red}} \cdot r_{rb} \quad \text{Ecuación 2. 22}$$

$$r_{rb} = \frac{0.5 \text{ m/s} \cdot 50}{183,26 \text{ rad/s}}$$

$$r_{rb} = 0,136 \text{ m} = 136 \text{ mm}$$

Donde:

$V_{BT}$  = velocidad periférica de la banda transportadora

$r_{rb}$  = radio del rodillo motriz de la banda

$i_{red}$  = relación de transmisión del motoreductor

Por lo tanto se selecciona un rodillo motriz con diámetro estándar de 150 mm.

El torque requerido para el accionamiento de la banda transportadora es:

$$T_{BT} = F_{BT} \cdot r_{rb}$$

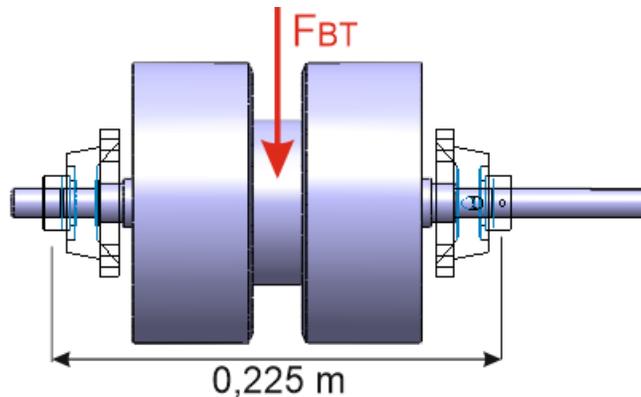
$$T_{BT} = 201 \text{ N} \cdot 0,15\text{m}$$

$$T_{BT} = 30,15 \text{ Nm}$$

Donde:

$T_{BT}$  = torque requerido para accionar la banda transportadora

El momento de flexión al que está sometido el eje del rodillo motriz se obtiene a partir de la figura 2.23.



**Figura 2. 23 Momento de flexión máximo en el rodillo motriz**

$$M_{BT} = F_{BT} \cdot d_4$$

$$M_{BT} = 201,0 \text{ N} \cdot 0,225 \text{ m}$$

$$M_{BT} = 45,22 \text{ Nm}$$

Para el eje fabricado con acero estructural ASTM A36 se determina el diámetro mínimo requerido a partir de la ecuación para el diseño de flechas mediante la teoría de la energía de distorsión:

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{BT}^2 + \frac{3}{4} T_{BT}^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 2,5}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 45,22^2 + \frac{3}{4} 30,15^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = 0,0175 \text{ m} = 17,5 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se selecciona un eje con un diámetro estándar de 20 mm.

### c. DISEÑO DEL MECANISMO TENSOR DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Este sistema es el encargado de generar la fuerza de tracción suficiente para tensar la banda transportadora y así evitar que ésta se deslice sobre el rodillo motriz, por lo que, la fuerza de fricción entre la banda transportadora y el rodillo motriz debe ser igual a mayor que la fuerza tangencial total que actúa sobre la banda transportadora.

$$F_{BT} = \mu_{p-c} \cdot N_2 = \mu_{Ca-BA} \cdot F_{ten}$$

$$F_{ten} = \frac{201 \text{ N}}{0,9}$$

$$F_{ten} = 223,33 \text{ N}$$

Donde:

$F_{BT}$  = fuerza de tracción banda transportadora

$F_{ten}$  = fuerza de tensión requerida

$\mu_{p-c}$  = coeficiente de fricción entre plástico – caucho = 0,9

El rodillo tensor permite tensar la banda y gira de forma loca (no transmite torque), por lo tanto no está sometido a ninguna carga de torsión, mientras que, el momento de flexión al que está sometido el eje del rodillo tensor se obtiene a partir de la ecuación.

$$M_{RT} = F_{BT} \cdot d_4$$

$$M_{RT} = 223,33 \text{ N} \cdot 0,225 \text{ m}$$

$$M_{RT} = 50,25 \text{ Nm}$$

El diámetro mínimo requerido para el eje del rodillo tensor se determina de forma semejante al eje del rodillo motriz:

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{RT}^2 + \frac{3}{4} T_{ten}^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 2,5}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 50,25^2 + \frac{3}{4} 0^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = 0,0172 \text{ m} = 17,2 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se selecciona un eje igual al del rodillo motriz, es decir, 20 mm.

El tornillo de potencia del sistema tensor de la banda debe generar la fuerza suficiente para tensar la banda transportadora y así evitar que ésta se deslice sobre el rodillo motriz.

La carga sobre el rodillo tensor somete al tornillo a tensión directa y el área de tracción que se requiere viene dado por:

$$A_{t3} = \frac{FS \cdot F_{ten}}{S_y}$$

$$A_{t2} = \frac{2,5 \cdot 223,33 \text{ N}}{250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}$$

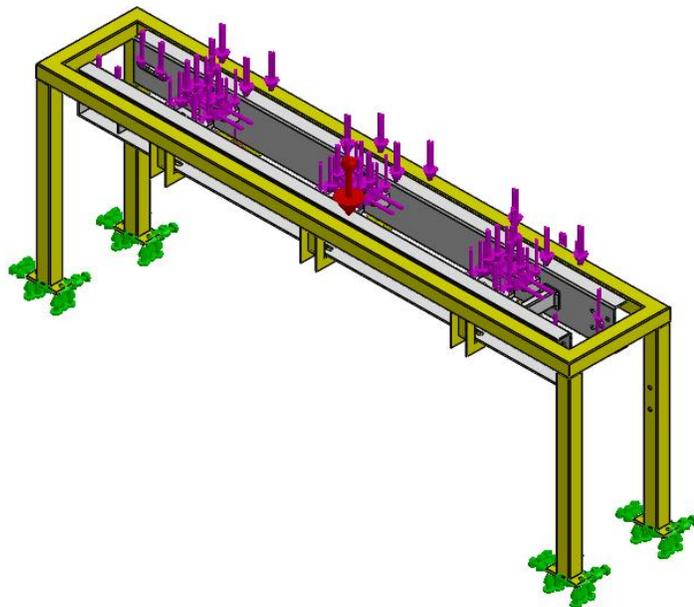
$$A_{t2} = 2,23 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,034 \text{ plg}^2$$

De la Tabla del Anexo A-11 se determina que un tornillo provisto de cuerda ACME de 5/16" (8 mm) de diámetro con 14 hilos por pulgada y diámetro de paso de 0,2614 plg (6,64 mm) proporciona un área de esfuerzo de tracción de 0,04438 plg<sup>2</sup>.

#### d. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LA BANDA TRANSPORTADORA

El análisis de esfuerzos de la estructura soporte de la banda transportadora se realiza con ayuda de un software de ingeniería asistida por computador. (Informe de SolidWorks).

En la figura 2.24 se analiza los esfuerzos que soporta la estructura soporte del sistema de abrillantado.



**Figura 2. 24 Esfuerzos en la Estructura Soporte de la Banda Transportadora**

En las Tablas 2.22 a la Tabla 2.25 se muestran los informes resultantes del ensamblaje del sistema 4 que se visualiza en el programa de Solidworks.

Tabla 2. 22

## Informe de SolidWorks Ensamblaje Sistema Soporte de la banda

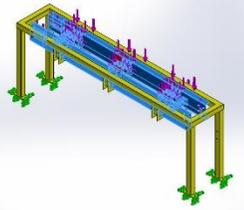
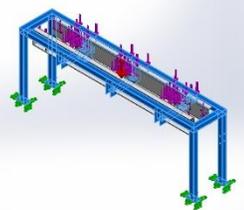
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<b>Saliente-Extruir15</b> 	Sólido	Masa:39.1332 kg Volumen:0.00498513 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:383.506 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Estructura Banda.SLDPRT Jun 05 11:56:20 2015
<b>Cortar-Extruir4</b> 	Sólido	Masa:35.2456 kg Volumen:0.00448988 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:345.407 N	C:\Users\OSCAR\Downloads\&Trabajos Solid\Pulidora Acero Inoxidable\Pulidora SolidWorks\Estructura soporte principal.SLDPRT Jun 05 12:24:28 2015

Tabla 2. 23

## Propiedades del material del sistema soporte de la banda

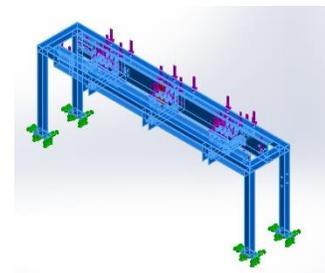
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> ASTM A36 Steel <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido <b>Límite elástico:</b> 250 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 400 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.26 <b>Densidad:</b> 7850 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 79300 N/mm <sup>2</sup>	Sólido (Saliente-Extruir15)(Estructura Banda-1), Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Estructura soporte principal-1)
<b>Datos de curva: N/A</b>		

Tabla 2. 24

## Análisis de sujeción del sistema soporte de la banda

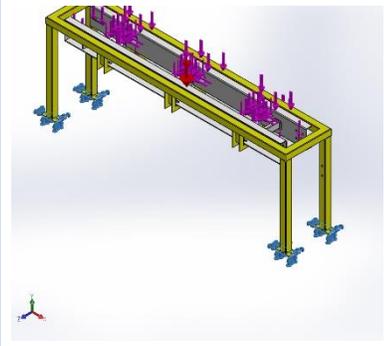
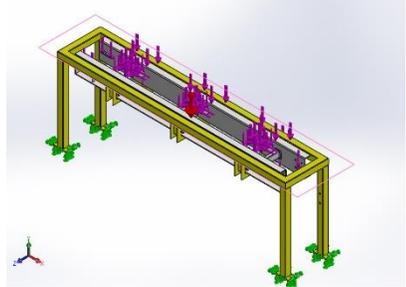
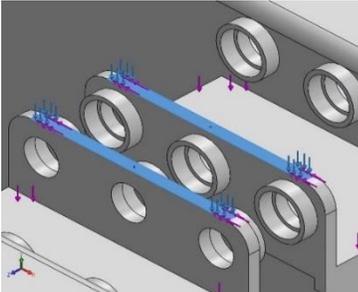
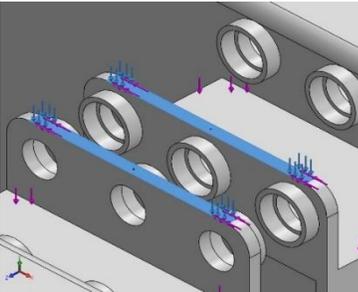
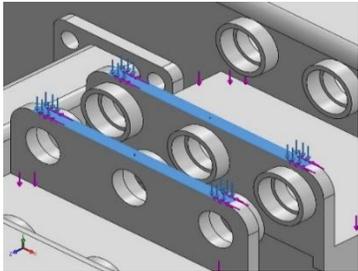
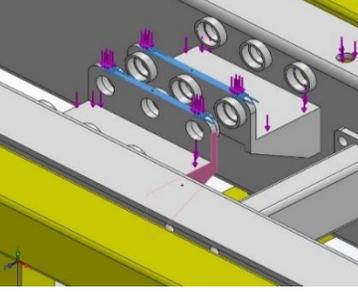
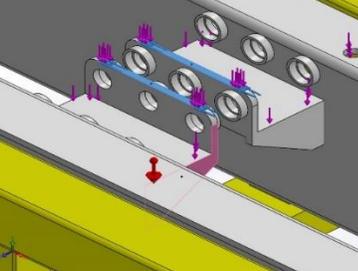
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		<b>Entidades:</b>	4 cara(s)		
		<b>Tipo:</b>	Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>					
	<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
	<b>Fuerza de reacción(N)</b>	179.649	190.266	0.0310259	261.677
	<b>Momento de reacción (N.m)</b>	0	0	0	0

Tabla 2. 25

## Análisis del sistema de carga del sistema de soporte de la banda

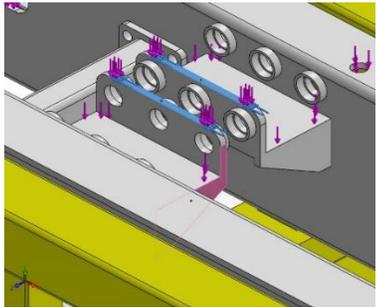
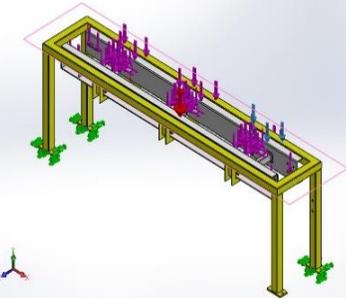
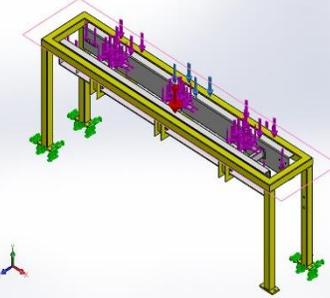
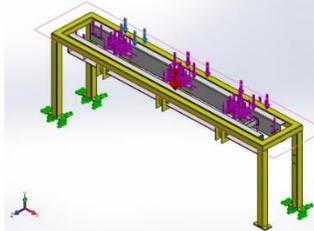
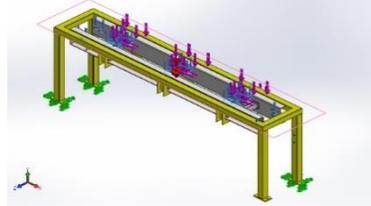
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Gravedad-1		<b>Referencia:</b>	Planta
		<b>Valores:</b>	0 0 -9.81
		<b>Unidades:</b>	SI

CONTINÚA 

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 150 N
Fuerza-2		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 150 N
Fuerza-3		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 120 N
Fuerza-4		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > : <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, 105 N
Fuerza-5		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > : <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, 60 N

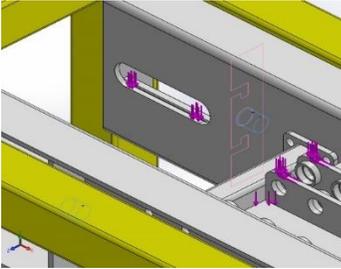
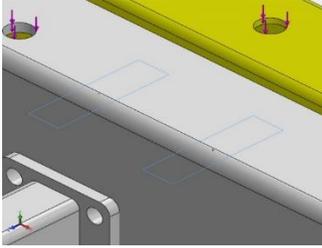
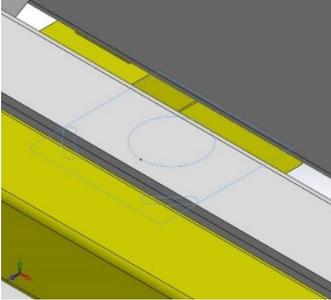
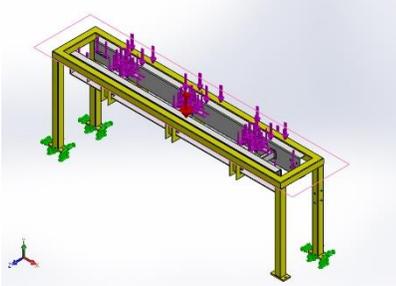
CONTINÚA



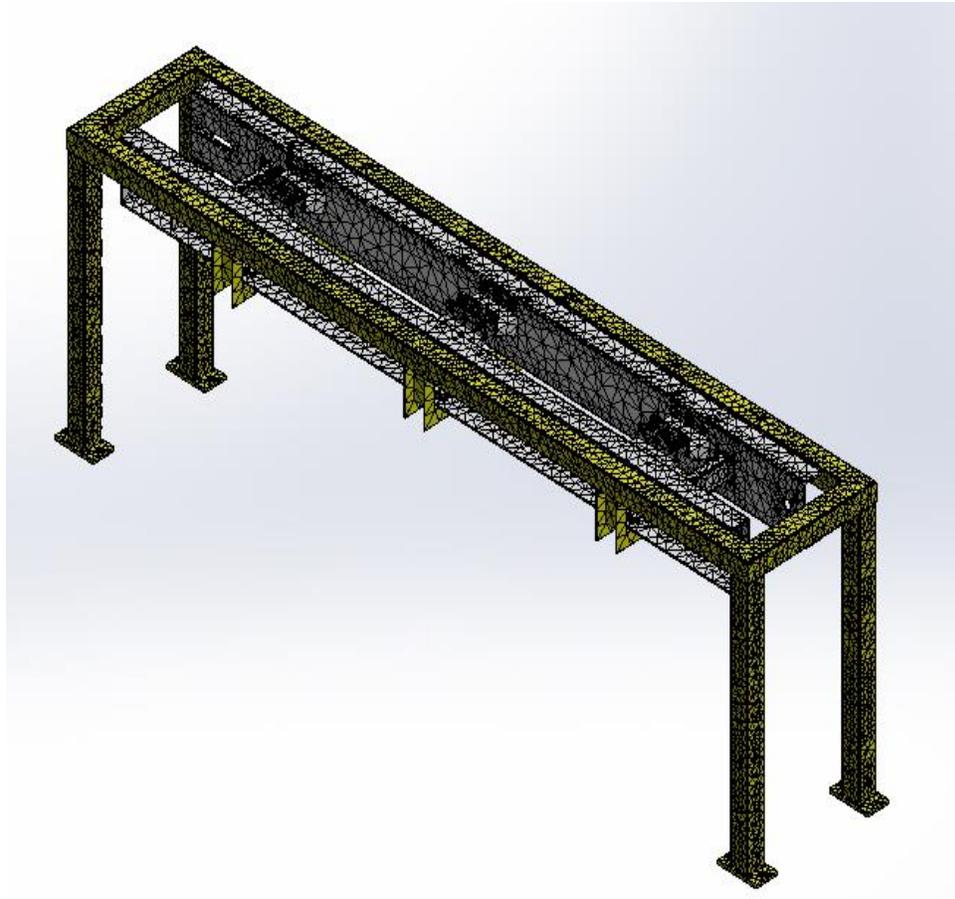
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-6		<p><b>Entidades:</b> 2 cara(s)  <b>Referencia:</b> Cara&lt; 1 &gt;  <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza  <b>Valores:</b> ---, ---, -36 N</p>
W esmerilado		<p><b>Entidades:</b> 4 cara(s), 1 plano(s)  <b>Referencia:</b> Planta  <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza  <b>Valores:</b> ---, ---, -500 N</p>
W pulido		<p><b>Entidades:</b> 4 cara(s), 1 plano(s)  <b>Referencia:</b> Planta  <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza  <b>Valores:</b> ---, ---, -600 N</p>
W abrillanta		<p><b>Entidades:</b> 4 cara(s), 1 plano(s)  <b>Referencia:</b> Planta  <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza  <b>Valores:</b> ---, ---, -350 N</p>
W banda transp		<p><b>Entidades:</b> 10 cara(s), 1 plano(s)  <b>Referencia:</b> Planta  <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza  <b>Valores:</b> ---, ---, -400 N</p>

CONTINÚA



Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
<b>Tension banda</b>		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Referencia</b> Cara< 1 > : <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, 223.33 N
<b>W mec elevac esm</b>		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 150 N
<b>W mec elev abri</b>		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 150 N
<b>W motor banda</b>		<b>Entidades:</b> 2 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia</b> Planta : <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, -100 N

En la figura 2.25, se muestra el mallado modelado en Solidworks de la estructura soporte del sistema de soporte de la banda.



