

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Área Académica Ingeniería Mecatrónica**



**Diseño y simulación de un sistema mecatrónico para la automatización del  
proceso de electrodeposición en la empresa EMC Technology**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en  
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Randy Steven Céspedes Deliyore**

**Franklin Andrés Chaves Zúñiga**

**Cartago, Noviembre de 2014**

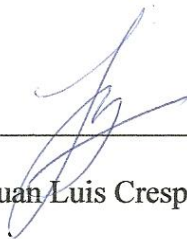
**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PROYECTO DE GRADUACIÓN  
TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiantes: Randy Steven Céspedes Deliyore  
Franklin Andrés Chaves Zúñiga

Nombre del Proyecto: Diseño y simulación de un sistema mecatrónico para la automatización del proceso de electrodeposición en la empresa EMC Technology.

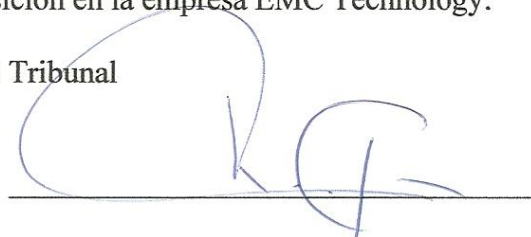
Miembros del Tribunal



---

Ing. Juan Luis Crespo Mariño

Profesor lector



---

Ing. Rafael Torres Navarro

Profesor lector



---

Ing. Carlos Adrián Salazar García

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Cartago, 14 de Noviembre de 2014

## **Declaración de Autenticidad**

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Noviembre de 2014



---

Franklin Andrés Chaves Zúñiga  
Cédula: 1-1476-0333

## **Declaración de Autenticidad**

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Noviembre de 2014



---

Randy Steven Céspedes Deliyore  
Cédula: 3-0463-0326

## Resumen

El proceso de electrodeposición o galvanoplastia es ampliamente utilizado en la empresa EMC Technology para la formación de recubrimientos protectores en componentes electrónicos. Actualmente, esta operación es ejecutada de forma totalmente manual durante 24 horas al día debido a lo lento que se torna y a las múltiples y minuciosas inspecciones que deben realizarse. En ocasiones, es necesario repetir los procedimientos gracias a que no se obtienen los resultados esperados.

Además, los operarios encargados de la galvanoplastia se ven expuestos a sustancias químicas peligrosas tales como ácido sulfúrico, níquel, plomo, estaño y tarniban. Estas pueden generar quemaduras, irritación de la piel, reacciones alérgicas, deshidratación y hasta cáncer al entrar en contacto con la piel o al inhalar sus vapores.

Es aquí donde EMC Technology, encuentra la necesidad de automatizar el proceso de la galvanoplastia, pues actualmente la eficiencia del proceso es baja y la seguridad y salud ocupacional de sus trabajadores se está viendo comprometida.

Se realiza entonces en este proyecto el diseño completo de un sistema mecatrónico que permita solucionar la problemática. Se diseña su estructura mecánica, se seleccionan y ubican sus sensores y actuadores, se hace un modelado de la máquina en tres dimensiones, se diseña su sistema de control e interfaz de usuario en LabView y se diseña su circuitería electrónica e interfaz de potencia. Finalmente se hacen las simulaciones que verifican el funcionamiento del sistema dejando todo listo para proceder a su implementación como una segunda etapa que se realizará fuera de este proyecto.

**Palabras clave:** galvanoplastia, electrodeposición, solución electrolítica, iones libres, medio conductor, ánodo, cátodo, mecatrónica, automatización, robot cartesiano, productividad, seguridad ocupacional, barril de electrodeposición.

## **Abstract**

Electroplating is widely used at EMC Technology to provide surface protection to electronic components. Today, this operation is manually executed and it covers 24 hours a day due to its low efficiency and because of the multiple and thorough inspections required. Besides, some of these procedures need to be repeated occasionally when the expected results are not obtained in the examinations.

In addition, electroplating operators are constantly exposed to hazardous chemicals such as sulfuric acid, nickel, lead, tin and tarniban. These may cause chemical burns, skin irritation, allergic reactions, dehydration and even cancer when in contact with skin or when inhaling their vapors.

This is where EMC Technology meets the necessity of an automated electroplating process. The current efficiency of the process is low and the workers' occupational safety and health is being compromised.

Thus, a mechatronic system offering a solution to the stated problem is completely designed on this project. Its mechanical structure is planned, sensors and actuators are properly selected and located within the system, a three dimensional model of the machine is developed, control systems and user interface are designed in LabView, electronic circuitry and power interface are also designed. Finally, computer simulations are used in order to verify system operation leaving everything ready for implementation to proceed as a second stage to be held out of this project.

**Key words:** electroplating, electrodeposition, electrolytic solution, free ions, conductive medium, anode, cathode, mechatronics, automation, cartesian robot, productivity, occupational safety, electroplating barrel.

## **Dedicatoria**

por Franklin Andrés Chaves Zúñiga

*Dedico este proyecto de graduación especialmente a mi madre Elizabeth Zúñiga y a mi padre Franklin Chaves por todo el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de todos estos años de estudio y por haberme inculcado desde niño los valores de la disciplina, la responsabilidad, el esfuerzo y la perseverancia que hoy me llevan a concluir exitosamente mis estudios universitarios y a alcanzar una meta más en mi vida. A ellos debo todo lo que soy como persona y todo lo que he logrado hasta hoy. Durante todos mis años en la academia, ellos han sido mis consejeros en los momentos difíciles, mis motivadores en los momentos de éxito y la guía que me mantiene siempre en la senda de la superación y el crecimiento personal.*

*A mi hermana Alexia Chaves por apoyarme también de manera incondicional, por compartir conmigo su experiencia, por brindarme su consejo y por estar siempre dispuesta a ayudar cuando lo necesitara.*

*A mis amigos de la universidad por permitirme compartir con ellos los mejores cinco años hasta hoy y un sin número de inolvidables experiencias. Les agradezco por la confianza depositada en mi persona y por la que me han permitido depositar en ustedes. Les deseo muchos triunfos y el mejor de los éxitos en los años venideros.*

## **Dedicatoria**

por Randy Steven Céspedes Deliyore

*Este proyecto es la culminación de mis años de estudio universitarios, los cuales no hubieran sido posibles sin el apoyo de Dios, mi familia y mis amigos. Deseo mencionar a mis padres, mi padre Luis Guillermo Céspedes Arce por todo su apoyo y más que un padre es un amigo, consejero y confidente, a mi madre Dully Deliyore Romero la cual fue un pilar en mi educación desde niño y siempre me ha brindado su amor incondicional aún en momentos de desesperación. También quisiera mencionar a Luis Durán Rivera el cual es una parte muy importante de mi familia que siempre me ha brindado su apoyo.*

*Quisiera mencionar a mi hermano Jaime Palermo Deliyore el cuál durante las primeras etapas de la universidad me brindo un hogar y se ha mantenido pendiente de mi avance a lo largo de toda mi carrera. A mi hermana Sue Helen por brindarme ayuda en momentos difíciles en los cuales he estado enfermo y ayudarme a aprender a mí vivir por mi cuenta. A mi hermano menor Aaron el cual siempre me ha mostrado cariño y un gran orgullo por mis éxitos.*

*A mi novia Cynthia Isabel Taylor Herrera la cual me ha apoyado y brindado su amor a lo largo de esta etapa, ha sido la que me ha ayudado a dar el último empujón con su amor y cariño, recordándome de lo que somos capaces cuando nos proponemos algo.*

*A mis amigos que se han convertido en parte de mi familia y me ha permitido crecer en todos los ámbitos de mi vida, tanto personalmente como profesional. Por brindar sus consejos en momentos de aflicción y estrés.*

*A mis compañeros del TEC-Team los cuales me ayudaron a crecer personal y profesionalmente al participar en el Solad Decathlon Europe 2014 en Francia, el cual ha sido uno de los acontecimientos más importantes de mi vida.*

*A Dios por ser mi más grande apoyo y guiarme a lo largo de estos 5 años de carrera universitaria y por no dejar nada al azar.*

*A todas estas personas agradezco de corazón y les deseo lo mejor en su vida ya que me ha permitido alcanzar grandes logros en la mía.*

## **Agradecimientos**

Agradecemos al Instituto Tecnológico de Costa Rica por servir durante cinco años como nuestra casa de estudios y por darnos la oportunidad de aportar desde hoy al crecimiento y al desarrollo científico y tecnológico de la sociedad costarricense.

Le damos gracias a la empresa EMC Technology y en especial al Ingeniero Erick Figueroa por permitirnos desarrollar nuestro proyecto de graduación en sus instalaciones aplicando nuestros conocimientos técnicos a la solución de un problema industrial real.

También damos gracias a los siguientes profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica: Ing. Carlos Adrián Salazar García, Ing. Juan Luis Crespo Mariño, Ing. Rafael Torres Navarro por servir de Tribunal Evaluador y apoyarnos durante el desarrollo de este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Exposición del problema existente .....	1
1.1.1 Generalidades del problema e importancia de su solución .....	2
1.1.2 Síntesis del problema .....	5
1.2 Enfoque de la solución .....	5
1.2.1 Requerimientos generales .....	5
1.2.2 Síntesis de la solución .....	6
Capítulo 2: Meta y objetivos .....	8
2.1 Meta .....	8
2.2 Objetivo general .....	8
2.3 Objetivos específicos .....	8
2.3.1 Objetivos de hardware .....	8
2.3.2 Objetivos de software .....	9
2.3.3 Objetivos de simulación .....	9
2.3.4 Objetivos de documentación .....	9
Capítulo 3: Marco teórico .....	10
3.1 El proceso de galvanoplastia .....	10
3.1.1 Descripción general .....	10
3.1.2 Galvanoplastia en EMC Technology .....	12
3.2 Métodos de automatización usados en la industria para galvanoplastia .....	17
3.3 Análisis de resistencia mecánica en el diseño del sistema .....	20
3.3.1 Cargas, esfuerzos y factor de seguridad .....	20
3.3.2 Deformación y deflexión de materiales .....	21
3.3.3 Vigas y perfiles metálicos .....	22
3.4 Actuadores y sistemas de accionamiento .....	24
3.4.1 Descripción y control del motor a pasos .....	24
3.4.2 Determinación del torque para un motor a pasos .....	28
3.4.3 Solenoides lineales .....	30
3.5 Métodos de sensado y monitoreo .....	31
3.5.1 Sensores inductivos .....	31
3.5.2 Sensores capacitivos .....	33
3.5.3 Final de carrera mecánico .....	34

Capítulo 4: Procedimiento metodológico .....	35
4.1 Reconocimiento y definición del problema .....	35
4.2 Obtención y análisis de información.....	36
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	37
4.4 Diseño y verificación de la solución.....	39
4.5 Reevaluación y rediseño .....	40
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución .....	41
5.1 Evaluación de soluciones y selección final.....	41
5.1.1 Definición de requerimientos del sistema.....	41
5.1.2 Definición de alternativas de diseño .....	43
5.1.3 Evaluación y selección de alternativas.....	44
5.1.4 Caracterización del sistema.....	47
5.2 Diseño mecánico y estructural .....	50
5.2.1 Ensamblaje y especificaciones mecánicas .....	50
5.2.2 Resistencia mecánica del eje X .....	55
5.2.3 Resistencia mecánica del eje Y .....	58
5.2.4 Resistencia mecánica del eje Z .....	60
5.2.5 Resistencia mecánica de la pinza robótica .....	62
5.2.6 Dimensionado de sistemas de accionamiento .....	67
5.3 Diseño electrónico y de control .....	71
5.3.1 Diseño de interfaz de potencia entre sensores y unidad de control .....	71
5.3.2 Diseño de interfaz de potencia entre unidad de control y actuadores .....	84
5.3.3 Diseño de circuito de control PIC18F4550.....	91
5.3.4 Selección de fuentes de alimentación.....	93
5.3.5 Programa de control en LabView ®.....	94
5.3.6 Programa de control en PIC18F4550 .....	96
5.3.7 Programa para lavado y extracción de burbujas .....	101
5.4 Cálculos estadísticos y de productividad.....	102
Capítulo 6: Análisis final de la solución .....	107
6.1 Beneficios de implementación.....	107
6.2 Limitaciones del sistema .....	109
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....	110
7.1 Conclusiones .....	110

7.2	Recomendaciones .....	112
Capítulo 8:	Bibliografía.....	114
Capítulo 9:	Apéndices y anexos.....	119
9.1	Apéndices .....	119
9.1.1	Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.....	119
9.1.2	Apéndice A.2 Planos mecánicos de piezas diseñadas.....	124
9.1.3	Apéndice A.3 Diagrama de flujo para la electrodeposición de plata.....	139
9.1.4	Apéndice A.4 Diagrama de flujo de la programación en LabView®.....	146
9.1.5	Apéndice A.5 Diagramas de flujo de la programación del PIC18F4550.....	151
9.1.6	Apéndice A.6 Muestras de tiempo del proceso de electrodeposición en EMC Technology.....	155
9.1.7	Apéndice A.7 Cálculos de productividad en EMC Technology.....	156
9.1.8	Apéndice A.8 Manual de usuario del software de control en LabView®...	160
9.2	Anexos.....	174
9.2.1	Anexo B.1 Módulo lineal MLR 10-80 de Bosch Rexroth [3].....	174
9.2.2	Anexo B.2 Módulo lineal OBB 55 de Bosch Rexroth [3].....	177
9.2.3	Anexo B.3 Pinza paralela MPLM de Gimatic [4].....	180
9.2.4	Anexo B.4 Perfil de aluminio MGE 13.0 80X80L de Bosch Rexroth [3].....	183
9.2.5	Anexo B.5 Motor a pasos Nema 34 de LAM Technologies [17]. .....	184
9.2.6	Anexo B.6 Motor a pasos Nema 23 de LAM Technologies [17]. .....	185
9.2.7	Anexo B.7 Cortina fotoeléctrica de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25]. .....	186
9.2.8	Anexo B.8 Accesorio de montaje para cortina Pepperl&Fuchs [25]. .....	187
9.2.9	Anexo B.9 Sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales [3].....	188
9.2.10	Anexo B.10 Diagrama de conexiones y características eléctricas de cortina fotoeléctrica de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25]. .....	189
9.2.11	Anexo B.11 Driver de motor a pasos STP-DVR-80100 [30] .....	192
9.2.12	Anexo B.12 Driver de motor a pasos STP-DVR-6575 [30] .....	196
9.2.13	Anexo B.13 Hoja de datos PIC18F4550 [20].....	198
9.2.14	Anexo B.14 Hoja de datos fuente de poder SE-1500 Series [31] .....	199
9.2.15	Anexo B.15 Hoja de Datos de fuente de alimentación LEB100F-0524 [31].....	202
9.2.16	Anexo B.16 Datos de corriente y duraciones para la electrodeposición de plata en EMC Technology.....	204