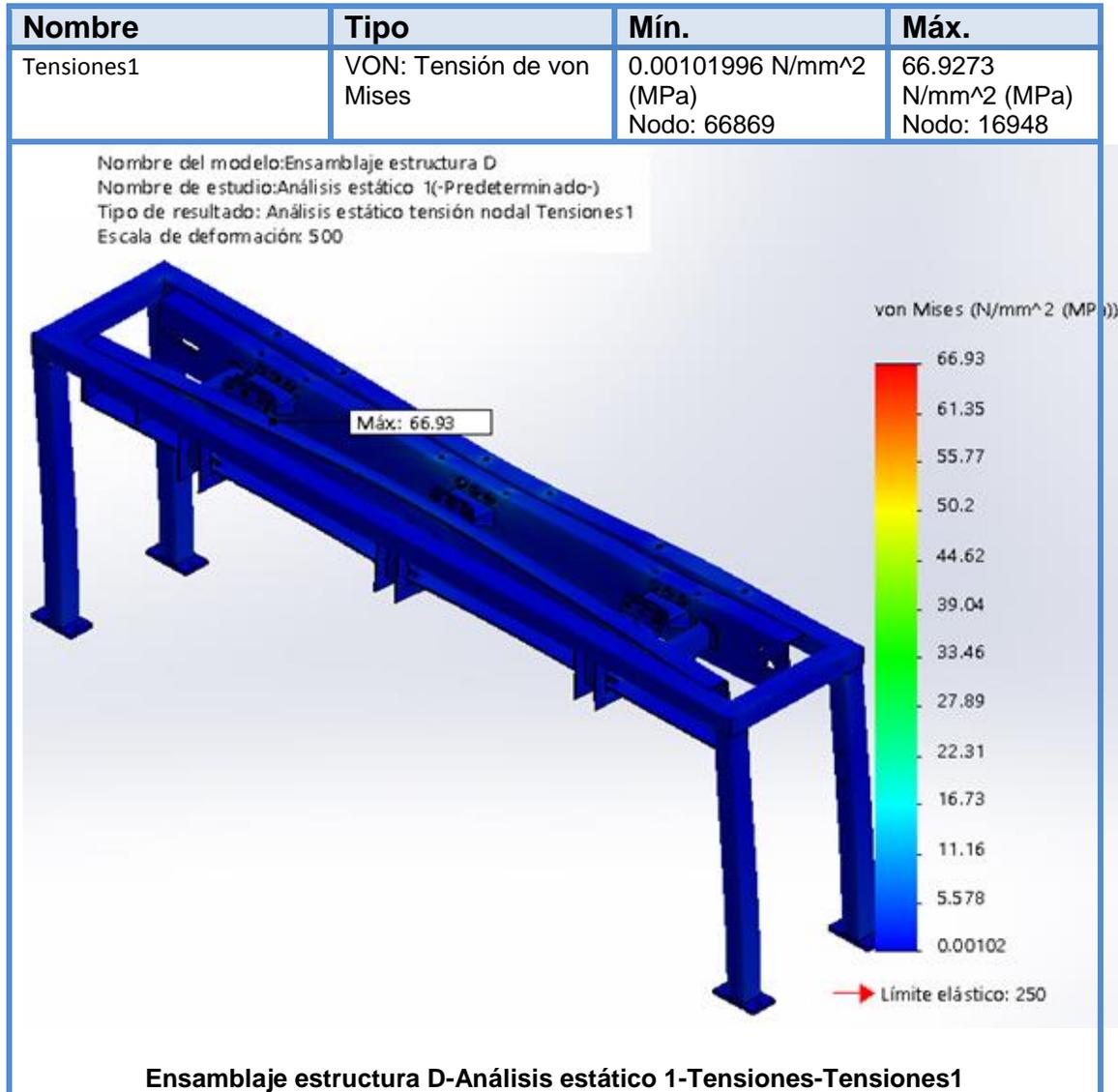
**Figura 2. 25 Malla Solida del sistema de soporte de banda**

#### **e. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE SOPORTE BANDA**

La tensión de Von Mises es de 66,93 MPa que es menor al límite estático del material de 250 MPa, por tanto la estructura de soporte de la banda resiste la tensión sin fallas. (Tabla 2.26).

Tabla 2. 26

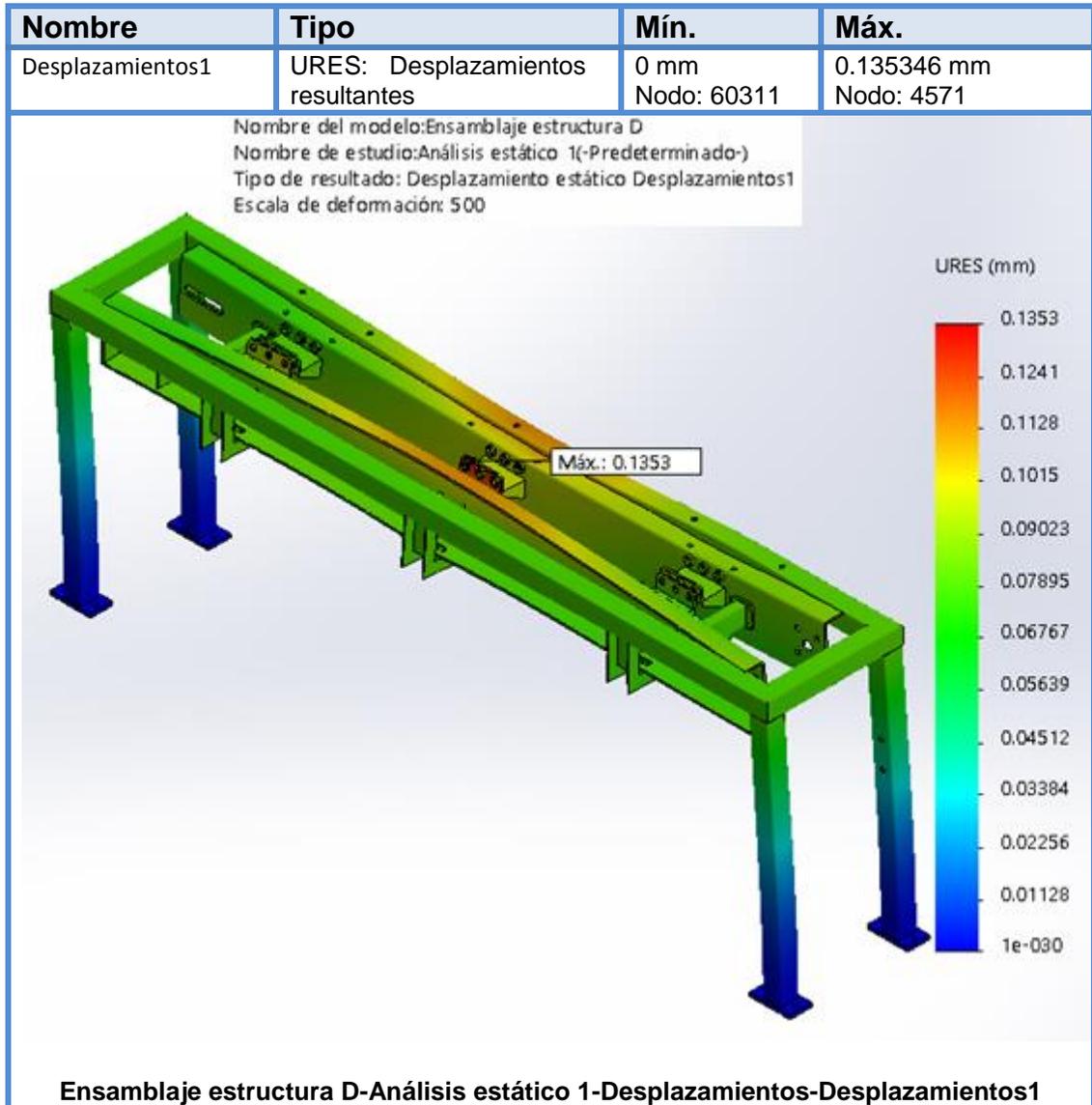
## Tensión de Von Mises en el sistema de soporte de la banda



El desplazamiento en el sistema de soporte de la banda es de 0,1353 mm, pero al no ser un valor muy elevado, no afecta el normal funcionamiento de la máquina. (Tabla 2.27)

Tabla 2. 27

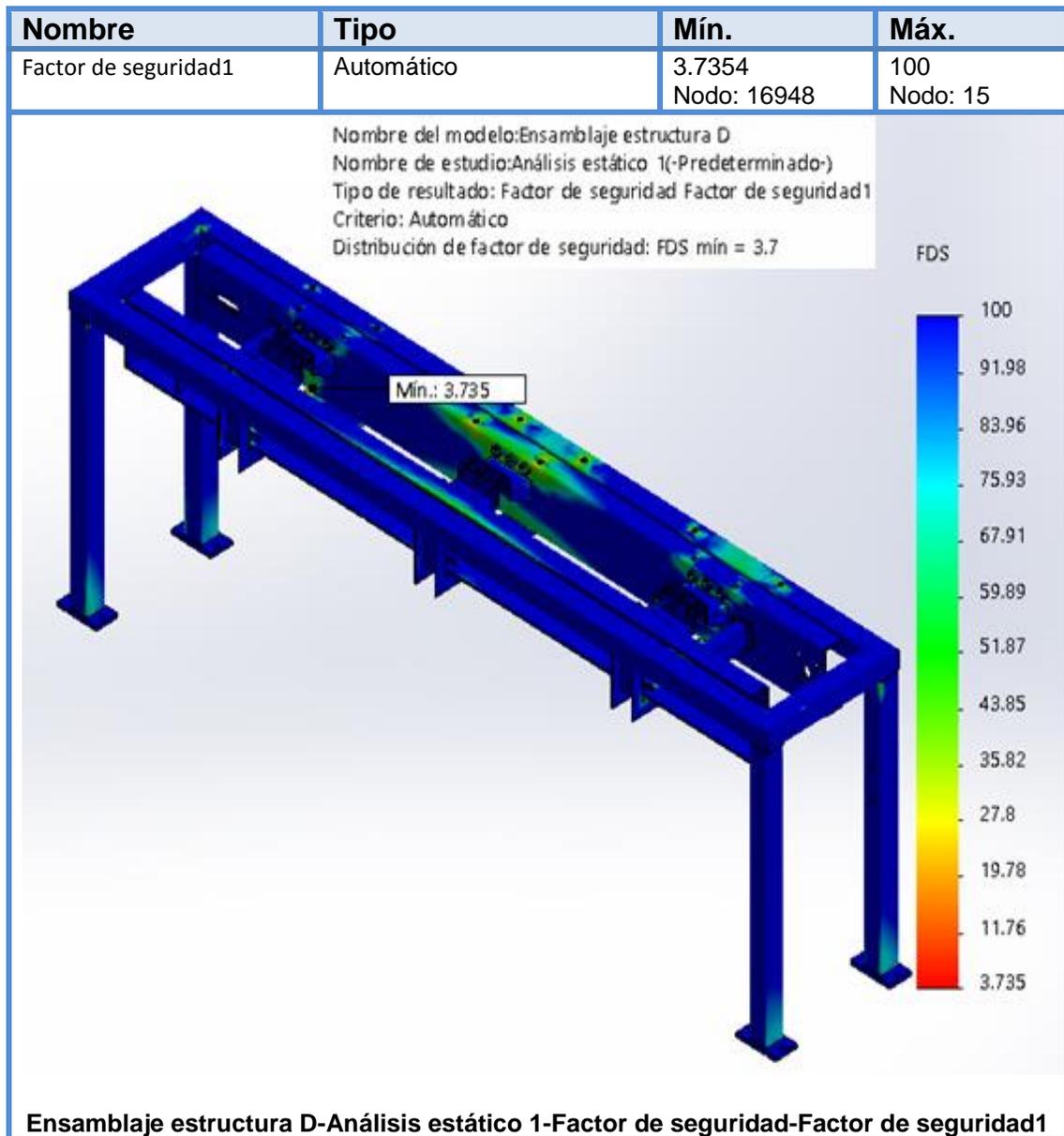
## Desplazamientos resultantes del sistema de soporte de la banda



El factor de seguridad mínimo es de 3,735, este valor es mayor a 2,5 que es el factor de seguridad utilizado para los cálculos, entonces se concluye que el diseño es seguro. (Tabla 2.28).

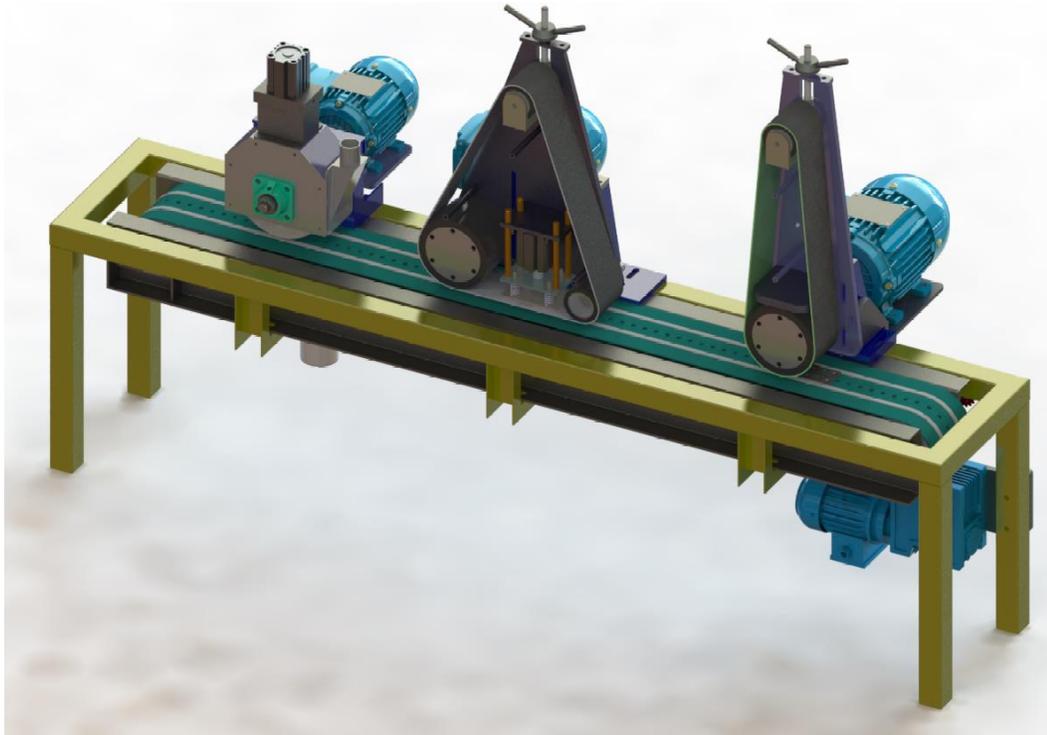
Tabla 2. 28

## Factor de seguridad del sistema de soporte de la banda



## 2.4.5 MODELO COMPLETO DE LA MAQUINA DE PULIDO

En la siguiente figura se muestra el ensamblaje completo de la máquina pulidora semiautomática.



**Figura 2. 26 Ensamblaje completo de la máquina pulidora**

## **2.5 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO**

Para el diseño del sistema eléctrico y electrónico se deben tomar en cuenta las condiciones exigidas por el proceso de manufactura (esmerilado, pulido y abrillantado).

Además todo el proceso de manufactura debe garantizar: facilidad de operación y mantenimiento; seguridad y protección en las condiciones de trabajo.

### **2.5.1 ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO**

Para el diseño del sistema eléctrico, electrónico y electroneumático se considerará las siguientes condiciones para su total funcionamiento.

- La tensión de alimentación para la máquina será trifásica de 220 VAC y monofásica de 110 VAC.

- La máquina tendrá un encendido general.
- La máquina tendrá un modo manual y automático.
- Para los procesos de acabado mecánico se utilizarán motores trifásicos independientes.
- El movimiento de la banda transportadora se utilizará un motor trifásico controlado con un variador de frecuencia.
- El movimiento vertical para el sistema de esmerilado y abrillantado será con un motor monofásico respectivamente.
- Los motores se activarán con interruptores, contactores y se protegerán con fusibles o relés térmicos.
- Los movimientos verticales de los sistemas de esmerilado y abrillantado utilizarán sensores de proximidad y decodificadores rotativos para dicho movimiento y su respectiva calibración.
- Mediante una válvula electroneumática se moverá un cilindro neumático para añadir pasta abrasiva en el sistema de abrillantado.
- Se instalará una válvula electroneumática para mover un cilindro neumático en el proceso de pulido y así obtener el acabado mecánico exigido en la manufactura.
- La máquina utilizará un PLC xlogic para su total control de sus entradas y salidas.
- En la pantalla HMI se visualizará los elementos de fuerza (motores) en su pleno funcionamiento sin la necesidad de utilizar luces pilotos.
- Todo el tablero de control tendrá un solo pulsante para el paro de emergencia, pues el control general se lo realizará mediante el PLC-HMI.
- El tablero de control tendrá los respectivos dispositivos de protección para los elementos eléctricos y electrónicos.
- Se utilizará elementos de la misma gama o marca existentes en el mercado comercial.

Con las condiciones ya establecidas se inicia el proceso de diseño, selección y dimensionamiento eléctrico y electrónico.

## 2.5.2 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN ELÉCTRICA

Mediante el cálculo de la demanda máxima de un sistema eléctrico de potencia que está formado de alimentadores, transformadores, generación, circuitos derivados (motores, artefactos, equipos, entre otros) se puede realizar la dimensión y selección de sus respectivos elementos de control y protección contra la sobrecarga y cortocircuito.

Además con la ayuda de un diagrama unifilar se puede guiar para el cálculo y coordinación de las protecciones como se muestra en la siguiente FIGURA.

Para proteger y controlar un sistema eléctrico de potencia se necesita: elementos para la sobrecarga y cortocircuito (interruptores o breakers manuales o automáticos, seccionadores, entre otros). Entre los interruptores automáticos están los electromagnéticos o magnetotérmicos y los relés térmicos que en fin sustituyen a los fusibles que son elementos para cortocircuito.

### a. CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA DE LA MÁQUINA

La máquina tiene cinco sistemas, los cuales poseen motores trifásicos para el movimiento de las bandas abrasivas y para el movimiento horizontal, así como también motores monofásicos para los movimientos verticales respectivos a cada sistema.

- **Cargas disponibles en la máquina**

Para iniciar con el dimensionamiento eléctrico se calcula la demanda total ( $P_{\text{demanda total}}$ ) por medio de la suma de todas las potencias nominales de los aparatos o equipos instalados. [28]

$$P_{\text{demanda total}} = \Sigma \text{cargas instaladas} \quad \text{Ecuación 2. 23}$$

$$P_{\text{demanda total}} = 3.7 + 1.5 + 0.75 + 0.37 + 0.75 + 0.21 + 0.21 + 0.1 + 0.0048 + 0.01$$

$$P_{\text{demanda total}} = 7.6048 \text{ KW}$$

Donde:

$$P_{\text{demanda total}} = \text{potencia de demanda total}$$

Para futuras conexiones se calcula un factor de demanda. [28]

$$\text{Factor de demanda} = \frac{\text{Demanda máxima (KW ó W)}}{\text{Carga instalada (KW ó W)}} \quad \text{Ecuación 2. 24}$$

$$\text{Factor de demanda} = \frac{7.6048 * 100\%}{8.56 * 0.746} = 119\%$$

Por lo tanto se añade el 119% a la potencia total, por lo que se tiene:

$$P_{\text{demanda total futura}} = 1.19 * P_{\text{demanda total}} \quad \text{Ecuación 2. 25}$$

$$P_{\text{demanda total futura}} = 1.19 * 7.6048 = 9.05 \text{ KW}$$

En la Tabla 2.29 se muestra el cálculo y la selección de los dispositivos de protección para los elementos de la máquina.

**Tabla 2. 29**

**Selección de los dispositivos de protección de los elementos de la máquina**

	Potencia del Motor	Dispositivos Circuito Derivado	Corriente Plena Carga	Capacidad Mín. Del Desconector	Capacidad Máx. De Los Conductores
	5Hp	termomagnético	14A	35.7A	17.5A
	3Hp	termomagnético	6.08A	17.3A	7.6A
	2Hp	termomagnético	3.07A	8.74A	3.8A
	0.5Hp	termomagnético	1.9A	5.7A	2.4A
	0.21Kw	Fusible Gg	0.38A	1.1A	0.47A
<b>Potencia total instalada</b>	7.6Kw				
Véase	Anexo A-17; Anexo A-18; Anexo A-19; Anexo A-21; Anexo A-22.				

## a. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA EL ALIMENTADOR Y DERIVADO

- **Selección de la protección del alimentador principal**

Se debe calcular para una corriente que tome en consideración la corriente de arranque máxima del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores conectados al mismo circuito. [29]

$$I = I_{\text{arranque máx (motor mayor)}} + \Sigma I_{pc \text{ otros motores}} + \Sigma I_{\text{otras cargas}} \quad \text{Ecuación 2. 26}$$

$$I = (2.55 * 14) + 17.65 + 3.01 = 56.36 A$$

En la figura 2.27 se muestra el conmutador de levas y los interruptores termomagnéticos seleccionados para la máquina.



**Figura 2. 27 Conmutador de levas de dos posiciones e interruptor termomagnético**

## b. INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

Para seleccionar este dispositivo se aplica un porcentaje adicional a la corriente de plena carga.

$$I_a = 2.55 * I_{pc} \quad \text{Ecuación 2. 27}$$

Donde:

$I_a$  = corriente de arranque

$I_{pc}$  = corriente a plena carga

$$I = 1.25 * I_{pc} \quad \text{Ecuación 2. 28}$$

### c. RELÉ TÉRMICO

Se utilizan un valor adicional del 25% a su nominal por tener un factor de servicio de 1.15.

$$I_{sc} = 1.25 * I_{pc}$$

Donde:

$I_{sc}$  = corriente sobre carga

### d. CONDUCTORES

Se utiliza el 25% adicional a la corriente nominal.

$$I_{sc} = 1.25 * I_{pc}$$

### e. RELÉS AUXILIARES OMRON

Se necesita proteger las entradas y salidas del PLC XLogic por lo que se utiliza relés auxiliares de propósito general como se indica en la Tabla 2.30. Su selección va a depender de los dos motores de 0.21Kw y de las válvulas solenoides.

**Tabla 2. 30**  
**Selección de los relés auxiliares**

Relé auxiliar	Características
Marca	Omron MKS2P (I)
Contactos	250VAC 10A
Bobina	24 VDC 55.8mA

En el Anexo A-24 se muestra las características técnicas para su selección.

## f. PULSADOR DE PARO GENERAL CON RETENCIÓN

Este elemento de control va activar o desactivar todo el tablero eléctrico de la máquina y a la vez va ser controlado por el PLC por lo que va tener las siguientes características como se muestra en la Tabla 2.31.

**Tabla 2. 31**

### Selección del pulsador de paro general

Pulsador de paro general	Características
Marca	Camsco
Voltaje	250 VDC
Corriente que soporta	0.27 A

Las características técnicas para su selección se muestran en el Anexo A-25.

## g. CONMUTADOR DE LEVAS

Es un conmutador de dos posiciones que se va a utilizar para indicar el tipo de proceso ya sea automático o manual. Este elemento de control va ser dirigido por el PLC y sus características se muestran a continuación en la siguiente Tabla 2.32.

En el Anexo A-16 se muestra las características técnicas para su selección.

**Tabla 2. 32**

### Selección del conmutador de levas

Conmutador de levas	Características
Marca	Camsco
Voltaje	24 VDC
Corriente que soporta	0.27 A

## h. VÁLVULAS SOLENOIDES

Todo el proceso de pulido es automático por lo que es necesario utilizar un elemento de control electroneumático que dirija al cilindro neumático de doble

efecto. Las válvulas solenoides se activarán por los relés auxiliares ya seleccionados y serán controlados por el PLC como se muestra en la Tabla 2.33.

**Tabla 2. 33**

**Selección de las válvulas solenoides**

Características para su selección	
Fluido que va a controlar	Aire
Capacidad del compresor	0-50 PSI
Elementos a accionar	Cilindros de doble efecto

En el Anexo A-26 se muestra las características técnicas de la válvula solenoide.

## 2.6 DISEÑO, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN ELECTRÓNICA

Con el diseño de control de potencia de la máquina ya establecido, se realiza el diseño electrónico de control para dirigir todo el sistema de potencia con la ayuda de elementos electrónicos.

### 2.6.1 VARIADOR DE FRECUENCIA LS

De acuerdo con el acondicionamiento ya establecido para la máquina es necesario tener el control de frecuencia para el motor del sistema de la banda transportadora y su selección está por las siguientes características:

- 1 Carga: variable
- 2 Características eléctricas: voltaje, corriente y potencia
- 3 Control de par: vectorial
- 4 Velocidad: su control debe ser del 25% y 60% a su nominal

Los datos técnicos del variador de frecuencia se encuentran en el Anexo A-27.

En la Tabla 2.34 se muestra la selección del variador de frecuencia para control del motoreductor de la banda transportadora.

Tabla 2. 34

### Selección del Variador de frecuencia para control del motoreductor de la banda transportadora

Motor sistema banda transportadora		Variador de frecuencia LS	
Potencia	0.37KW	Potencia	0.75KW
Rpm	1400		
Torque	0.422 Kgfm	Torque	Control vectorial
Voltaje	220V	Voltaje	220
Corriente	1.9 A		
Frecuencia	60Hz	Frecuencia	0.1-400Hz
Fp	0.76		

La corriente nominal de este motor es de 3.07 A, y pertenece a un motor de inducción con letra de código "H" (Anexo A-20) por lo que su corriente de arranque tiene un aumento del 200% a su corriente nominal.

$$I_{aMR} = 3 * I_{pc}$$

$$I_{aMR} = 3 * 1.9 A$$

$I_{aMR} = 5.7 A$  Corriente para seleccionar el interruptor termomagnético

Donde:

$I_{aMR}$  = corriente de arranque del motoreductor

En la Tabla 2.35 se realiza la selección del interruptor termomagnético para el variador de frecuencia.

Tabla 2. 35

### Selección del interruptor termomagnético del variador de frecuencia

Interruptor termomagnético tipo miniatura BKN-b	
Protección	Sobrecarga y cortocircuito
Tipo de disparo	Termo-magnético
Durabilidad eléctrica	8000 operaciones
Montaje	Montaje en riel DIN de 35mm
Máxima corriente de corto-circuito	1000 A
Tipo de curva	C
Clase de limitación	3
voltaje	400V
Corriente	10 A

Por medio de la corriente de plena carga añadida un porcentaje de sobrecarga que tendrá el conductor se realiza el dimensionamiento de dicho conductor.

$$I_{conductor\ variador} = 1.25 * I_{pc}$$

$$I_{conductor\ variador} = 1.25 * 1.9 = 2.4 A$$

El calibre será un 4 x 18 T-HHN AWG FLEXIBLE que es el más aproximado para soportar dicha corriente y sus características del conductor se muestran en el ANEXO A-18.

El variador de frecuencia protegerá al motor de 0.37Kw y por lo tanto no tendrá protección térmica.

## **2.6.2 DECODIFICADOR ROTATIVO INCREMENTAL BIDIRECCIONAL IBEST**

Luego de haber diseñado el sistema mecánico encargado de la operación de esmerilado y abrillantado se necesita un dispositivo el cual reciba la señal del motor monofásico de movimiento vertical y transmita una señal de pulsos al controlador (PLC).

Las características para nuestra aplicación son: la velocidad o el sentido de giro pero no importa la posición exacta, por lo que se selecciona un encoder incremental.

Para seleccionar un encoder incremental se aplica las siguientes expresiones: [30]

$$L = \pi * \phi_{eje} \quad \text{Ecuación 2. 29}$$

Donde:

$\phi_{eje}$  = diámetro de tornillo

$L$  = longitud circunferencial

$$L = \pi * 20mm = 62.8mm$$

Por datos técnicos de las placas y tapas a los cuales se van aplicar todo el proceso de pulido se tiene:

En la Tabla 2.36 se selecciona el decodificador rotativo usado en los sistemas 1 y 3.

**Tabla 2. 36**

**Selección del decodificador rotativo sistemas 1 y 3**

Accesorio	Dimensiones antes del proceso	Dimensiones después de todo el proceso	Diferencia de espesores $\Delta_e = e_1 - e_2$
Platina	1000x24x 4mm	1000x24x3.9 mm	0.1mm
Tapa	25x6mm	25x5.9mm	0.1mm

Consecuentemente se necesita que el sistema de esmerilado y abrillantado tenga un desplazamiento vertical en intervalos de  $(0.1 > e < 1)$  mm; por lo tanto se toma un valor medio del espesor de 0.5 y se aplica la siguiente expresión:

$$X_l = L_p * \#PPM \quad \text{Ecuación 2. 30}$$

Donde:

$L_p$  = longitud de pulso

$\#PPM$  = número de pulsos por minuto

$X_l = \text{desplazamiento vertical}$

$$\#PPM = \frac{60mm}{\frac{0.5mm}{PPM}} = 120 PPM$$

Además por medio de la siguiente expresión se puede conocer su respuesta máxima en frecuencia para que pueda manejar el contador interno del PLC. [31]

$$\text{Frecuencia(Hz)} = \frac{W}{60} * PPM \quad \text{Ecuación 2. 31}$$

Donde:

$W = \text{velocidad angular [rpm]}$

$PPM = \text{pulsos por minuto}$

$$\text{Frecuencia(Hz)} = \frac{14rpm}{60} * 100 PPM = 23.3Hz$$

Entonces se necesita un encoder con 100 PPM aproximadamente para una distancia vertical de 60mm, a intervalos de 0.5 mm/PPM y a una frecuencia de 23.3 Hz. En el Anexo A-28 se muestra las características técnicas del encoder incremental.

### 2.6.3 SENSOR INDUCTIVO IBEST

El ambiente y los materiales con los que cuales la máquina va estar en contacto son de acero inoxidable, por lo que se necesita un sensor inductivo que detecte netamente elementos metálicos.

En el Anexo A-29 se muestra las características técnicas del sensor IPS-18POC8B.

## 2.6.4 PLC XLOGIC

Según las condiciones para el funcionamiento de la máquina se necesita controlar entradas y salidas digitales o analógicas que se encuentran de acuerdo a los siguientes elementos detallados en la Tabla 2.37 y 2.38 respectivamente.

**Tabla 2. 37**

### Número de entradas analógicas y digitales de los elementos auxiliares

Cantidad	Entradas	Analógicas	Digitales
1	Encoder para sistema abrillantado	-	2
1	Encoder para sistema esmerilado	-	2
1	Sensor para sistema abrillantado	-	1
1	Sensor para sistema esmerilado	-	1
1	Paro de emergencia	-	1
1	Conmutador Proceso manual	-	1
1	Conmutador Proceso automático	-	1
	<b>TOTAL</b>		<b>9</b>

**Tabla 2. 38**

### Número de salidas analógicas y digitales

Cantidad	Salidas	Analógicas	Digitales
1	Motor 0.5hp	-	1
1	Motor 1hp	-	1
1	Motor 2hp	-	1
1	Motor 5hp	-	1
1	Motor 0.21Kw	-	2
1	Motor 0.21Kw	-	2
1	Válvula para sistema abrillantado	-	1
1	Válvula para sistema pulido	-	1
1	Activación variador de frecuencia	1	1
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>11</b>

Consecuentemente se selecciona un PLC Xlogic por su costo económico, tiene un software gratuito, comunicación HMI, sirve para aplicaciones industriales, posee módulos de expansión y tiene los requerimientos para nuestra aplicación.