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Tanques para galvanoplastia sin uso en EMC Technology.....	2
<b>Figura 1.2</b>	Diagrama de bloques general del sistema mecatrónico diseñado. Elaborado en <i>Edraw Max 7.6</i> ®.....	6
<b>Figura 3.1</b>	Fenómeno de reducción-oxidación involucrado en el proceso de galvanoplastia [24]......	11
<b>Figura 3.2</b>	Módulo para galvanoplastia actualmente sin uso en EMC Technology.....	12
<b>Figura 3.3</b>	Encapsulados electrónicos listos para ser sometidos a galvanoplastia en EMC.	13
<b>Figura 3.4</b>	Barriles tipo 46 y tipo S de la marca Sterling Systems. ....	14
<b>Figura 3.5</b>	Esferas pequeñas de plata para propiciar el contacto eléctrico.....	15
<b>Figura 3.6</b>	Celdas electrolíticas en operación en EMC Technology. ....	15
<b>Figura 3.7</b>	Sistema de rotación de los barriles en EMC. ....	16
<b>Figura 3.8</b>	Maquinaria tipo pórtico para galvanoplastia en la industria [26]. ....	18
<b>Figura 3.9</b>	Línea de galvanoplastia con estructuras en voladizo [26]. ....	18
<b>Figura 3.10</b>	Automatismo tipo puente-grúa con 3 grados de libertad [11]. ....	19
<b>Figura 3.11</b>	Componentes del esfuerzo en una unidad de superficie [4]......	21
<b>Figura 3.12</b>	Diagrama esfuerzo-deformación de un material [16]......	22
<b>Figura 3.13</b>	Distribución del esfuerzo en el interior de una viga o perfil sometido a una carga [11]......	23
<b>Figura 3.14</b>	Momento flector y deformación en una viga con una carga concentrada en el centro [33]. ....	24
<b>Figura 3.15</b>	Principio de funcionamiento de un motor a pasos [32]......	25
<b>Figura 3.16</b>	Motor a pasos bipolar y unipolar [32]. ....	26
<b>Figura 3.17</b>	Funcionamiento de un puente H [19]. ....	27
<b>Figura 3.18</b>	Circuito de control de motor a pasos bipolar con L298 [13]......	27
<b>Figura 3.19</b>	Torque en función de la velocidad para un motor a pasos energizado con 24V y 36V [22]......	29
<b>Figura 3.20</b>	Campo magnético en un solenoide [9]......	30
<b>Figura 3.21</b>	Partes internas de un sensor inductivo [14]. ....	31
<b>Figura 3.22</b>	Funcionamiento de un sensor inductivo [34]......	32
<b>Figura 3.23</b>	Conexión de un sensor inductivo PNP y NPN [34]......	33
<b>Figura 3.24</b>	Funcionamiento de un sensor capacitivo [5]. ....	34
<b>Figura 3.25</b>	Vista interior de un sensor de final de carrera mecánico [21]......	34
<b>Figura 4.1</b>	Procedimiento seguido para el reconocimiento y la definición del problema. ....	35
<b>Figura 4.2</b>	Procedimiento seguido para la obtención y análisis de la información. ....	36

<b>Figura 4.3</b>	Secuencia de pasos seguidos para llegar a la síntesis de una solución. ....	38
<b>Figura 5.1</b>	Robot cartesiano diseñado para la automatización de la galvanoplastia.....	48
<b>Figura 5.2</b>	Convención de ejes y signos para el robot cartesiano. ....	50
<b>Figura 5.3</b>	Ensamblaje del eje X con el soporte estructural. ....	51
<b>Figura 5.4</b>	Ensamblaje del eje Y con el eje X.....	52
<b>Figura 5.5</b>	Ensamblaje del eje Z con el eje Y.....	53
<b>Figura 5.6</b>	Ensamblaje de la pinza robótica con el eje Z.....	54
<b>Figura 5.7</b>	Deflexión máxima en el módulo del eje X [3]. ....	55
<b>Figura 5.8</b>	Cálculo de deflexión $f$ en el eje X a partir de la fuerza $F$ y la longitud $L$ [3].....	56
<b>Figura 5.9</b>	Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del MLR 10-80 [3]......	57
<b>Figura 5.10</b>	Cálculo de deflexión $f$ en el eje Y a partir de la fuerza $F$ y la longitud $L$ [3].....	59
<b>Figura 5.11</b>	Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del OBB 55 [3]......	60
<b>Figura 5.12</b>	Vista de sección del sistema de rotación de la pinza robot. ....	62
<b>Figura 5.13</b>	a) Desplazamientos resultantes (mm) en el acople de la pinza; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para el acople de la pinza. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®. ....	64
<b>Figura 5.14</b>	a) Desplazamientos resultantes (mm) en el tornillo de soporte; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para el tornillo de soporte. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®.....	65
<b>Figura 5.15</b>	a) Desplazamientos resultantes (mm) en el soporte de la pinza; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para el soporte de la pinza. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®.....	65
<b>Figura 5.16</b>	a) Desplazamientos resultantes (mm) en la pinza del robot; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para la pinza del robot. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®.....	66
<b>Figura 5.17</b>	Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje X [17]. ....	68
<b>Figura 5.18</b>	Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Y [17]. ....	69
<b>Figura 5.19</b>	Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Z [17]. ....	69
<b>Figura 5.20</b>	Curva torque-velocidad del motor a pasos para la rotación del barril [17]. ....	70
<b>Figura 5.21</b>	Ubicación de sensores de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®. ....	71
<b>Figura 5.22</b>	Características del sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales [3].....	72
<b>Figura 5.23</b>	Salida tipo PNP del sensor de proximidad de los módulos lineales usados [7].	73
<b>Figura 5.24</b>	Circuito de potencia de sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en <i>Proteus ISIS 8</i> ®.....	74
<b>Figura 5.25</b>	Circuito Impreso de potencia del sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en <i>Proteus ARES 8</i> ®. ....	75

<b>Figura 5.26</b>	Cálculo del grosor de las líneas de la PCB de los sensores de posición [29]...	76
<b>Figura 5.27</b>	Ubicación del sensor de proximidad IMA012-06BE3ZC0K usado para determinar la posición del barril. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®.....	77
<b>Figura 5.28</b>	Circuito de potencia del sensor de proximidad IMA012-06BE3ZC0K usado para determinar la posición del barril. Elaborado en <i>Proteus ISIS 8</i> ®.....	78
<b>Figura 5.29</b>	Circuito impreso de potencia para el sensor de proximidad IMA012-06BE3ZC0K utilizado para determinar la posición del barril. Elaborado en <i>Proteus ARES 8</i> ®.....	79
<b>Figura 5.30</b>	Ubicación de cortinas fotoeléctricas de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs. ....	80
<b>Figura 5.31</b>	Conexiones del transmisor de la cortina de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25].....	80
<b>Figura 5.32</b>	Conexiones del receptor de la cortina de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25]. .....	81
<b>Figura 5.33</b>	Circuito de potencia de los sensores de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs.....	82
<b>Figura 5.34</b>	Circuito Impreso de potencia para los sensores de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs. Elaborado en <i>Proteus ARES 8</i> ®. ....	83
<b>Figura 5.35</b>	Driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30]. ....	85
<b>Figura 5.36</b>	Conexiones eléctricas de driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30]. ....	85
<b>Figura 5.37</b>	Detalle de señales de control del driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].....	86
<b>Figura 5.38</b>	Detalle de conexión de motores en serie o paralelo en el driver STP-DRV-80100 [30].....	87
<b>Figura 5.39</b>	Driver STP-DRV-6575 para motor a pasos [30]. ....	88
<b>Figura 5.40</b>	Detalles de señales de control del driver STP-DRV-6575 para motor a pasos [30].....	89
<b>Figura 5.41</b>	Circuito de potencia de electroválvula de lavado y pinza robótica.....	90
<b>Figura 5.42</b>	Circuito Impreso de potencia para la electroválvula y la pinza robótica.....	90
<b>Figura 5.43</b>	Circuito de control de módulo de galvanoplastia. Elaborado en <i>Proteus ISIS 8</i> ®. .....	91
<b>Figura 5.44</b>	Circuito impreso de unidad de control con PIC18F4550. Elaborado en <i>Proteus ARES</i> ®.....	92
<b>Figura 5.45</b>	Menú principal de la interfaz de usuario del sistema de control. ....	94
<b>Figura 5.46</b>	Interfaz de usuario del sistema de control. Elaborado en <i>LabView 2012</i> ®.....	95
<b>Figura 5.47</b>	Distancias en X e Y entre tanques en mm. Elaborado en <i>SolidWorks 2013</i> ®.	98
<b>Figura 5.48</b>	Detalle del perfil de aceleración de un motor a pasos [27]. ....	100
<b>Figura 5.49</b>	Movimiento en Z requerido antes del lavado.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Sustancias químicas peligrosas en el proceso de la galvanoplastia y sus efectos en la salud.....	3
<b>Tabla 3.1</b> Secuencia de excitación de paso completo para bobinas de un motor a pasos bipolar. ....	28
<b>Tabla 5.1</b> Definición de requerimientos del sistema. ....	41
<b>Tabla 5.2</b> Definición de alternativas de diseño. ....	43
<b>Tabla 5.3</b> Evaluación y selección de alternativas de diseño.....	45
<b>Tabla 5.4</b> Parámetros máximos permisibles para el módulo MLR 10-80.....	57
<b>Tabla 5.5</b> Parámetros máximos permisibles para el módulo OBB 55. ....	61
<b>Tabla 5.6</b> Resumen de resultados de cálculos dinámicos y requerimientos de movilidad. ..	67
<b>Tabla 5.7</b> Resumen de actuadores y señales a adaptar para la etapa de potencia entre actuadores y el control. ....	84
<b>Tabla 5.8</b> Resumen de potencias requeridas para la fuente de alimentación.....	93
<b>Tabla 5.9</b> Resumen de fuentes de alimentación escogidas.....	93
<b>Tabla 5.10</b> Correspondencia entre movimiento lineal de los ejes y movimiento rotacional de los motores.....	98
<b>Tabla 5.11</b> Resumen de resultados de SPS_timer_register del PIC18F4550 con un timer de 4 MHz.....	99
<b>Tabla 5.12</b> Resumen de valores SPS y aceleración angular deseada en los motores..	100
<b>Tabla 5.13</b> Datos de duración para la electrodeposición del producto SMT252503ALN2F en EMC Technology.....	102
<b>Tabla 5.14</b> Duración del proceso de electrodeposición para lotes tipo SMT252503ALN2F. ....	103
<b>Tabla 5.15</b> Resultado de análisis estadístico de la muestra de tiempos del proceso de electrodeposición en EMC Technology. ....	104
<b>Tabla 5.16</b> Comparación entre duraciones reales y teóricas para otros tipos de producto en EMC Technology.....	105

## Capítulo 1: Introducción

En este primer capítulo, se expone al lector las generalidades de la problemática existente en la empresa EMC Technology y la importancia de su solución. Se describen además, las principales características del proceso de galvanoplastia y sus implicaciones en la salud y la seguridad ocupacional de los operarios, quienes actualmente ejecutan dicho proceso de forma totalmente manual. También se presenta un panorama general de la forma en la que se propone solucionar esta problemática y del porqué el diseño de sistemas mecatrónicos ofrece una alternativa de solución versátil, ágil y eficiente en este caso.

### 1.1 Exposición del problema existente

El trabajo que se presenta, fue desarrollado en el contexto de la empresa EMC Technology, reconocida internacionalmente como líder en la manufactura de componentes electrónicos para la industria de radiofrecuencia y telecomunicaciones. La compañía, se encarga también del desarrollo de productos para distribución de señales y cableado de alto rendimiento. Además, actúa como importante proveedor para la industria inalámbrica, aeroespacial, médica y militar internacional.

La problemática a solucionar, se ubica específicamente en el proceso de electrodeposición también conocido como galvanoplastia (*electroplating* en inglés) de componentes electrónicos. El mismo, consiste en un tratamiento de superficies en el que se utiliza corriente eléctrica fluyendo en una sustancia electrolítica para provocar la deposición de los iones libres sobre los objetos metálicos tratados. De esta forma, se consigue la formación de un delgado recubrimiento metálico, que protege los componentes contra la corrosión y el desgaste. Durante la operación, se lleva a cabo una secuencia repetitiva de lavados, en los que un barril que contiene los componentes es primeramente sumergido en una serie de pilas con *oakite*, ácido sulfúrico y agua antes de someterlo a la electrodeposición en las soluciones electrolíticas. En la figura

1.1, se muestra un grupo de tanques de galvanoplastia que se encuentra sin uso en la empresa EMC Technology.