En el Anexo A-30 se muestra las características técnicas del PLC XLogic ELC-12DC-DA-R-HMI.

Además se necesita dos módulos de salidas digitales y un módulo de salidas analógicas. En el Anexo A-31 se muestran los respectivos módulos.

### 1.3.4 2.6.5 MÓDULO XLOGIC HMI ELC

Para una mejor visualización de los sistemas que conforman la máquina de pulido automático se selecciona una pantalla compatible con el PLC XLogic.

Este módulo XLogic HMI, puede acoplarse al PLC XLogic. El MD204 realizará la interface HMI a través del cable serial RS232. Este es el mismo cable que también el PLC utiliza al puerto RS232 del PC, con el fin de cargar y descargar desde y hacia el PLC el programa.

En el Anexo A-32 se muestra sus características técnicas del módulo HMI ELC.

### 2.6.5 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para seleccionar este dispositivo el cual alimentará elementos electrónicos y eléctricos a 24VDC se suma su corriente de consumo para su dimensionamiento.

Tabla 2.39

**Tabla 2. 39**

#### **Selección de la fuente de alimentación**

<b>Cantidad</b>	<b>Elementos</b>	<b>Corriente mA</b>
1	PLC Xlogic	500
6	Relés auxiliares	352.8
1	Módulo HMI ELC	100
2	Módulo de I/Q digitales	600
1	Módulo de Q analógicas	300
2	Sensores inductivos	400
2	Encoder	240
1	Pulsador tipo Hongo	270
1	Selector de 2 posiciones	270
<b>TOTAL</b>		<b>3032.8 mA</b>

Por lo tanto se requiere una fuente de 3032.8 mA, pero se selecciona una fuente de 3.2 A existente en el mercado (Anexo A-33)

Por medio del dato de la corriente plena carga de la fuente y añadido un porcentaje de sobrecarga que tendrá el conductor se realiza el dimensionamiento de dicho conductor.

$$I_{\text{conductor fuente}} = 1.25 * I_{PC}$$

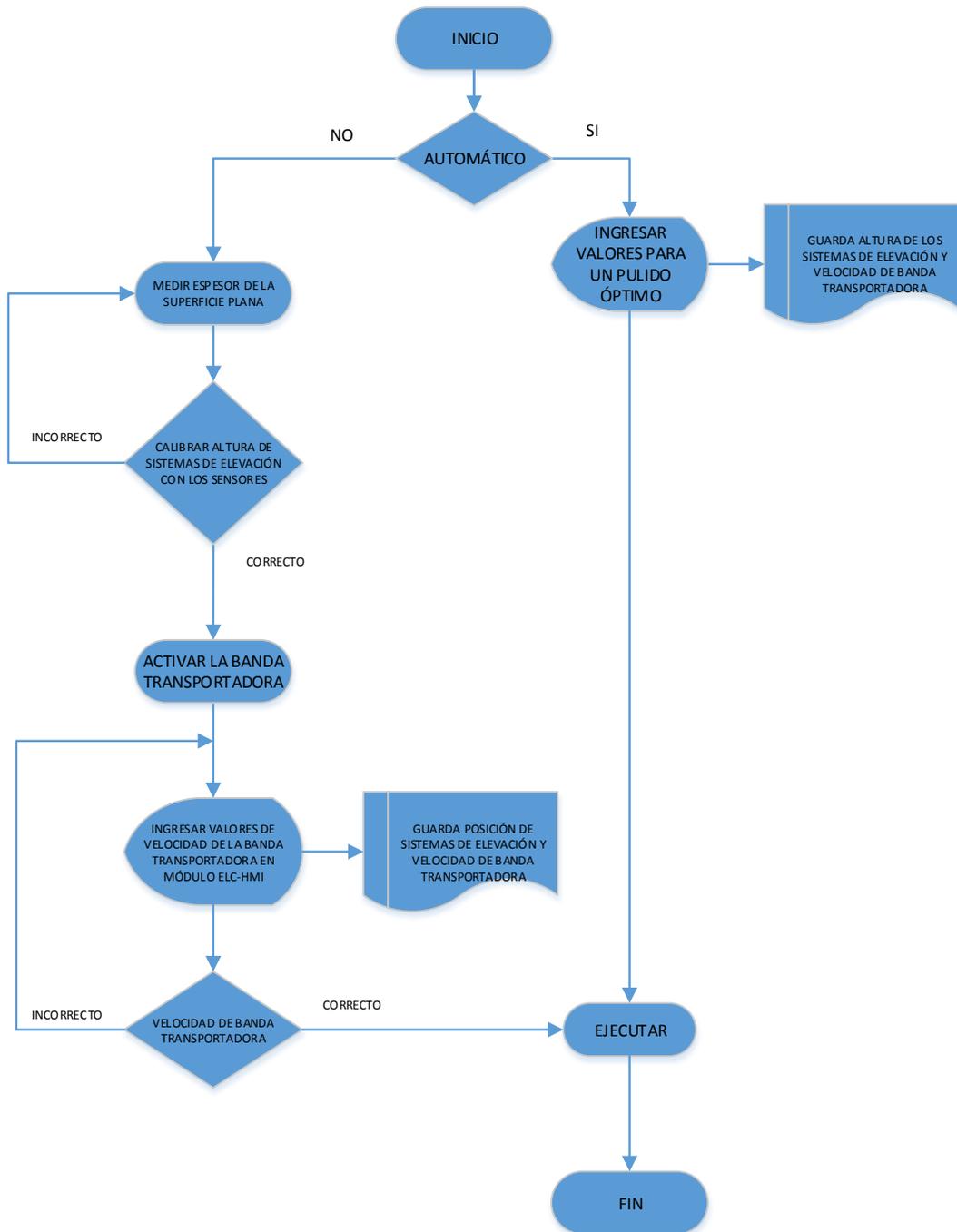
$$I_{\text{conductor fuente}} = 1.25 * 0.96 = 1.2 \text{ A}$$

El calibre será un conductor 18 TFF AWG FLEXIBLE que es el más aproximado para soportar dicha corriente y sus características del conductor se muestran en el Anexo A-19.

Este tipo de conductor se utilizará para el cableado de salidas entradas del PLC XLogic, pantalla de texto HMI, sensores y encoder.

## **2.7 DISEÑO DEL ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DEL PLC**

En la figura 2.28 se muestra el algoritmo de programación para el PLC.



**Figura 2. 28 Algoritmo de programación**

## 2.8 DISEÑO DEL ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DE LA PANTALLA HMI

En la figura 2.29 se muestra el algoritmo de programación para la pantalla HMI.

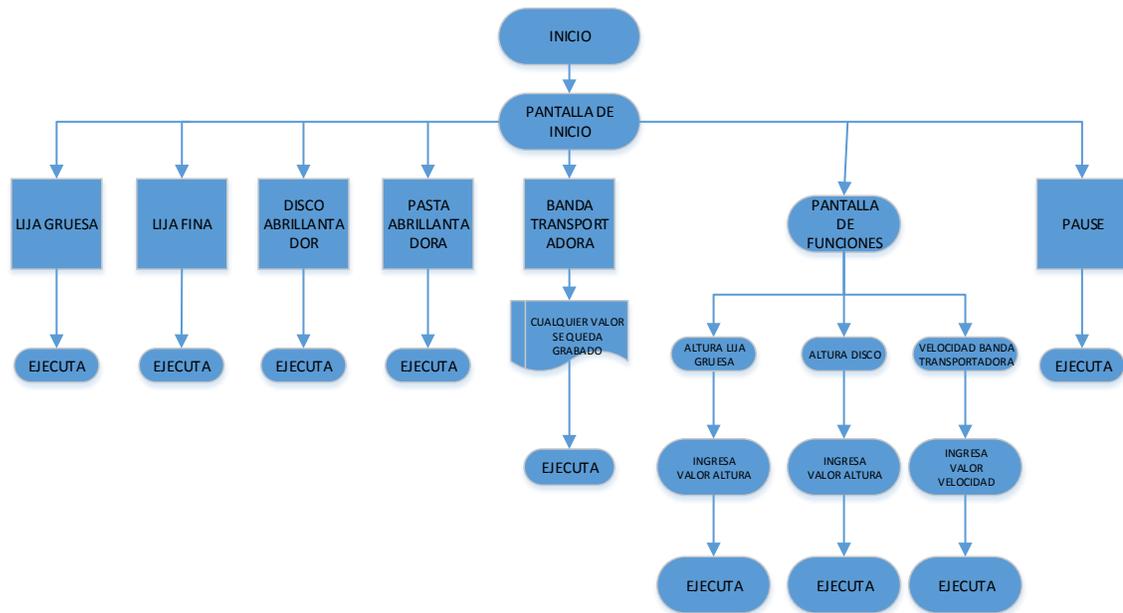


Figura 2. 29 Algoritmo de programación pantalla HMI

## CAPITULO III

# CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS SISTEMAS DE LA MÁQUINA

### 3.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Una vez terminado el diseño virtual de la máquina, se procede a construir las diferentes partes componentes de la misma. En este capítulo se describe los procesos de construcción de las partes junto con sus diagramas de procesos.

#### 3.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE ESMERILADO

La construcción final del soporte esmerilado se puede ver en la figura 3.1.



**Figura 3. 1 Soporte esmerilado**

a. **DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SOPORTE ESMERILADO**

**Tabla 3. 1**

**Diagrama de procesos del soporte esmerilado**

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		SOPORTE ESMERILADO		MATERIAL:		ACERO ESTRUCTURAL A36	
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Trazado						20
2	Corte con plasma						30
3	Corte placas de soporte						15
4	Lijado de contornos						15
5	Perforado orificios 20mm						30
6	Perforado orificios 1/2"						15
7	Perforado orificios 10mm						15
8	Inspección y control						5
9	Soldado						20
10	Inspección y control						5

### 3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE PULIDO

En la figura 3.2 se puede observar la construcción del soporte pulido.



Figura 3. 2 Soporte pulido

a. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SOPORTE PULIDO

Tabla 3. 2

Diagrama de procesos del soporte pulido

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		SOPORTE PULIDO		MATERIAL:		ACERO ESTRUCTURAL A3	
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Trazado	●	→	■	■	▼	20
2	Corte con plasma	●	→	■	■	▼	30
3	Corte con placas de soporte	●	→	■	■	▼	15
4	Lijado de contornos	●	→	■	■	▼	15
5	Perforado orificios 20mm	●	→	■	■	▼	30
6	Perforado orificios 1/2"	●	→	■	■	▼	15
7	Perforado orificios 10mm	●	→	■	■	▼	15
8	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5
9	Soldado	●	→	■	■	▼	20
10	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5

### 3.1.3 CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE ABRILLANTADO

La construcción del soporte abrillantado se muestra en la figura 3.3



Figura 3. 3 Soporte abrillantado

#### a. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SOPORTE ABRILLANTADO

Tabla 3. 3

Diagrama de procesos del soporte abrillantado

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		SOPORTE ABRILLANTADO		MATERIAL:		ACERO ESTRUCTURAL A36	
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Trazado	●	→	■	■	▼	20
2	Corte con plasma	●	→	■	■	▼	30
3	Corte con placas de soporte	●	→	■	■	▼	15
4	Lijado de contornos	●	→	■	■	▼	15
5	Perforado orificios 20mm	●	→	■	■	▼	30
6	Perforado orificios 1/2"	●	→	■	■	▼	15
7	Perforado orificios 10mm	●	→	■	■	▼	15
8	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5
9	Soldado	●	→	■	■	▼	20
10	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5

### 3.1.4 CONSTRUCCIÓN DEL RODILLO MOTRIZ DE LOS SISTEMAS

La figura 3.4 muestra la construcción final del rodillo motriz usado tanto en el sistema de esmerilado como en el sistema de pulido.



Figura 3. 4 Rodillo motriz de los sistemas

#### a. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL RODILLO MOTRIZ DE LOS SISTEMAS

Tabla 3. 4

Diagrama de procesos del rodillo motriz de los sistemas

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		RODILLO MOTRIZ SISTEMAS	MATERIAL:		MECAPLUS 470 REVESTIDO DE CAUCHO		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte del tubo revestido	●	→	■	■	▼	10
2	Mecanizado de cara interior	●	→	■	■	▼	30
3	Corte del eje1 SAE 1018 1"	●	→	■	■	▼	10
4	Mecanizado del eje de 1"	●	→	■	■	▼	20
5	Colocación de los rodamientos en el eje perforado	●	→	■	■	▼	20
6	Perforado	●	→	■	■	▼	25
7	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5

### 3.1.5 CONSTRUCCIÓN RODILLO CONDUCIDO DE LOS SISTEMAS

En la figura 3.5 se encuentra el rodillo conducido usado en los sistemas de esmerilado y pulido.



Figura 3. 5 Rodillo conducido de los sistemas

#### a. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL RODILLO CONDUCIDO DE LOS SISTEMAS

Tabla 3. 5

Diagrama de procesos del rodillo conducido de los sistemas

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		RODILLO CONDUCIDO SISTEMAS	MATERIAL:		MECAPLUS 470 REVESTIDO DE CAUCHO		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte del tubo revestido						30
2	Mecanizado de cara interior						25
3	Corte del eje SAE 1018 1"						5
4	Mecanizado del eje de 1"						15
5	Colocación de los rodamientos en el eje						25
6	Inspección y control						10

### 3.1.6 CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DE LA BANDA

La figura 3.6 se muestra el sistema de soporte de la banda transportadora en su construcción final.



Figura 3. 6 Soporte de la banda

#### a. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SOPORTE DE LA BANDA

Tabla 3. 6

Diagrama de procesos de soporte de la banda

PROYECTO	MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE						
PIEZA:	RODILLO CONDUCTO BANDA	MATERIAL:		ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36			
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte canal U						10

CONTINÚA



ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte eje perforado						10
2	Corte eje perforado						10
3	Corte eje de transmision						10
4	Torneado eje						25
5	Trazado en plancha						5
6	Corte por plasma						30
7	Torneado cara exterior platinas						20
8	Inspección y control						5
9	Trazado en platinas redondas						15
10	Perforado						20
11	Soldado de partes						30
12	Colocación de los rodamientos en el eje perforado						20
13	Colocación de anillo de retención						9
14	Perforado orificios 16mm						30
15	Perforado orificios 20mm						45
16	Fresado de ojos chinos						45
17	Soldado de partes						30
18	Inspección y control						5

### 3.1.7 CONSTRUCCIÓN RODILLO MOTRIZ BANDA

La construcción del rodillo motriz de la banda se muestra e la figura 3.7



Figura 3. 7 Rodillo motriz banda

a. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL RODILLO MOTRIZ BANDA

Tabla 3. 7

Diagrama de procesos del rodillo motriz banda

PROYECTO: MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE							
PIEZA:		RODILLO MOTRIZ BANDA	MATERIAL:		MECAPLUS 470 y SAE 1018		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte eje perforado						10
2	Corte eje perforado						10
3	Corte eje de transmision						10
4	Torneado eje						25
5	Trazado en plancha						5
6	Corte por plasma						30

CONTINUÍA

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
7	Torneado cara exterior platinas	●	→	■	⌢	▼	20
8	Inspección y control	●	→	■	⌢	▼	5
9	Trazado en platinas redondas	●	→	■	⌢	▼	15
10	Perforado	●	→	■	⌢	▼	20
11	Soldado de partes	●	→	■	⌢	▼	30
12	Colocación de los rodamientos en el eje perforado	●	→	■	⌢	▼	20
13	Colocación de anillo de retención	●	→	■	⌢	▼	9
14	Perforado orificios 16mm	●	→	■	⌢	▼	30
15	Perforado orificios 20mm	●	→	■	⌢	▼	45
16	Fresado de ojos chinos	●	→	■	⌢	▼	45
17	Soldado de partes	●	→	■	⌢	▼	30
18	Inspección y control	●	→	■	⌢	▼	5

### 3.1.8 CONSTRUCCIÓN RODILLO CONDUCCIDO BANDA

La figura 3.8 muestra la construcción del rodillo conducido banda



Figura 3. 8 Rodillo conducido banda

a. **DIAGRAMA DE PROCESOS DEL RODILLO CONDUcido BANDA**

Tabla 3. 8

**Diagrama de procesos del rodillo conducido banda**

PROYECTO: MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE							
PIEZA: RODILLO CONDUcido BANDA		MATERIAL: MECAPLUS 470 y SAE 1018					
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte eje perforado	●	→	■	■	▼	10
2	Corte eje perforado	●	→	■	■	▼	10
3	Corte eje de transmision	●	→	■	■	▼	10
4	Torneado eje	●	→	■	■	▼	25
5	Trazado en plancha	●	→	■	■	▼	5
6	Corte por plasma	●	→	■	■	▼	30
7	Torneado cara exterior platinas	●	→	■	■	▼	20
8	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5
9	Trazado en platinas redondas	●	→	■	■	▼	15
10	Perforado	●	→	■	■	▼	20
11	Soldado de partes	●	→	■	■	▼	30
12	Colocación de los rodamientos en el eje perforado	●	→	■	■	▼	20
13	Colocación de anillo de retención	●	→	■	■	▼	9
14	Perforado orificios 16mm	●	→	■	■	▼	30
15	Perforado orificios 20mm	●	→	■	■	▼	45
16	Fresado de ojos chinos	●	→	■	■	▼	45
17	Soldado de partes	●	→	■	■	▼	30
18	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5

### 3.1.9 CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO TENSOR

La construcción del tornillo tensor se muestra en la figura 3.9.