**Figura 1.1** Tanques para galvanoplastia sin uso en EMC Technology.

### **1.1.1 Generalidades del problema e importancia de su solución**

Actualmente, la galvanoplastia en la empresa se lleva a cabo de forma totalmente manual. Al verse involucrada la manipulación humana, las condiciones o variables del procedimiento, tales como tiempos y secuencia, no se mantienen estrictamente constantes de un lote a otro y el error humano tiene su efecto en los resultados. Lo anterior, obliga a los operarios a hacer múltiples pausas en medio proceso para monitorear los resultados de cada subetapa y medir los espesores de los recubrimientos obtenidos. Cuando los resultados de estas inspecciones no cumplen con los valores esperados, los operarios están en la obligación de repetir uno o más pasos del procedimiento para después volver a verificar si se han alcanzado los espesores requeridos de recubrimiento. En consecuencia, la operación de la galvanoplastia se ha tornado considerablemente lenta, y se requiere mantenerla activa durante 24 horas al día y 7 días a la semana.

Otro de los problemas que se derivan de la ejecución manual de la electrodeposición, es la afectación a la seguridad y a la salud ocupacional de los trabajadores. Los operarios de la galvanoplastia, sumergen los barriles con los componentes en pilas que contienen sustancias químicas tóxicas, corrosivas e irritantes tales como el ácido sulfúrico, níquel, plomo, estaño, tarniban, entre otros. La exposición constante, a cada uno de estos químicos y soluciones electrolíticas, tiene diferentes efectos en la salud de los trabajadores. En la tabla 1.1 se especifican los riesgos a los que se exponen los trabajadores según el químico con el que entren en contacto y las formas de exposición correspondientes.

**Tabla 1.1** Sustancias químicas peligrosas en el proceso de la galvanoplastia y sus efectos en la salud.

	<b>Efectos en la salud</b>	<b>Vía de ingreso al cuerpo</b>
<b>Oakite</b>	Quemaduras e irritación en piel y ojos.	Absorción a través de la piel, inhalación de vapores.
<b>Níquel</b>	Reacciones alérgicas, salpullido en la piel, dermatitis. La exposición prolongada y frecuente puede producir ataques de asma, cáncer de pulmón y senos nasales y bronquitis crónica.	Absorción a través de la piel, inhalación de vapores.
<b>Cobre</b>	Irritación de nariz, boca y ojos, dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea.	Inhalación de partículas en aire, ingesta de agua o alimentos contaminados.
<b>Ácido sulfúrico</b>	Irritación y quemaduras de piel, ojos y vías respiratorias.	Inhalación de vapores y contacto con la piel.
<b>Plata</b>	Contacto cutáneo provoca alergia, salpullido, inflamación. En concentraciones altas provoca irritación de pulmones, garganta y dolor de estómago.	Inhalación de partículas en el aire, absorción a través de la piel, ingesta de agua y alimentos contaminados.

Continuación de la tabla 1.1.

<b>Estaño</b>	Irritación de piel, ojos y vías respiratorias, efectos gastrointestinales y problemas neurológicos.	Ingesta de alimentos o agua contaminada, inhalación de partículas en el aire.
<b>Plomo</b>	Afectación al sistema nervioso, debilidad de dedos, muñecas y tobillos, anemia. Niveles altos pueden producir daños en el cerebro y riñones.	Ingesta de agua o alimentos contaminados, inhalación de partículas en el aire.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [1].

Tal y como se detalla en la tabla 1.1, las formas de ingreso de estas sustancias químicas al cuerpo son variadas y van desde la absorción a través de la piel hasta la inhalación de gases nocivos.

En síntesis, la problemática de este proyecto, radica en encontrar la mejor forma de desarrollar un sistema mecatrónico que venga a mejorar la eficiencia global de la galvanoplastia y que permita reducir la exposición del operario a agentes químicos nocivos. Se ha identificado que la ejecución manual de dicha operación, trae consigo problemas de error humano y a su vez compromete la seguridad y salud ocupacional en el recinto. Además, las condiciones cambiantes de variables tan importantes como los tiempos en este procedimiento, repercuten en la calidad final de los recubrimientos, y obligan en ocasiones, a repetir subetapas previas. Todo lo anterior, afecta hoy la productividad de la electrodeposición en EMC Technology, y exige encontrar una solución urgente.

Con un equipo como el propuesto en este proyecto, se estaría reduciendo considerablemente la exposición del trabajador a los riesgos ya citados. Se espera también, que su implementación, traiga consigo mejoras en la productividad de la galvanoplastia y en la calidad final de los recubrimientos.

### **1.1.2 Síntesis del problema**

¿De qué forma se podría automatizar la electrodeposición en la empresa EMC Technology mejorando la productividad de la operación y disminuyendo la exposición del personal a sustancias químicas peligrosas?

## **1.2 Enfoque de la solución**

### **1.2.1 Requerimientos generales**

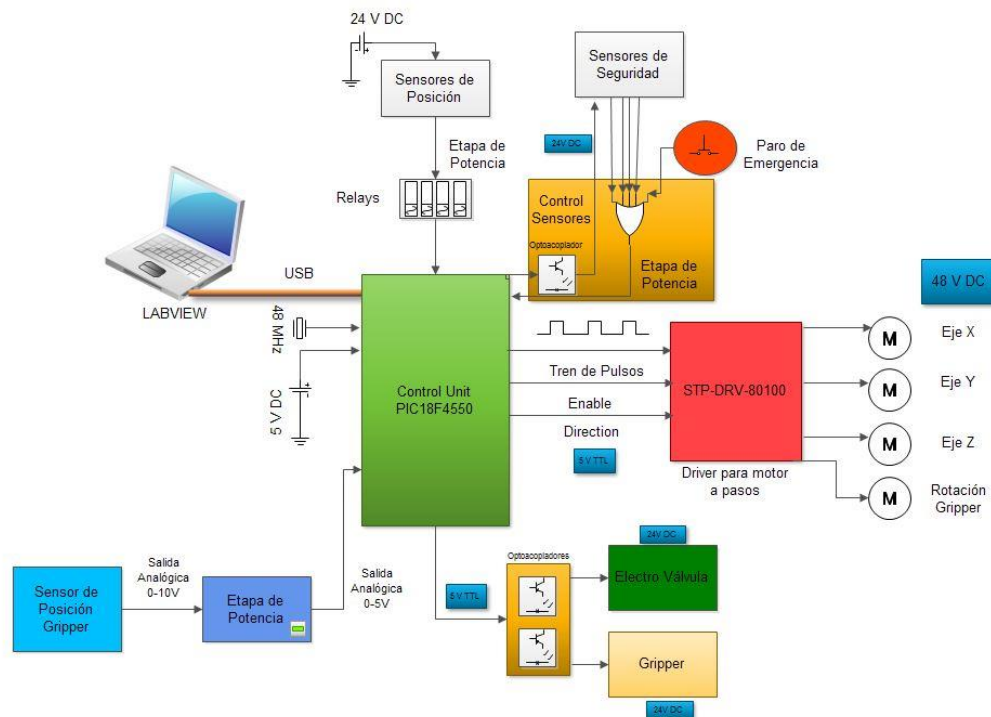
Como requerimiento general, en este proyecto se debe elaborar el diseño completo de un sistema automatizado, que se encargue de ejecutar eficientemente toda la secuencia de pasos requeridos en la electrodeposición de EMC Technology. El diseño ideado, debe ser tal que describa una solución versátil y ajustable a diferentes escenarios de operación. Lo anterior implica, que tanto el orden de las etapas como los tiempos de estas, deben ser configurables por el usuario.