Figura 3. 9 Tornillo tensor

a. **DIAGRAMA DE PROCESOS DEL TORNILLO TENSOR**

Tabla 3. 9

Diagrama de procesos del tornillo tensor

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		TORNILLO TENSOR	MATERIAL:		SAE 1018		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte eje						5
2	Torneado eje						30
3	Inspección y control						5

### 3.1.10 CONSTRUCCIÓN DE LA MESA SOPORTE

Basándose en el diseño realizado en el capítulo anterior, se procede a la construcción de la mesa soporte, como se muestra en la figura 3.10.



Figura 3. 10 Construcción mesa soporte

a. **DIAGRAMA DE PROCESOS DE LA MESA SOPORTE**

Tabla 3. 10

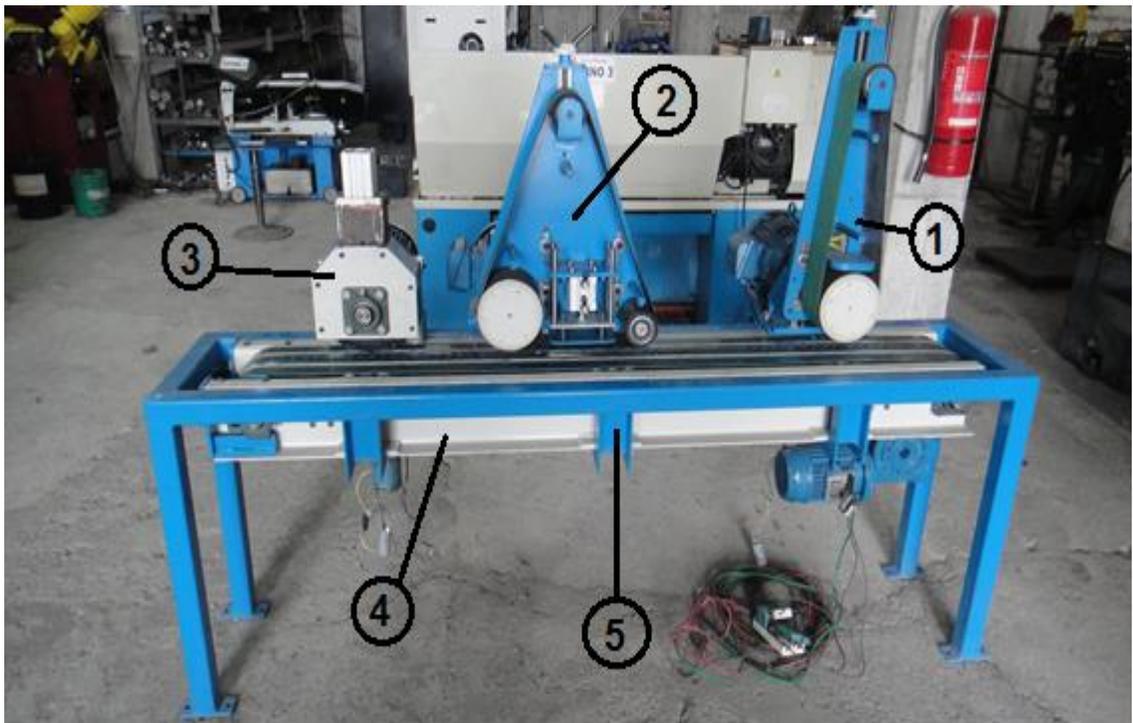
Diagrama de procesos de la mesa soporte

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		MESA SOPORTE	MATERIAL:		ACERO ESTRUCTURAL A36		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Corte tubo cuadrado y canal	●	→	■	■	▼	30
2	Suelda de tubo cuadrado	●	→	■	■	▼	25
3	Inspección y control	●	→	■	■	▼	5
4	Trazado de puntos de ubicación perfil	●	→	■	■	▼	15
5	Suelda del perfil U a la mesa	●	→	■	■	▼	30
6	Verificación de nivel	●	→	■	■	▼	20
7	Desbastado de suelda	●	→	■	■	▼	30
8	Inspección y control	●	→	■	■	▼	10

### 3.2 MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO

Una vez culminada la construcción de los elementos mencionados anteriormente, se realiza el montaje de los cinco sistemas que componen la maquina pulidora. (Figura 3.11)

1. Sistema de esmerilado.
2. Sistema de pulido.
3. Sistema de abrillantado.
4. Sistema de banda transportadora.
5. Estructura soporte.



**Figura 3. 11 Elementos que conforman la máquina pulidora de superficies de acero inoxidable**

### 3.2.1 DIAGRAMA DE PROCESOS DEL ENSAMBLAJE TOTAL DE LA MÁQUINA DE ABRILLANTADO DE SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE

Tabla 3. 11

Diagrama de procesos del ensamble total de la máquina de abrillantado de superficies planas de acero inoxidable.

PROYECTO:		MÁQUINA PARA PULIR SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE					
PIEZA:		ENSAMBLE TOTAL		MATERIAL:		VARIOS	
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
1	Ensamblaje soporte banda						25
2	Ubicación de banda en soporte						20
3	Ubicación de soporte con banda en la mesa						15
4	Colocación de motoreductor de la banda						20
5	Acople motoreductor con eje motriz de la banda						15
6	Inspección y control						5
7	Ubicación sistema esmerilado						15
8	Ubicación motor en sistema de esmerilado						20
9	Acople con matrimonio del motor con eje motriz						15
10	Inspección y control						5
11	Ubicación sistema pulido						15

CONTINÚA

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	DEMORA	ALMACENAM.	TIEMPO EN MINUTOS
12	Ubicación motor en sistema de pulido	●	→	■	◐	▼	20
13	Acople con matrimonio del motor con eje motriz	●	→	■	◐	▼	15
14	Inspección y control	●	→	■	◐	▼	5
15	Ubicación sistema abrillantado	●	→	■	◐	▼	20
16	Ubicación motor en sistema de abrillantado	●	→	■	◐	▼	20
17	Acople con matrimonio del motor con eje motriz	●	→	■	◐	▼	20
18	Inspección y control	●	→	■	◐	▼	5
19	Ubicación pistón en sistema de pulido	●	→	■	◐	▼	10
20	Ubicación pistón en sistema de abrillantado	●	→	■	◐	▼	10
21	Ubicación lijas	●	→	■	◐	▼	25
22	Ubicación disco de tela	●	→	■	◐	▼	10
23	Ubicación de pasta abrasiva	●	→	■	◐	▼	10
24	Conexión sistema neumático	●	→	■	◐	▼	15
25	Inspección y control	●	→	■	◐	▼	10
26	Pruebas de funcionamiento	●	→	■	◐	▼	30

### 3.3 MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y ELECTRONEUMÁTICO

Para el montaje de estos sistemas se realizará un acondicionamiento para la correcta operación de la máquina automática de pulido de superficies planas.

### 3.3.1 ACONDICIONAMIENTO PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA

- i. Se colocará la máquina en un lugar seguro para realizar el respectivo cableado eléctrico.
- j. Se instalará el tablero eléctrico cerca de una acometida trifásica de 220V y monofásica de 110V.
- k. El tablero de control eléctrico se instalará en un lugar seguro y adecuado para el correcto funcionamiento.
- l. El sistema electroneumático se instalará cerca de una acometida neumática para facilitar y ahorrar recursos si es posible.
- m. La máquina se instalará en un lugar con ventilación.

### 3.3.2 MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO

El tablero de control eléctrico tiene medias de 60x40x25, el cual se instalará en un lugar seguro y adecuado como se indica en la Figura 3.12 para que el operador manipule correctamente.

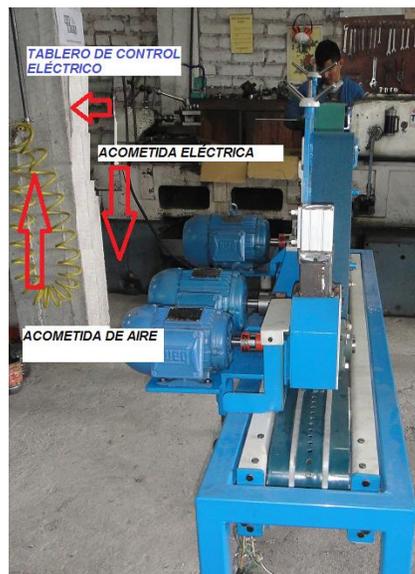


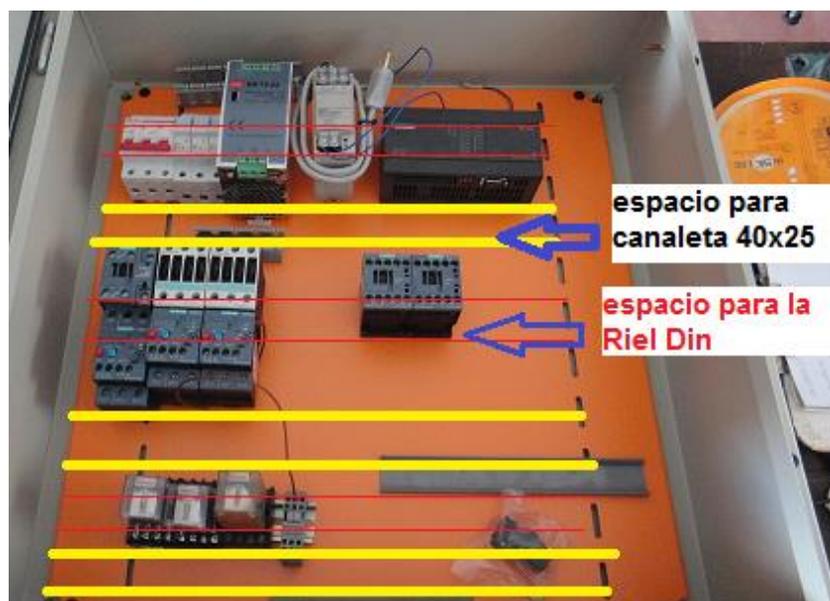
Figura 3. 12 Selección del lugar para el tablero de control eléctrico

Una vez encontrado el lugar adecuado y seguro para la instalación del tablero de control, se instala todos los elementos eléctricos y electrónicos de forma simultánea como se indica en la siguiente Figura 3.13.



**Figura 3. 13 Elementos colocados simultáneamente en el tablero de control**

Se mide y se corta la Riel Din y la canaleta a la medida de 40cm; luego se asegura con tornillos como se muestra a continuación en la Figura 3.14



**Figura 3. 14 Colocación del riel Din y canaleta**



Para mayor facilidad en la conexión de los equipos o elementos de fuerza y dispositivos electrónicos se utiliza terminales tipo u, ojo y pin. (Tabla 3.13)

**Tabla 3. 13**

**Terminales para diferentes calibres de conductores**

Terminales	Características
Tipo U	Para AWG # 10, # 12, # 18
Tipo ojo	Para AWG # 12
Tipo pin	Para AWG # 18

Se realiza el montaje de las borneras individuales con capacidad de (25, 10, 3 A) para la conexión de las entradas y salidas de los elementos de la máquina. (figura 3.16)



**Figura 3. 16 Borneras individuales de conexión**

El montaje del módulo ELC HMI se realiza en la parte frontal del tablero de control de acuerdo a las medidas de dicho módulo, así como también del selector y pulsador de paro de emergencia. (Figura 3.17)



**Figura 3. 17 Montaje del módulo ELC HMI, conmutador y paro general**

Para el montaje de los sensores se verifica su distancia de proximidad según sus datos técnicos que es de 15mm.

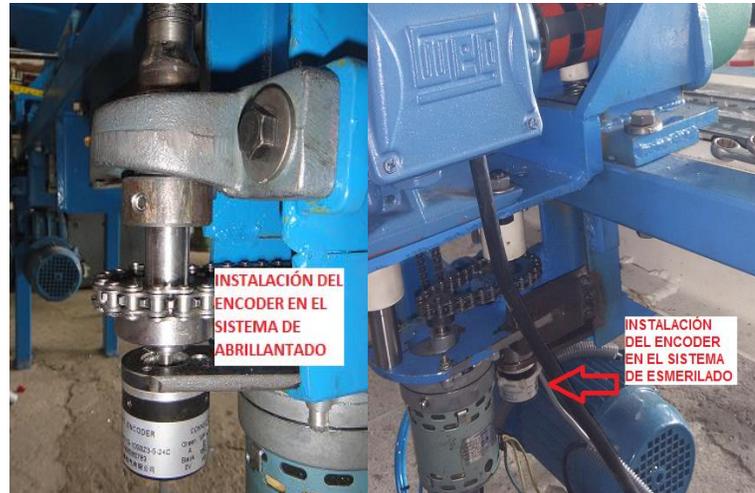
Por lo que se instala a una distancia de 12mm, la cual será su posición de inicio en los sistemas de elevación como se muestra en la Figura 3.18. De esta posición se manipulará ya sea manualmente mediante una entrada (tecla) del módulo ELC HMI o automáticamente mediante el programa del PLC de acuerdo al espesor requerido de las superficies planas.



**Figura 3. 18 Montaje de los sensores en los sistemas de elevación**

A continuación se instala los encoders de 100PPM para controlar la rotación de los motores de 0.21Kw.

Su diseño fue para recorrer 0.5mm por PPM y se instala en un tornillo de elevación de paso 2.5mm; por lo que necesitará 5 PPM para recorrer dicha distancia o paso como se indica en la Figura 3.19.



**Figura 3. 19 Montaje de los encoders en los sistemas de abrillantado y esmerilado respectivamente**

En la Figura 3.20 se muestra el montaje de una caja pequeña (20x20cm) para la alimentación y control de los sensores de proximidad y rotación.



**Figura 3. 20 Caja con borneras para los sensores de proximidad y rotación**

Se instala el motorreductor de acuerdo al diseño mecánico, el cual consta de una rueda dentado con cadena como se aprecia en la Figura 3.21.



**Figura 3. 21 Instalación del motorreductor 0.5Hp**

Finalmente se realiza el montaje de las válvulas solenoides para la activación de los cilindros neumáticos como se observa en la Figura 3.22.



**Figura 3. 22 Instalación de las válvulas solenoides**

Los planos del sistema eléctrico se muestran en el ANEXO C

### **3.4 PROGRAMA DEL PLC XLOGIC ELC-12DC-DA-R HMI**

Con la programación del PLC todos los sistemas de la máquina tienden a ser automatizados. Se recomienda visualizar los siguientes aspectos antes de su programación:

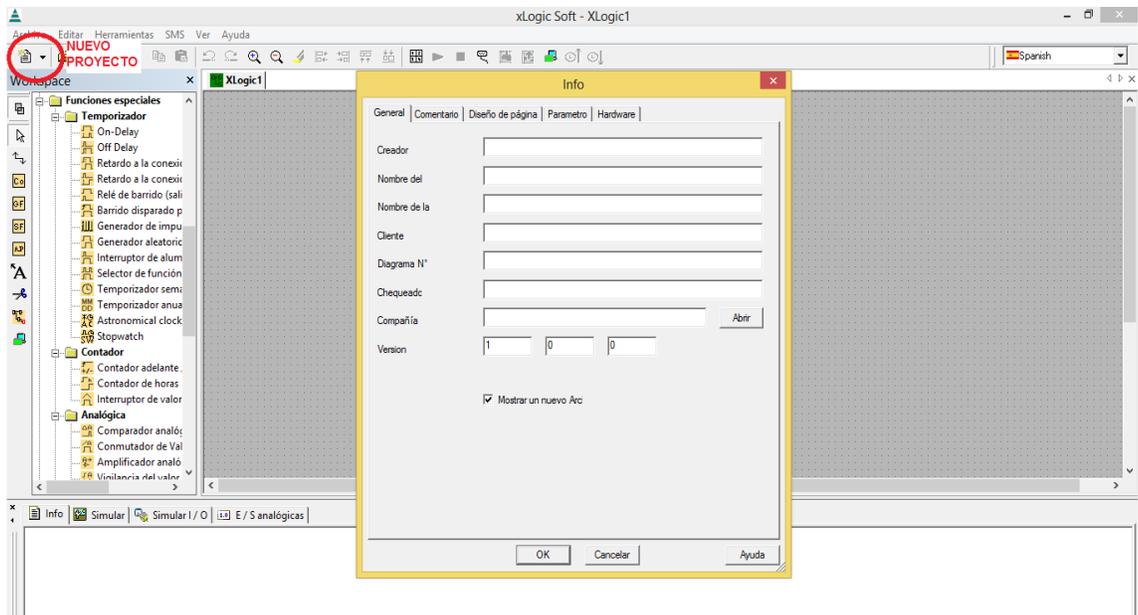
- Mirar el voltaje de alimentación de 24Vdc.