El sistema propuesto debe tener movilidad sobre todas las pilas de la mesa de galvanoplastia, y debe ser capaz de sumergir y levantar el tambor con los componentes electrónicos siguiendo una secuencia preprogramada. Se debe mantener un control estricto de la duración de cada subproceso de tal forma que el resultado final no presente variaciones de un lote a otro. También se requiere, que el equipo integre un método de enjuague automático de los barriles, de tal forma que se evite la mezcla y contaminación de sustancias entre tanques. Además, cuando un tanque es sumergido en una solución electrolítica, se debe realizar un golpeteo del mismo, con el fin de extraer burbujas indeseables en el interior del barril. Finalmente, es necesario que el sistema maneje simultáneamente 3 o 4 barriles de galvanoplastia, manteniendo siempre el desfase necesario entre sus secuencias.

## 1.2.2 Síntesis de la solución

Para cumplir con los requerimientos anteriores, se diseñó en este proyecto un robot cartesiano. El mismo, tiene movilidad en 3 ejes de coordenadas que le permiten posicionar el punto de trabajo en posiciones predefinidas. Además, cuenta con 2 grados de libertad adicionales con los que puede girar el barril y sujetarlo respectivamente.

En la figura 1.2, se muestra un diagrama de bloques en el cual se explica, de forma general, la interconexión entre todos los componentes del sistema y la forma en la que estos intercambian información entre sí.



**Figura 1.2** Diagrama de bloques general del sistema mecatrónico diseñado.

Elaborado en *Edraw Max 7.6*®

Tal y como lo muestra la figura 1.2, la unidad de control del robot será un microcontrolador PIC 18F4550. El mismo se comunicará con todos los sensores y actuadores del sistema y será el encargado de administrar las señales.

Para el movimiento del robot, se utilizarán motores a pasos alimentados a 48 V, los cuales permitirán mantener un control preciso del posicionamiento. La ubicación inicial del sistema, se determina utilizando sensores inductivos en los finales de carrera de los ejes. A partir de aquí, se mantiene un control a lazo abierto de la posición, valiéndose de la ventaja que ofrecen los motores a pasos, de conocer siempre la posición de su eje, sin necesidad de usar sensores adicionales.

Para el lavado automático, se utiliza una electroválvula, que habilita el paso de agua a un arreglo de tubos en PVC (policloruro de vinilo) de 3/4 de pulgada. Dichos tubos, tendrán agujeros que podrán dirigirse al barril para rociarlo y enjuagarlo cuando este salga de una solución electrolítica. El barril se sujeta utilizando una pinza robótica operada con corriente directa. Esta pinza, tendrá solo dos posiciones posibles: abierta y cerrada.

Finalmente, para mantener la seguridad del operario, se utilizarán botones de paro de emergencia y se rodeará al sistema con cuatro pares de cortinas fotoeléctricas de seguridad. Cuando alguna de estas cortinas, detecte una invasión del espacio de trabajo del robot, la operación se interrumpirá de forma inmediata.

## **Capítulo 2: Meta y objetivos**

### **2.1 Meta**

Automatizar el proceso de electrodeposición en la empresa EMC Technology mediante la implementación de un sistema mecatrónico.

### **2.2 Objetivo general**

Diseñar un sistema que permita automatizar la electrodeposición en la empresa EMC Technology y que contribuya a mejorar la productividad actual del proceso y la seguridad ocupacional de los operarios.

### **2.3 Objetivos específicos**

#### **2.3.1 Objetivos de hardware**

1. Diseñar la estructura mecánica del sistema mecatrónico y verificar la resistencia de las distintas partes componentes.
2. Diseñar los sistemas de acople, ajustes y soportes mecánicos de componentes.
3. Seleccionar los materiales de construcción más apropiados de acuerdo a los requerimientos.
4. Seleccionar y ubicar apropiadamente los sensores y métodos de monitoreo del sistema.
5. Seleccionar y ubicar apropiadamente los actuadores que darán movilidad al sistema mecatrónico.
6. Diseñar el circuito de control que permitirá programar las rutinas y operar el equipo.
7. Diseñar la interfaz de potencia para operar sensores y actuadores.
8. Diseñar las tarjetas de circuito impreso que se requieran para la implementación de los circuitos.
9. Planear la instalación eléctrica en el equipo.

### **2.3.2 Objetivos de software**

1. Describir la lógica del proceso mediante diagramas de flujo.
2. Programar las subrutinas predeterminadas que permitan alcanzar cada tanque de galvanoplastia.
3. Programar las subrutinas de inmersión y extracción de los barriles en los tanques.
4. Programar una subrutina de extracción de burbujas del barril de galvanoplastia.
5. Programar una subrutina de enjuague automático del barril cuando este salga de una solución electrolítica.
6. Programar un algoritmo para guardar rutinas de operación definidas por el usuario.
7. Desarrollar una interfaz de usuario amigable y de fácil utilización.

### **2.3.3 Objetivos de simulación**

1. Elaborar un modelo tridimensional de los componentes y ensamble de la máquina con CAD.
2. Simular todos los subsistemas electrónicos y verificar su funcionamiento.
3. Hacer una simulación de la cinemática del mecanismo y del funcionamiento del sistema de control.
4. Obtener vistas renderizadas de las distintas partes de la máquina y de los subsistemas electrónicos.

### **2.3.4 Objetivos de documentación**

1. Obtener los planos de construcción para todas las partes de la máquina.
2. Desarrollar un circuito esquemático de todo el sistema.
3. Elaborar un manual de usuario que sirva de guía para la operación del equipo y la programación de nuevas rutinas.

## **Capítulo 3: Marco teórico**

### **3.1 El proceso de galvanoplastia**

#### **3.1.1 Descripción general**

La galvanoplastia o electrodeposición, es un procedimiento electroquímico que permite la formación de recubrimientos metálicos sobre componentes o piezas con propiedades conductoras. Consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un electrolito (sustancia con iones libres), entre dos electrodos conductores denominados ánodo y cátodo. Implica la reducción (disminución del estado de oxidación) del compuesto metálico disuelto en el agua y una deposición del metal resultante sobre la superficie del cátodo [6].

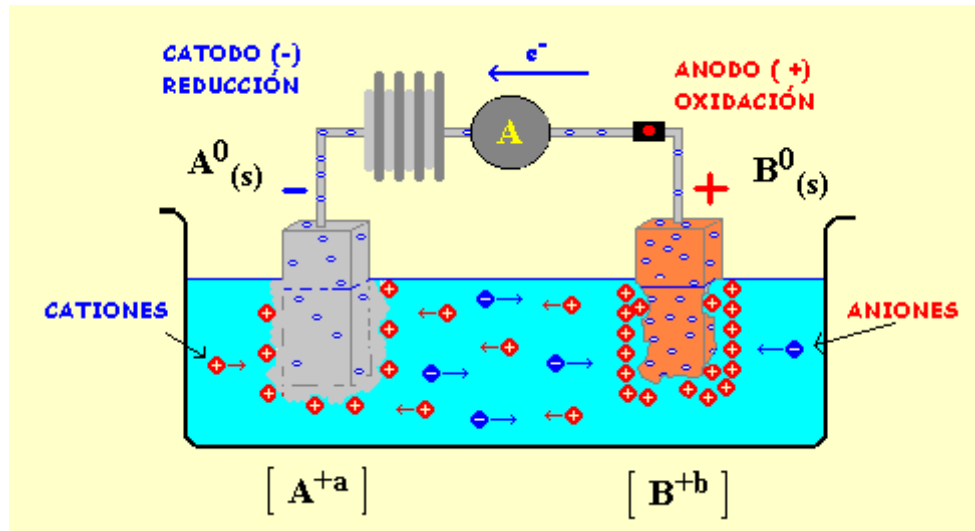
El principal fenómeno electroquímico involucrado en la galvanoplastia, es la electrólisis. La electrólisis, es un evento que consiste en la disociación o separación de los elementos de un compuesto mediante electricidad [14].

Generalmente, la electrodeposición se lleva a cabo en una serie de tanques llamados cubas o celdas electrolíticas, usualmente hechas de materiales aislantes y resistentes a los químicos con los que entra en contacto. Tal y como su nombre lo indica, estas celdas contienen una sustancia electrolítica en la cual se sumergen los electrodos. Uno de ellos, se conecta al terminal positivo del circuito y recibe el nombre de ánodo, el otro se conecta al terminal negativo, y recibe el nombre de cátodo [24].

Los electrodos en la galvanoplastia, pueden ser inertes o activos. Un electrodo inerte, es aquel que no participa en la reacción química sino que solo sirve como conductor de electrones. Por otro lado, los electrodos activos, son aquellos que sí participan de la reacción liberando iones en la solución electrolítica, razón por la cual también son conocidos como electrodos consumibles [6].

Al aplicar una corriente eléctrica, se inicia una reacción no espontánea en la que el ánodo desprende iones positivos (cationes) los cuales son atraídos por la carga

negativa en el cátodo. Estos cationes, se depositan luego sobre el cátodo generando un recubrimiento en su superficie. La reacción que ocurre en el ánodo se conoce como oxidación y la que ocurre en el cátodo como reducción [24]. En la figura 3.1, se explica gráficamente el fenómeno de reducción-oxidación antes explicado.



**Figura 3.1** Fenómeno de reducción-oxidación involucrado en el proceso de galvanoplastia [24].

Como se muestra en la figura 3.1, los cationes liberados por el ánodo consumible, son atraídos hacia el cátodo y forman un recubrimiento sobre este. Cuando una pieza metálica o con propiedades conductoras toma el papel del cátodo, el recubrimiento superficial se genera sobre ella. En los casos en los que se trabajan piezas pequeñas como tornillos, pernos, tuercas o componentes electrónicos, estas se colocan en barriles mezcladores con el cátodo en su interior para propiciar el contacto eléctrico.

El proceso de galvanoplastia permite obtener propiedades y características deseables de materiales costosos, en materiales más económicos. A nivel industrial, se utiliza para proteger a los metales contra la corrosión o el desgaste, y para hacer recubrimientos ornamentales de oro, plata, rodio y níquel en joyería [35].

### 3.1.2 Galvanoplastia en EMC Technology

En EMC Technology, se utiliza el proceso de galvanoplastia para generar recubrimientos metálicos sobre pequeños encapsulados electrónicos, con el fin de proveerlos de protección contra la corrosión y el deterioro.

El procedimiento, se lleva a cabo en una serie de módulos que constan de varias pilas y celdas electrolíticas. En ellas, se colocan los electrolitos, ácidos para la limpieza y activación química de las partes y agua para hacer enjuagues antes y después de la electrodeposición. Cada uno de los módulos, cuenta con un panel de control en el cual se configuran los parámetros de corriente y voltaje aplicados a las celdas.

En la empresa, se llevan a cabo procesos de galvanoplastia de plata y estaño-plomo. De los tres módulos disponibles, únicamente dos operan, y el otro se encuentra inactivo. En la figura 3.2, se muestra el módulo que se encuentra sin uso actualmente.



**Figura 3.2** Módulo para galvanoplastia actualmente sin uso en EMC Technology.

El módulo de la figura 3.2, cuenta con siete celdas electrolíticas, seis pilas para agua y dos más para ácidos de activación.

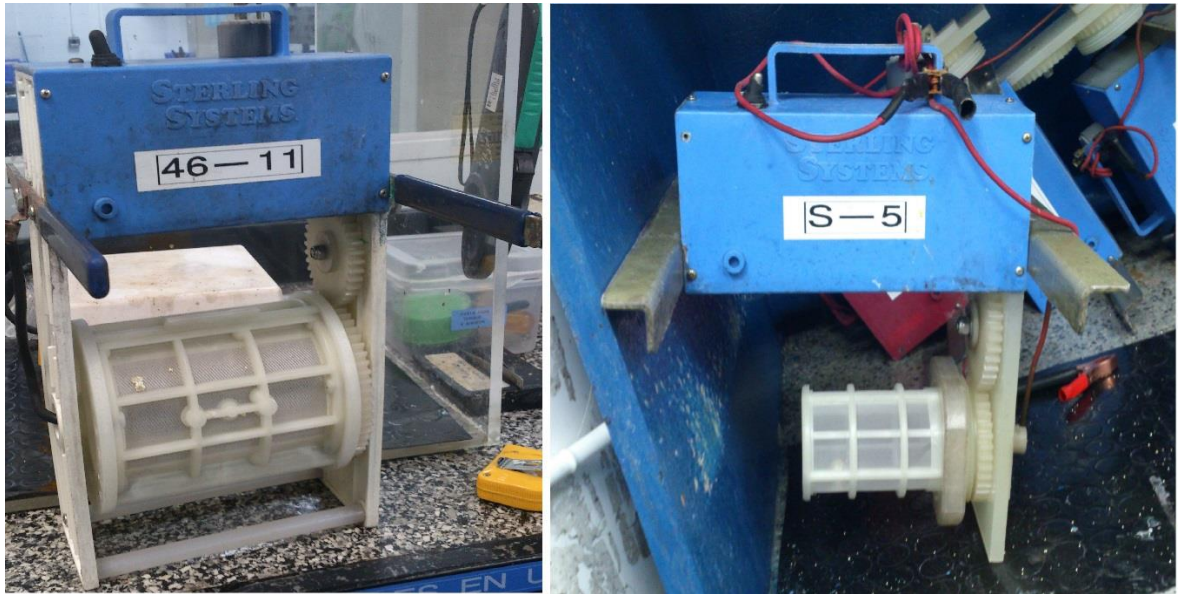
Los productos tratados mediante electrodeposición, son principalmente atenuadores, resistencias y terminaciones electrónicas de diferentes tipos y tamaños [9]. En la figura 3.3, se ilustra uno de estos tipos. Los parámetros tales como el tiempo y la corriente aplicada durante el tratamiento, son definidos dependiendo del tamaño de las piezas y de la cantidad de unidades por lote.