- Verificar todas las conexiones de control de potencia y control electrónico.
- Verificar el puerto de comunicación entre el PLC y PC.
- Programación de los sistemas de potencia.

Mediante el diagrama de flujo se

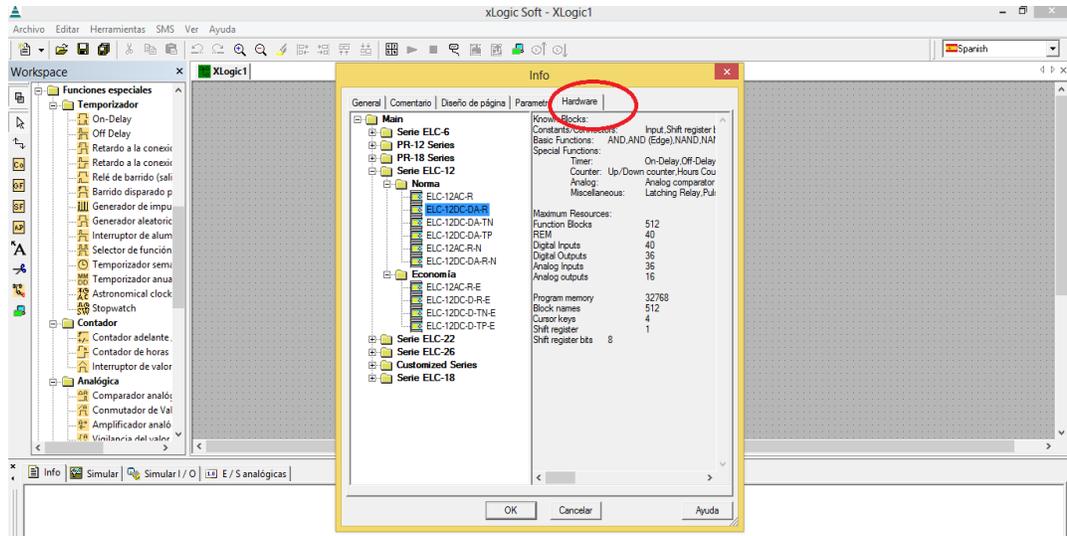
El software xLogicsoft utiliza diagramas de bloques funcionales (FDB) para la programación y se muestra a continuación.

Se crea un nuevo proyecto como se muestra en la Figura 3.23.



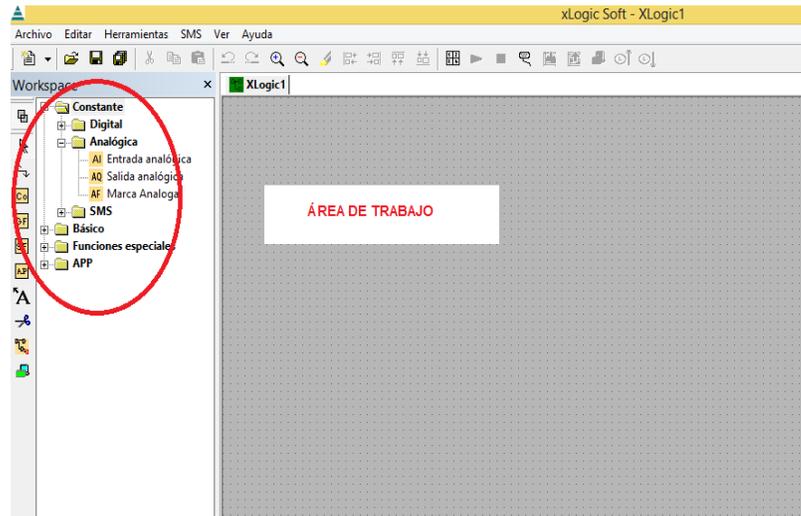
**Figura 3. 23 Creación de un nuevo proyecto en el software xLogicsoft**

Se despliega una ventana y se llena los datos a convenir. En la parte de hardware se hace clic y se selecciona el modelo del PLC como se muestra en la Figura 3.24.



**Figura 3. 24 Selección del tipo de módulo principal del PLC**

Se hace clic en OK y se programa en el área de trabajo por medio de los diagramas de bloques funcionales mostrado en la Figura 3.25.



**Figura 3. 25 Área de trabajo software xLogicsoft**

Antes de iniciar su programación se declara las variables de entrada y salida del PLC como se muestra en las Tablas 3.14 y 3.15 respectivamente.

**Tabla 3. 14****Selección de las variables de salida para el PLC**

<b>Elemento controlado</b>	<b>Variable de salida digital</b>	<b>Variable de salida analógica</b>
Motor 0.5hp	Q023	
Motor 1hp	Q003	
Motor 2hp	Q002	
Motor 5hp	Q001	
Sube esmerilado	Q011	
Baja esmerilado	Q012	
Sube abrillantado	Q013	
Baja abrillantado	Q014	
Válvula para sistema abrillantado	Q021	
Válvula para sistema pulido	Q022	
Activación variador de frecuencia		AQ031

**Tabla 3. 15****Selección de las variables de entradas para el PLC**

<b>Elemento controlado</b>	<b>Variable de entrada</b>
Encoder para sistema abrillantado	I008
Encoder para sistema esmerilado	I007
Sensor para sistema abrillantado	I006
Sensor para sistema esmerilado	I005
Paro de emergencia	I011
Conmutador Proceso manual	I012
Conmutador Proceso automático	I013
Reset sistema esmerilado (alto)	I001
Reset sistema esmerilado (bajo)	I002
Reset sistema abrillantado (alto)	I003
Reset sistema abrillantado (bajo)	I004

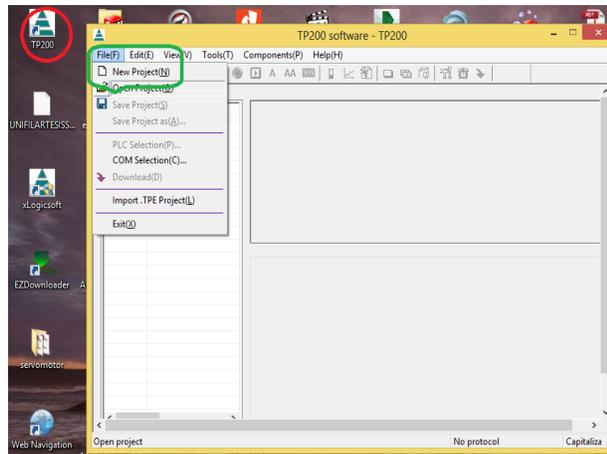
Una vez establecido las variables para cada entrada y salida del PLC se inicia a programar de acuerdo al acondicionamiento de la máquina.

En el Anexo D-1 se muestra el programa finalizado para la automatización de la máquina.

### **3.5 PROGRAMA DEL MÓDULO HMI ELC-MD204LV4**

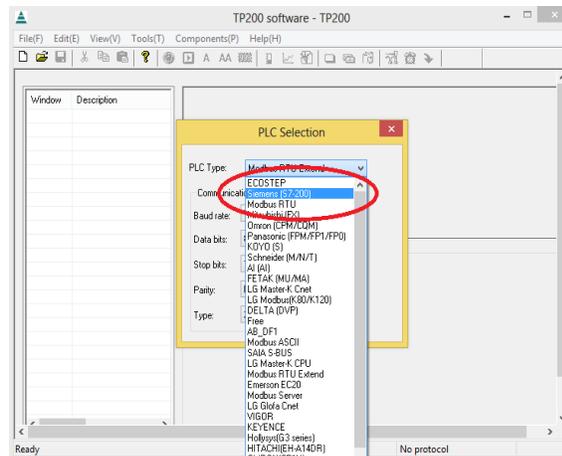
El módulo HMI ELC-MD204LV4 utiliza el software TP200 para la comunicación y visualización. Su programación se muestra a continuación:

Se abre el software TP200 y se da clic en archivo y luego en nuevo proyecto como se muestra en la Figura 3.26.



**Figura 3. 26 Software TP200**

A continuación se escoge el tipo de PLC que es compatible dicho módulo de visualización y se da OK como se indica en la Figura 3.27.



**Figura 3. 27 Selección del PLC**

Antes de iniciar con la programación se selecciona los elementos o variables que se visualizarán en el módulo.

Se visualizará dos pantallas en el módulo, las cuales son las siguientes: una para el ON/OFF del cilindro neumático (pasta o cera) y de los motores de los sistemas (esmerilado, pulido, abrillantado, banda transportadora), y otra para la

variación de las alturas de los motores de elevación (esmerilado y abrillantado) y variación de la velocidad (banda transportadora) como se indica en la Tabla 3.16 y Tabla 3.17 respectivamente.

**Tabla 3. 16**

**Elementos para la visualización en la primera pantalla**

Elementos	Características
Lija gruesa	Dirección 1
Lija fina	Dirección 2
Disco abrillantado	Dirección 3
Cera o pasta Abrillantadora	Dirección 4
Banda transportadora	Dirección 8
Pausa	Dirección 9

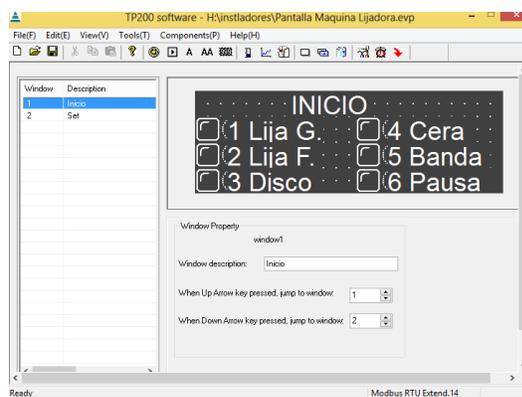
**Tabla 3. 17**

**Elementos para la visualización en la segunda pantalla**

Elementos	Características
Altura lija gruesa	Rango: 0.5 – 40mm, Dirección 1, Registro 2
Altura disco abrillantado	Rango: 0.5 – 40mm, Dirección 2, Registro 2
Velocidad de la banda transportadora	Rango: 0.1 – 400Hz, Dirección 3, Registro 2

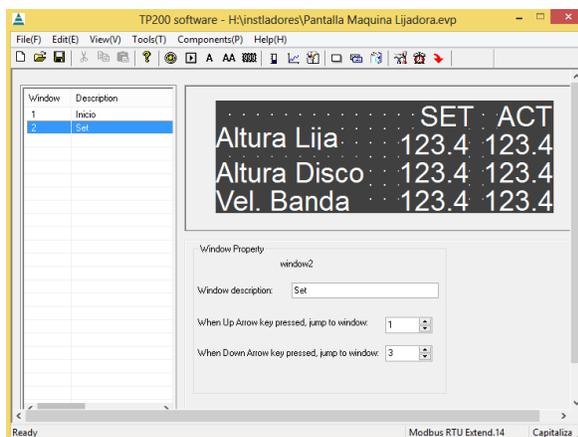
Luego de seleccionar los elementos para la visualización, se crea en el área de trabajo dos pantallas.

En la Figura 3.28 se muestra el diseño de la primera pantalla llamada INICIO.



**Figura 3. 28 Primera pantalla “INICIO”**

Y en la Figura 3.29 se muestra la pantalla para las variaciones denominada SET/ACTUAL.



**Figura 3. 29 Segunda pantalla “SET/ACTUAL”**

Todos los elementos se encuentran direccionados y registrados para la comunicación con el PLC Xlogic por medio de la interface RS232 que posee el módulo HMI ELC-MD204LV4.

## CAPITULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO

Las pruebas se realizaron con las piezas que fueron el motivo de realizar el presente proyecto, en este caso se usa las más comunes que son la platina y la tapa, cuyas características se describen a continuación:

- **Tapa 7/8**

*Diámetro cabeza = 25mm*

*Espesor cabeza = 6 mm*

*Diámetro eje roscado = 9.53 mm*

*Largo eje roscado = 23 mm*

- **Platina**

*Largo = 1000 mm*

*Ancho = 24 mm*

*Espesor = 4 mm*

##### 4.1.1 PRUEBAS CON VARIACIÓN DE VELOCIDAD (SISTEMA MOTORREDUCTOR)

Las dos piezas tienen diferente espesor, por lo que para cada una de ellas se posicionó de forma manual la altura del motor de elevación acorde a cada pieza con una tolerancia (-0.01mm); una vez ubicadas las alturas, se varía la velocidad de avance de la banda, cuyos resultados están de acuerdo al tiempo del proceso se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1

Pruebas de tiempos según velocidad de avance de la banda transportadora

VELOCIDAD BANDA		TAPA	PLATINA
(Hz)	(m/s)	TIEMPO (SEG)	
5	2,36	18	60
10	4,71	16	58
15	7,07	14	54
20	9,42	12	52
25	11,78	6	36
30	14,14	5	33.5
35	16,49	4	33
40	18,85	3	32.5
45	21,21	2	32
50	23,56	1.5	30

Al iniciar las pruebas con velocidades bajas, se notó que las lijas desprendían mucho material del accesorio, causando una deformación en el material y el sobrecalentamiento de la banda de PVC. En la figura 4.1 se muestra el acabado con velocidades bajas de una platina y tapa de acero inoxidable.



Figura 4. 1 Platina y tapa pulida con velocidad baja de la banda transportadora respectivamente

Según las pruebas realizadas y descritas en la Tabla 4.1 se aprecia que con la velocidad de avance de 25Hz o 11.78 m/s y con un tiempo de 6 para la tapa y 36 seg. para la platina, el acabado mecánico superficial es reflectante (Figura 4.2).



**Figura 4. 2 Tapa y platina con un acabado mecánico superficial reflectante respectivamente**

#### **4.1.2 PRUEBAS CON VARIACIÓN DE LAS ALTURAS (SISTEMAS DE ELEVACIÓN)**

Una vez comprobado el acabado con la variación de la velocidad correcta se calibra la altura adecuada respecto a los espesores de las superficies planas de forma automática. Se tiene en cuenta que el paso es de 2.5mm del tornillo de los sistemas de elevación y tiene el control del encoder para desplazarse en posiciones de 0.5mm por revolución, por lo tanto se calibra a (-0.05mm) de su espesor original.

En la siguiente Tabla se muestra la variación de las alturas de los sistemas 1 y 3, donde visualmente se fue verificando las calidades de los acabados tanto de la platina como de la tapa (Tabla 4.2).

Tabla 4. 2

## Variación de alturas de los sistemas 1 y 3 para las superficies planas

Velocidad de la banda (m/s)	Altura Sistema 1 (mm)		Altura Sistema 3 (mm)		Calidad	
	Tapa	Platina	Tapa	Platina	Tapa	Platina
11,78	13	11	13	11	Baja	Baja
11,78	12	10	12	10	Baja	Baja
11,78	11	9	11	9	Media	Media
11,78	10	8	10	8	Alta	Alta

En la Figura 4.3 se muestra la altura final ideal para los sistemas de elevación de los sistemas 1 y 3 para el proceso de acabado superficial de la tapa y la platina.

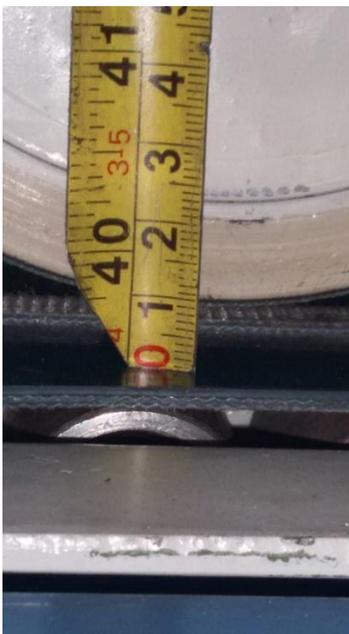


Figura 4.3 Altura final ideal de los sistemas 1 y 3 para el acabado superficial.

En la figura 4.4 se muestra una tapa con todo el proceso de pulido con la velocidad de 11.78 m/s apropiada para la operación de la banda transportadora, así como también con la altura ideal de 10 mm para los sistemas de elevación.



**Figura 4. 4 Tapa con un acabado alto**

En la figura 4.5 se muestra una platina con un acabado de alta calidad. Para conseguir dicho acabado se utilizó una velocidad 11.78 m/s y una altura de 8mm para los sistemas de elevación.



**Figura 4. 5 Platina con un acabado alto**

Una vez elegido la velocidad apropiada y de acuerdo al tiempo que toma la máquina en realizar el proceso completo, se aprecia la cantidad de piezas que salen en un minuto. (Tabla 4.3)

Tabla 4. 3

**Cantidad de superficies planas por minuto con un acabado de alta calidad**

	TAPA	PLATINA
Cantidad superficies planas en 1 min.	6	2

#### 4.2 PRUEBAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Las pruebas que se realizan en el sistema eléctrico son respecto a las conexiones de motores, alimentación de equipos electrónicos, conexiones de las fases y el neutro, comunicación PLC-PC y PLC-módulos ELC. Las conexiones eléctricas se muestran en la Tabla 4.4 y las conexiones de comunicación en la Tabla 4.5.

Tabla 4. 4

**Pruebas del sistema eléctrico**

Elemento o equipo	Conexión	Alimentación	Observación
<b>Motor 5Hp</b>	Triangulo-arranque directo	Trifásica 220V	Revisar terminales motor
<b>Motor 2Hp</b>	Triangulo-arranque directo	Trifásica 220V	Revisar terminales motor
<b>Motor 1Hp</b>	Triangulo-arranque directo	Trifásica 220V	Revisar terminales motor
<b>Motores 21Kw</b>	Con un C=5uF	Monofásica 115V	Revisar terminales motor
<b>PLC</b>	De acuerdo a características técnicas	Continua 24Vdc	Revisar alimentación y protección
<b>Sensores de proximidad</b>	De acuerdo a características técnicas	Continua 10~30Vdc	Calibrar la distancia de proximidad (15mm) máx.
<b>Encoder 100PPM</b>	De acuerdo a características técnicas	Continua 24Vdc	Colocar resistencias de 10KΩ
<b>Módulos ELC</b>	De acuerdo a características técnicas	Continua 24Vdc	Revisar alimentación a cada módulo
<b>Fuente de alimentación</b>	De acuerdo a características técnicas	Bifásica 220V	Revisar protección y alimentación
<b>Variador de frecuencia LS</b>	Manual de usuario	Trifásica 220V	Revisar alimentación y protección

Tabla 4. 5

## Pruebas de conexiones de comunicación

Elemento o equipo	Comunicación	Medio de comunicación	Observación
PC	PLC xLOGIC	USB-ELC RS-232	Verificar puerto de comunicación
PC	Módulo ELC HMI	MD2-AB RS-232	Verificar distancia (15m) max. y puerto de comunicación
PLC xLOGIC	Módulos de expansión	Modbus RTU RS-232	Verificar todas las comunicaciones

Entre las pruebas de funcionamiento del PLC está la de la comunicación entre el PC. En el software existe una herramienta para realizar la comunicación como se indica en la Figura 4.6.

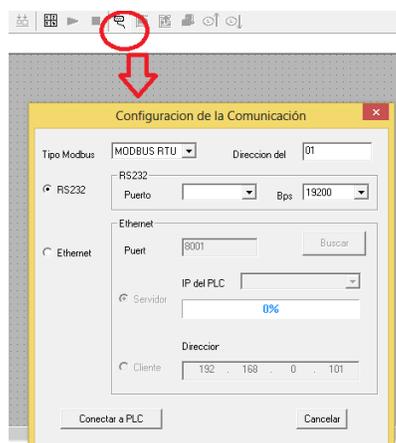


Figura 4. 6 Configuración de la comunicación entre PC y PLC

#### 1.3.5 4.4. ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACIÓN DE LA MÁQUINA PARA EL PULIDO AUTOMÁTICO DE SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE

El manual de procedimiento para la operación de la máquina se detalla en el Anexo E.

## 4.5 ANÁLISIS FINANCIERO

El objetivo de este proyecto es disminuir los tiempos de producción en Servitorno, lo que implica una reducción en horas/hombre y aumento de producción y mejoría en tiempos de entrega.

### 4.5.1 ANÁLISIS DE TIEMPOS

A continuación se detalla los tiempos requeridos para abrillantar tanto la tapa como la platina de acero inoxidable y los costos que implican estos. Se muestra en las Tabla 4.6

**Tabla 4. 6**

**Tabla de tiempos del proceso total de la tapa y platina**

PROCESO:	TAPA		PLATINA	
	MANUAL	AUTOMATICO	MANUAL	AUTOMATICO
	TIEMPO (SEG)		TIEMPO (SEG)	
ESMERILADO	15	6	60	12
PULIDO	10	6	30	12
ABRILLANTADO	20	6	30	12
<b>TOTAL TIEMPO (SEG)</b>	<b>45</b>	<b>18</b>	<b>120</b>	<b>36</b>

### 4.5.2 ANÁLISIS DE COSTOS

Se detalla tantos los gastos directos como indirectos que implicaron la construcción de la máquina.

#### a. COSTOS DE MATERIALES PARTE MECÁNICA

En la Tabla 4.7 se detalla los materiales necesarios para la construcción de la máquina.

**Tabla 4. 7****Costos de materiales sistemas mecánicos**

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	PU	TOTAL
1	3	Tubo cuadrado 40x40	1,75	5,25
2	6	Tubo rectangular 30x1	1,08	6,50
3	6	Tubo 50x1.5	2,71	16,25
4	6	Perfil U 50x25x3	3,73	22,36
5	3	Perfil U 150x50x5	15,00	45,00
6	1	Plancha acero A36	140,33	140,33
7	36	Rodamientos 626	3,05	36,00
8	4	Rodamientos 6206	7,00	28,00
9	6	Rodamientos 6304	4,36	26,14
10	2	Chumaceras de pared 3/4	5,12	10,24
11	2	Chumaceras tensoras UCT204D1	35,23	70,45
12	1	Banda transportadora PVC con guias 3" y perforaciones	225,62	225,62
13	1	Pernos y tuercas	12,16	12,16
14	1	Motor 1HP	201,43	201,43
15	1	Motor 2HP	292,60	292,60
16	1	Motor 5HP	423,65	423,65
17	1	Motoreductor 1/2HP 1:100	500,00	500,00
18	2	Motores monofásicos 0,21 HP	200,00	400,00
19	3	Kilos eje 1018 1/2	7,50	22,50
20	2	Ejes vulvanizados 15x10	25,00	50,00
21	3	Ejes vulvanizados 10x10	16,00	48,00
22	5	Barra perforada	4,82	24,10
23	1	Abrasivos	38,21	38,21
24	1	Piston Neumático	65,23	65,23
25	1	Materiales neumáticos	242,49	242,49

**b. COSTOS DE MATERIALES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS**

En la Tabla 4.8 se muestra la Tabla de los gastos realizados en los materiales eléctricos y electrónicos.

**Tabla 4. 8**  
**Costos de material eléctrico y electrónico**

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	PU	TOTAL
1	1	Módulo de salida analógica ELC 12E-AQV	110,88	110,88
2	2	Módulo ELC 12E-E-8DC-DA-R	84,90	169,79
3	1	Cable de comunicación ELC-REC232	70,00	70,00
4	1	Módulo ELC HMI	160,16	160,16
5	2	Encoder 100PPR 24V NPN colector abierto OUT	80,00	160,00
6	1	PLC LOGO EASY ELC-12DC-DA-R-HMI	140,00	140,00
7	1	Variador de frecuencia 1HP 3PLS	332,70	332,70
8	20	Bornera para riel DIN 6AWG	0,56	11,20
9	39	Bornera para riel DIN 12-14AWG	0,39	15,29
10	20	Cable incable flexible #18AWG	0,19	3,81
11	1	Selector 3 posiciones negro	3,12	3,12
12	100	Terminales puntera simple 18-16AWG amarillo	0,04	4,48
13	30	Remaches 18x1/2	0,01	0,44
14	2	Relays CSC 11 PIN/RED 3P 10VAC	4,82	9,63
15	2	Bases para RELÉ MK2p-1 8 PINES 10 A	1,44	2,89
16	40	Terminales en U azul	0,04	1,79
17	2	Breaker 10A 3P LS	19,81	39,63
18	1	Breaker NB1H-10KA3P 20A	13,48	13,48
19	1	Breaker 2x32	11,56	11,56
20	5	Bases fusibles 32A	6,5	32,50
21	1	Fusible 32 A	0,51	0,51
22	1	Fusible 6 A	0,9	0,90
23	1	Fusible 2 A	0,63	0,63
24	2	Base Relé	1,53	3,06
25	2	Relé 24V	4	8,00
26	1	Microswitch	6,76	6,76
27	1	Selector 3p 32A	25,2	25,20
28	1	Pulsador Hongo retenida rojo 22mm sassin	4	4,00
29	5	Cable superflex 4x8 awg cablec	6,35	31,75
30	1	Enchufe 50AMP pata de gallina cooper	9,49	9,49
31	10	Cable Flexible tff 10 cablec	0,97	9,70
32	10	Cable Flexible tff 12 c/inst cablec	0,62	6,20
33	30	Cable THHN 8 AWG 7H cablec	1,54	46,20
34	100	Terminal comp. Corto p/soldadora #6AWG 6mm	0,3	30,00
35	30	Terminal T/ojo 12-10 10/5 amarillo (5,5-5) V-1503	0,09	2,70
36	5	Cable Electrolcable concentrico 4x16	1,5	7,50
37	5	Cable Electrolcable concentrico 4x18	1,05	5,25
38	8	Cable Incable concentrico 3x10	3,28	26,24
39	3	Canaleta 25x25 ranurada	5,12	15,36

CONTINÚA



40	1	Canaleta Ranurada de 50x50	14	14,00
41	4	Taco Fischer n-12 original	0,06	0,24
42	4	Tirafondos 1/4 x 2"	0,09	0,36
43	15	Taco Fischer n-8	0,04	0,60
44	15	Tornillo cabeza redonda niquelado 1x8	0,03	0,45
45	1	Bronca para cemento alemana 1/4 (10u)	1,15	1,15
46	6	Cable multipar 4 pares CAT5	0,58	3,48
47	7	Cable Electrocable concentrico 4x18	1,05	7,35
48	5	Cable incable concentrico 4x12	3,39	16,95
49	1	Libretin denox letras	13,8	13,80
50	5	Cable sucre	1,36	6,80
51	5	Cable Flexible	0,2	1,00
52	1	Caja de paso DXN500DG DEXSON	5,82	5,82
53	2	Sensor inductivo 18mm PNP 10-30 VDC sin conector	44,8	89,60
54	5	Cable concentrico 2x18	0,81	4,05
55	4	Manguera anillada gris 1/2 metros	0,29	1,16
56	0,04	Estaño 1/2lb 1mm8040	13,06	0,52
57	1	Cautin tipo lapiz 30w Stanley	9,43	9,43
58	1	Navaja cutter metalica 6" c/tres repuestos	2	2,00
59	1	Alicate STY9,5"84223 Multiuso	5,3	5,30
60	1	Canaleta	9,9	9,90
61	10	Terminal aislado abierto amarillo 4mm.v-1509	0,08	0,80
62	1	Bornera blanca 12p/30AMP camscotb-2512	3,02	3,02
63	4	Bornera csc blanca 12p/15AMP camscotb-2512	2	8,00
64	2	Riel Din perforada	2,41	4,82
65	100	Amarras 15 cm blanca dexson, P-0302	0,02	2,00
66	1	Espiral 1/2" P-0352 blanco dexson 10 mts	5,21	5,21
67	1	Combo 4 espiral promocion nini-lynx 25w p3877364	12,95	12,95
68	2	Contactador 3RT1023-9A S/B C-12035	9,28	18,56
69	4	Canaleta ranurada de 25 x 25 AD-OL	2,17	8,68
70	1	Contact, 3RT2026-1AN20 25A O/B 220V	57,5	57,50
71	1	Rele termico 3 rv2126-1EBO 2,8-4.OA	43,96	43,96
72	1	Rele Termico5.5-8 3RU2126 S-16052A	41,87	41,87
73	1	Rele Term.3ru2126-4ABO 11-16A SIEME	43,96	43,96
74	2	Contactador 3RT2016-9A C/BOB 120VAC	23,61	47,22
75	1	Tablero Met. 60x60x20 I-0319	104,01	104,01
76	1	Sensor prox toky cap 18 NPN 8a	23,8	23,80
77	1	Fuente podr.csc 85-264vac 24vdc 3,1	47,1	47,10
78	2	Bobina 220V P/3rt1935/1035/36	13,91	27,82
<b>TOTAL</b>			<b>5180,55</b>	

### c. COSTOS DE MANO DE OBRA

Implica los costos de mano de obra que intervinieron para elaborar la máquina. (Tabla 4.9)

**Tabla 4. 9**

#### Costos de mano de obra

COSTOS MANO DE OBRA				
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PU	TOTAL
1	1	Mano de obra Obreros mecánicos	750	750
1	1	Mano de obra Técnico eléctrico	280	280
1	1	Mano de obra Pintor	60	60

### d. COSTOS DE SUMINITRO ELÉCTRICO

Se toma en cuenta el valor de la energía eléctrica consumida en el período de tiempo que duro la construcción de la máquina. (Tabla 4.10)

**Tabla 4. 10**

#### Costos suministro eléctrico

COSTOS SUMINISTRO ELÉCTRICO				
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PU	TOTAL
1	1800	KW PROMEDIO EN 6 MESES	0,08	144,00
<b>TOTAL</b>				<b>144,00</b>

### e. COSTOS MATERIALES EXTRAS

En la Tabla 4.11 se muestra los gastos extras que implicaron la construcción de la máquina.

**Tabla 4. 11**  
**Costos extras**

<b>COSTOS MATERIALES EXTRAS</b>				
<b>ITEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PU</b>	<b>TOTAL</b>
1	2	Pintura anticorrosiva(gl)	16,00	32,00
2	5	Electrodos (libras)	1,61	8,05
3	1	Lubricante (litro)	6,03	6,03
4	1	Grasa	3,00	3,00
5	3	Thiner (litro)	1,50	4,50
6	1	Guaype	3,00	3,00
<b>TOTAL</b>				<b>56,58</b>

### 1.3.6

### 4.5.3 INVERSIÓN TOTAL

Para obtener la inversión total en la máquina, se suma los costos directos y los indirectos, como se muestra en la Tabla 4.12.

**Tabla 4. 12**  
**Inversión Total**

<b>INVERSIÓN TOTAL</b>		
<b>COSTOS</b>	<b>COMPONENTES</b>	<b>COSTO</b>
<b>DIRECTOS</b>	Materiales	5180,55
	Mano de obra	1090,00
	Suministro Eléctrico	144,00
<b>INDIRECTOS</b>	Materiales extras	56,58
	Imprevistos	250,00
<b>Inversión Total</b>		<b>6721,13</b>

### 1.3.7

### 4.5.4 ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN Y COSTOS ANTES Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE PULIDO AUTOMÁTICO DE SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE

Para el análisis de los tiempos de producción de la tapas y las platinas, se tomó como referencia los tiempos que se utilizaron para los procesos antes y después de construir la máquina.

En la Tabla 4.13 se muestra el cálculo de los costos del proceso total, basándose en los tiempos usados en el mismo de forma manual y de forma automática.

**Tabla 4. 13**

**Tabla comparativa de costo del proceso total de forma manual y automático**

Proceso:	TAPA		PLATINA	
	Manual	Automático	Manual	Automático
Tiempo (min)	0,0125	0,0050	0,0333	0,0100
Costo Hora/hombre	4,77	1,59	4,77	1,59
Costo Total (\$)	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>	<b>0,02</b>

Como se puede ver, en la Tabla anterior, los tiempos de demora en todo el proceso, tanto una tapa como una platina son óptimos usando la máquina automática, ahorrando tiempo y dinero.

La producción en Servitorno posee varios tipos de accesorios, cuyas partes deben ser armadas por varios componentes para formar un tipo de producto. Todos los accesorios poseen la tapa como parte fundamental para su armado final; en cambio las platinas son usadas solamente en tres tipos de accesorios, pero estos son los de mayor demanda, es por esto que el análisis que se realiza es basándose en el ahorro de tiempo de acabado multiplicado por el valor hora/hombre. (Tabla 4.14)

**Tabla 4. 14**

**Cálculo de valor ahorrado mensual**

	TAPA	PLATINA
Cantidad en 1 min	6	2
Cantidad en 4 horas	1440	480
Producción mensual	31680	10560
Valor ahorrado mensual	251,86	167,90
Valor ahorrado anual (\$)	<b>3022,272</b>	<b>2014,848</b>

#### 4.5.5 FINANCIAMIENTO

El financiamiento del diseño y construcción de una máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable para la empresa Servitorno fue cubierto al 100% por la empresa antes mencionada.

#### 4.6 ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

Para poder analizar la factibilidad del proyecto, se deben realizar cálculos financieros que nos ayudarán a realizar la evaluación económica.

##### 4.6.1 FLUJO DE CAJA

Se pretende incrementar la producción en un 15% anual, esto se refleja en el flujo de caja, que en este caso lo realizamos con proyección de cinco años, como se muestra en la Tabla 4.15.

**Tabla 4. 15**  
**Flujo de caja**

<b>FLUJO DE CAJA</b>						
<b>CONCEPTO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>INVERSIÓN</b>	6721,13					
<b>INGRESOS</b>						
PRODUCCIÓN TAPA	2073,60	2384,64	2742,34	3153,69	3626,74	
PRODUCCIÓN PLATINA	921,60	1059,84	1218,82	1401,64	1611,88	
<b>INGRESOS TOTALES</b>	<b>2995,20</b>	<b>3444,48</b>	<b>3961,15</b>	<b>4555,32</b>	<b>5238,62</b>	
<b>EGRESOS</b>						
CONSUMO ELECTRICO	25,88	29,76	34,23	39,36	45,27	
COSTOS MANTNIMIENTO	24,00	27,60	31,74	36,50	41,98	
<b>EGRESOS TOTALES</b>	<b>49,88</b>	<b>57,36</b>	<b>65,97</b>	<b>75,86</b>	<b>87,24</b>	
<b>FLUJO NETO</b>	6721,13	2945,32	3387,12	3895,18	4479,46	5151,38

#### 4.6.2 VALOR ACTUAL NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO

Los estudios de evaluación económica toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y son básicamente VAN y TIR. El VAN consiste en descontar o trasladar al presente todos los flujos futuros del proyecto, a una tasa de descuento igual a la TMAR, sumar todas las ganancias y restarlas a la inversión inicial en tiempo cero. Si el VAN es mayor que cero se aceptará la inversión, dado que un valor positivo significa ganar la TMAR más el valor positivo del resultado, en términos del valor del dinero en tiempo cero. Si el VAN es menor que cero significa que las ganancias del proyecto no son suficientes siquiera para ganar el TMAR y, por tanto, la inversión debe rechazarse. [32]

La fórmula para calcular el VAN es:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TMAR)^n} \quad \text{Ecuación 4. 1}$$

Donde:

VAN=valor actual neto

I=Inversión inicial del proyecto (\$)

$Q_n$ =flujo de caja del año n (\$)

N=número de años de la inversión (años)

TMAR=tasa mínima atractiva de rendimiento≈12,5% (%)

Para calcular el TIR, por definición, el VAN=0. Para aceptar la inversión el valor que se obtenga de la TIR debe ser mayor a la TMAR. Si la TIR es menor que la TMAR, la inversión se rechazará. El cálculo del TIR se lleva a cabo igualando la suma de los flujos descontados a la inversión. En la ecuación se usa como incógnita la  $i$ , que entonces es llamada TIR del proyecto. [32]

La fórmula para calcular el TIR es:

$$0 = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TMAR)^n} \quad \text{Ecuación 4. 2}$$

El VAN y TIR calculados se muestran en la Tabla 4.16.

**Tabla 4. 16**

**Valores de VAN Y TIR**

VAN	\$ 6.964,04
TIR	45,13%

El valor del VAN es mayor que cero, por tanto la inversión es rentable, es decir, las ganancias del proyecto son positivas.

El TIR del proyecto es mayor al TMAR lo que significa que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida.

#### 4.6.3 PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Para calcular el periodo de recuperación, se necesita previamente haber determinados los flujos futuros a valor presente neto. [33]

La fórmula para calcular el período de recuperación de la inversión se muestra a continuación:

$$PRI = a + \frac{b-c}{d} \quad \text{Ecuación 4. 3}$$

Donde:

a= año anterior inmediato a que se recupera la inversión

b= inversión inicial (\$)

c= suma de los flujos de efectivo anteriores (\$)

d= flujo neto del año en que se satisface la inversión (\$)

Primero se determina el VAN de una serie de flujos futuros descontados el TMAR del 12,50%, que de forma resumida se los presenta en la Tabla 4.17.

**Tabla 4. 17**  
**Flujos futuros**

Año	Flujo Neto	VAN	VAN Acumulado
0	6721,13	-	-
1	2945,32	2618,061	2618,061
2	3387,12	3010,770	5628,831
3	3895,18	3462,385	9091,216
4	4479,46	3981,743	13072,959
5	5151,38	4579,005	17651,964

Basándose en esta Tabla se reemplazan los valores en la ecuación 4.3, que resulta de la siguiente manera:

a=2 años

b=6721,13 (\$)

c=5628,831(\$)

d=3462,385 (\$)

$$PRI = 2 + \frac{6721,13 - 5628,831}{3462,385}$$

$$PRI = 2,315 \text{ (años)}$$

El período de recuperación de la inversión es de 2 años, tres meses y quince días, por tanto Servitorno tendrá de vuelta su inversión en un período menor a cinco años que es satisfactorio para el proyecto.

#### 4.6.4 RELACIÓN BENEFICIO-COSTO (B/C)

La relación Beneficio-Coste (B/C) compara de forma directa los beneficios y los costes. Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios descontados, traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costes también descontados.

Para una conclusión acerca de la viabilidad de un proyecto, bajo este enfoque, se debe tener en cuenta la comparación de la relación B/C hallada en comparación con 1, así se tiene lo siguiente:

$B/C > 1$  indica que los beneficios superan los costes, por consiguiente el proyecto debe ser considerado.

$B/C=1$  Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.

$B/C < 1$ , muestra que los costes son mayores que los beneficios, no se debe considerar. [34]

La fórmula del beneficio costo se muestra a continuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Flujo de caja acumulado}}{\text{Inversión inicial}} \quad \text{Ecuación 4. 4}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{17651,964}{6721,13}$$

$$\frac{B}{C} = 2,62$$

Este valor nos indica que los beneficios superan los costos, por consiguiente el proyecto es altamente considerable y la empresa Servitorno realizó una excelente inversión.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- 1 Con una velocidad de 11.78 m/s de la banda transportadora y a una altura de 10 mm de los sistemas de esmerilado y abrillantado se consiguió un acabado de alta calidad respecto al accesorio de vidrio templado (tapa).
- 2 Se obtuvo una superficie lisa reflectante de la platina con una velocidad de avance de la banda transportadora de 11.78 m/s y con una altura de 8 mm de los sistemas de esmerilado y abrillantado.
- 3 Con la velocidad de avance de 25Hz o 11.78 m/s y con un tiempo de 1.5 para la tapa y 36 seg. para la platina, el acabado mecánico superficial es reflectante.
- 4 Se redujo significativamente el costo hombre/máquina, siendo así la utilización de un solo operador a diferencia de los tres operadores que intervenían en todo el proceso de pulido.
- 5 De acuerdo a los cálculos realizados el VAN es de 6964.04 (\$) que es un valor mayor que cero, lo que significa que la inversión es rentable; es decir, las ganancias del proyecto son positivas.
- 6 El valor de la TIR es del 45.13% que es mayor al TMAR= 12.5%, lo que significa que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida; es decir, no solo se recupera la tasa mínima invertida sino que existe un porcentaje mayor de ganancias.
- 7 El objetivo inicial de este proyecto fue reducir el tiempo de producción de accesorios elaborados en Servitorno, lo cual se cumplió a cabalidad ya que se aumentó la producción en un 300%.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- 1 Para realizar el acabado superficial de otras superficies planas con un espesor mayor a 40 mm es necesario diseñar un tornillo de elevación para los sistemas de esmerilado y abrillantado con una longitud mayor a la construida.
- 2 Para que la tolerancia de rugosidad de la superficie plana de acero inoxidable sea menor a 0.5 micrones es necesario la implementación de un servomotor para el control exacto de los sistemas de elevación.
- 3 Para mayor seguridad y facilidad en la operación de la máquina es necesario diseñar e implementar un sistema de alineación de las bandas abrasivas, para que así las mismas no tiendan a desubicarse de su posición de trabajo.
- 4 Para que el sistema de pulido sea totalmente automático será necesario la implementación de un motor con las mismas características de los sistemas de esmerilado y pulido.
- 5 Para mejorar la calidad de acabado superficial con respecto a la proyectada, será preciso utilizar motores de mayor potencia en los sistemas de pulido y abrillantado, así también utilizar elementos abrasivos con características que estén de acuerdo a las velocidades de los nuevos motores instalados.
- 6 Para las futuras implementaciones en la máquina será indispensable utilizar elementos o equipos de la misma gama para las respectivas interacciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Cochrane, «Euroinox,» [En línea]. Available: [http://www.euroinox.org/pdf/build/Finishes02\\_SP.pdf](http://www.euroinox.org/pdf/build/Finishes02_SP.pdf). [Último acceso: 06 12 2014].
- [2] Euroinox, «Los acabados mecánicos de las superficies decorativas de acero inoxidable,» [En línea]. Available: [http://www.euroinox.org/pdf/map/MechanicalFinishing\\_SP.pdf](http://www.euroinox.org/pdf/map/MechanicalFinishing_SP.pdf). [Último acceso: 07 12 2014].
- [3] Galigrap, «Abrasivos y lija en rollo y bandas ERSTA,» [En línea]. Available: <http://www.galigrap.com/abrasivos.htm>. [Último acceso: 07 12 2014].
- [4] PFERD, «Herramientas de lijado, afinado y pulido,» *PFERD 204*, p. 108, 1997.
- [5] S.A., PFERD-Rüggeberg, «Pferd,» 1997. [En línea]. Available: [http://www.pferd.com/es-es/239\\_ESN\\_HTML.htm](http://www.pferd.com/es-es/239_ESN_HTML.htm). [Último acceso: 30 03 2015].
- [6] M. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, México; D.F.: Mcgrawhill/interamericana S.A. de C.V., 2007, p. 611.
- [7] S. y. S. S. KALPAKJIAN, Manufactura, ingeniería y tecnología, México; D.F.: Pearson Educación de México; D.F., S.A. de C.V., 2002.
- [8] Merino, «Ingeniería de Fabricación,» 2007.
- [9] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México; D.F.: Pearson Education, 2006.
- [10] R. G. B. y. J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México; D.F. : McGRAW-HILL, 2008.
- [11] Vulca-Cas S.L., «Bandas PVC,» [En línea]. Available: [http://www.vulcacas.com/Bandas\\_PVC.html](http://www.vulcacas.com/Bandas_PVC.html). [Último acceso: 12 05 2015].
- [12] «Bandas transportadoras,» [En línea]. Available: <http://www.solucionesindustriales.com.co/>. [Último acceso: 03 03 2015].
- [13] KDF, «SUPPORTI AUTOALLINEANTI,» [En línea]. Available: <http://www.rodalsa.net/wp-content/uploads/2011/05/kdf.pdf>. [Último acceso: 04 03 2015].
- [14] M. C. Rojas, «Metal Actual,» Piñones: Diente por diente y vuelta por vuelta, [En línea]. Available: <http://www.metalactual.com/revista/9/pinones.pdf>. [Último acceso: 27 febrero 2015].
- [15] Groover, «Fundamentos de Manufactura Moderna,» Raela Maes, 2007.

- [16] Siemens, «Siemens Logo,» [En línea]. Available: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/logo-software/Pages/Default.aspx>. [Último acceso: 14 Febrero 2015].
- [17] Electrocables, «Productos,» [En línea]. Available: <http://electrocable.com/webpages/productos.html>. [Último acceso: 14 Febrero 2015].
- [18] WEG, «MOTORES ELECTRICOS WEG,» [En línea]. Available: <http://www.weg.net/ec/Productos-y-Servicios/Motores-Elctricos/Norma-NEMA>. [Último acceso: 12 03 2015].
- [19] «Sensores inductivos,» [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/lonely113/sensores-inductivos-8801776>. [Último acceso: 25 05 2015].
- [20] Soluciones Técnicas Navarra SL, «Soltecnica.com,» [En línea]. Available: <http://www.soltecnica.com/doc/es-catalogo-de-encoder.pdf>. [Último acceso: 15 Febrero 2015].
- [21] ELTRA, «Encoder Incremental,» [En línea]. Available: <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderIncrementales.pdf>. [Último acceso: 28 05 2015].
- [22] SIEMENS, «LOGO! Modular Basic Variants,» [En línea]. Available: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/modular-basic-variants/Pages/Default.aspx>. [Último acceso: 15 03 2015].
- [23] F. S. Calvo, «Portal de Ingenieros Españoles,» [En línea]. Available: [http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf). [Último acceso: 18 Febrero 2015].
- [24] F. S. Calvo, «Variadores de frecuencia,» [En línea]. Available: [http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf). [Último acceso: 18 03 2015].
- [25] A. Andrade, «REDISEÑO PROCESO ENSACADO AGROINDUSTRIAL MOLINO SONORA AP S.,» [En línea]. Available: <http://prezi.com/wbj45yvnuvax/redisenoproceso-ensacado-agroindustrial-molino-sonora-ap-s/>. [Último acceso: 29 05 2015].
- [26] D. Industry, «Electrovalvulas Neumáticas,» [En línea]. Available: [http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/electrovalvula-neumatica-69837\\_2.html](http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/electrovalvula-neumatica-69837_2.html). [Último acceso: 10 04 2015].
- [27] N. Niche, «Cilindro simple efecto,» [En línea]. Available: <http://sitioniche.nichese.com/cilindros-simples.html>. [Último acceso: 20 04 2015].

- [28] G. E. Harper, *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*, México; D.F.: Limusa, 2004, pp. 331-333.
- [29] G. E. Harper, *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales*, vol. 2, México; D.F.: Limusa, 2003, p. 158.
- [30] Idavilaluceral, «es.scribd.com,» 28 10 2013. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/179491835/Guia-Encoder-pdf>. [Último acceso: 11 05 2015].
- [31] Hohner, «www.hohner.es,» 04 12 2013. [En línea]. Available: [http://www.encoderhohner.com/files//Descargas/overview\\_incrementales.pdf](http://www.encoderhohner.com/files//Descargas/overview_incrementales.pdf). [Último acceso: 11 05 2015].
- [32] G. Baca, *Evaluación de Proyectos*, México; D.F.: McDRAW-HILL/INTERAMERICANA, 2005, p. 229.
- [33] «Cálculo del período de recuperación,» 14 06 2015. [En línea]. Available: [http://conociendo.bligoo.ec/calculo-del-periodo-de-recuperacion#.VaXOzPI\\_Oko](http://conociendo.bligoo.ec/calculo-del-periodo-de-recuperacion#.VaXOzPI_Oko).
- [34] «Cálculo de la relación Beneficio Coste (B/C),» 05 07 2015. [En línea]. Available: <http://www.gestiopolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>.
- [35] D. COCHRANE, «Guía de acabados de acero inoxidable,» *Euro Inox*, p. 6, 2002.
- [36] B. BENOÎT VAN HECKE, «Los acabados mecánicos de las superficies decorativas de acero inoxidable,» *Euro Inox*, p. 9, 2006.
- [37] F. A. Merino, *Ingeniería de fabricación: Mecanizado por arranque de viruta*, España: Visión Net, 2005.
- [38] R. C. Vaughn, *Introducción a la ingeniería industrial*, España: Reverté S.A., 1988.
- [39] R. S. Monzó, *Automatismos industriales. Conceptos y procedimientos*, España: Nau Libres, 2000.
- [40] A. C. J. R. John Hyde, *Control electroneumático y electrónico*, Barcelona: Marcombo S.A., 1997.
- [41] J. M. Cembranos, *Instalaciones y Mantenimiento Electromecánico de Maquinaria y Conducción de Líneas. Automatismos Neumáticos e Hidráulicos*, Madrid: Thompson-Paraninfo S.A., 2002.
- [42] D. Cochrane, «Euroinox,» 23 05 2015. [En línea]. Available: [http://www.euroinox.org/pdf/build/Finishes02\\_SP.pdf](http://www.euroinox.org/pdf/build/Finishes02_SP.pdf). [Último acceso: 23 05 2015].
- [44] D. Cochrane. [En línea]. Available: [http://www.euroinox.org/pdf/build/Finishes02\\_SP.pdf](http://www.euroinox.org/pdf/build/Finishes02_SP.pdf). [Último acceso: 6 12 2014].
- [45] Mott, p. 188.

# **ANEXOS**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores Mercedes Silvana Valle Lalama y Edgar Benjamín Aquieta Tibán bajo mi supervisión.

---

**ING. OSCAR ARTEAGA**  
**DIRECTOR**

---

**ING. FREDDY SALAZAR**  
**CODIRECTOR**

---

**ING. KATYA TORRES**  
**DIRECTORA CARRERA**

---

**DR. RODRIGO VACA**  
**SECRETARIO ACADÉMICO**