**Figura 3.3** Encapsulados electrónicos listos para ser sometidos a galvanoplastia en EMC.

Los componentes mostrados en la figura 3.3 son microchips de montaje superficial, utilizados en sistemas de radiofrecuencia y telecomunicaciones [9].

Para el tratamiento de los encapsulados anteriores, se utilizan en la empresa una serie de barriles mezcladores de cedazo que se sumergen en las celdas electrolíticas. Se manejan únicamente dos tipos de barril: el tipo 46 y el tipo S de la marca Sterling Systems. La diferencia principal entre ellos, tal y como se aprecia en la figura 3.4, es su tamaño.



**Figura 3.4** Barriles tipo 46 y tipo S de la marca Sterling Systems.

Se puede observar en la figura 3.4, que los barriles cuentan con dos platinas largas ubicadas de forma horizontal. Dichas platinas cumplen dos funciones: servir de contacto eléctrico (cátodos) y servir como soporte. Parte de la platina se cubre con un aislante ya que su punto de apoyo en la celda es el ánodo del sistema. Con esto, se previene que al apoyar el barril se produzca un corto circuito.

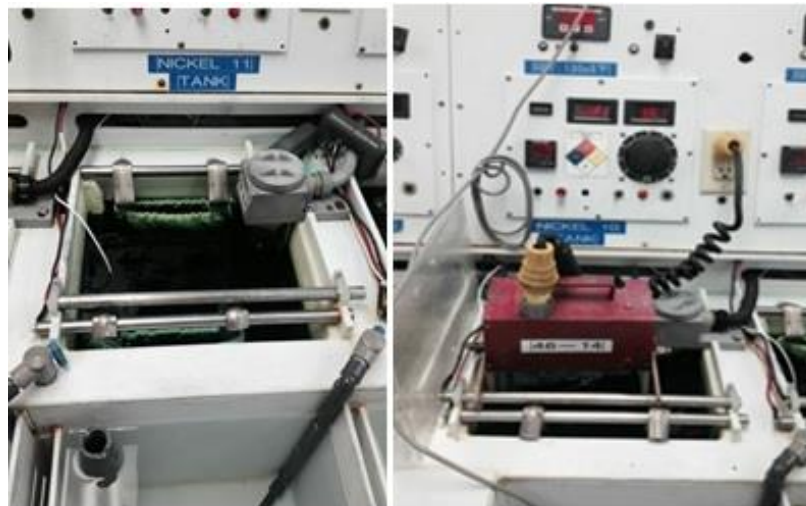
En la figura 3.4, se muestra como los cables del cátodo ingresan al barril por los costados. De esta forma, sus terminales quedan en contacto directo con el lote de componentes en el interior. Además, los barriles se rellenan con pequeñas esferas de plata como las mostradas en la figura 3.5.



**Figura 3.5** Esferas pequeñas de plata para propiciar el contacto eléctrico.

Las esferas de plata de la figura 3.5, se utilizan para mejorar la conducción de la corriente entre los componentes electrónicos y el cátodo del sistema.

Una vez que el barril ha sido llenado con los componentes y las esferas de plata, el mismo, es sumergido en las celdas electrolíticas de acuerdo al orden estipulado en las guías de procedimiento. Al sumergirlo, el barril se apoya sobre dos barras metálicas en la celda, tal y como se observa en la figura 3.6.



**Figura 3.6** Celdas electrolíticas en operación en EMC Technology.

En la figura 3.6 se puede observar como cada celda electrolítica cuenta con tres barras metálicas. Dos de ellas, corresponden al ánodo del circuito, en donde dos bolsas que contienen los ánodos consumibles, son colgadas con ganchos conductores. Por lo general, se utilizan ánodos consumibles de níquel, plata, estaño o cobre y cátodos inertes. La tercera barra, de mayor altura que las anteriores, es el contacto eléctrico del cátodo. Al sumergir y apoyar el barril, sus platinas laterales (cátodos) entran en contacto con esta última barra.

En el momento en que los barriles se sumergen en alguna pila o celda electrolítica, el sistema de rotación que tiene integrado el equipo y que se ilustra en la figura 3.7, debe encenderse de forma manual mediante el interruptor correspondiente.



**Figura 3.7** Sistema de rotación de los barriles en EMC.

El sistema de rotación mostrado en la figura 3.7, utiliza un motor interno y un arreglo de engranajes que hacen girar al barril a 30 rpm. De esta forma, los componentes y las esferas, se mantienen en constante movimiento garantizando el contacto eléctrico entre estos y el cátodo.

De todos los procesos de electrodeposición llevados a cabo en la empresa, la galvanoplastia de plata es la más frecuentemente aplicada. En el Apéndice A.3, se desarrolla mediante un diagrama de flujo, la guía de procedimiento para la galvanoplastia de plata en EMC Technology. En esta operación, se realiza inicialmente un recubrimiento de níquel en los componentes electrónicos, posteriormente se genera una capa de cobre y por último se hace el recubrimiento de plata.

### **3.2 Métodos de automatización usados en la industria para galvanoplastia**

La galvanoplastia, es ampliamente utilizada en la industria para mejorar las propiedades físicas de las superficies metálicas o para proveer a los metales de protección contra la corrosión [6]. El procedimiento sin embargo, genera emisiones de gases tóxicos e implica la manipulación de líquidos irritantes y peligrosos, razón por la cual, representa un riesgo importante para la salud de los trabajadores y una afectación directa al medio ambiente. Además, en la operación se requiere un control estricto de los tiempos y duraciones de cada etapa, por lo que la automatización de la electrodeposición, más que un lujo, representa una necesidad en la industria moderna.

Para la automatización de la galvanoplastia, existen varios tipos de maquinaria. A continuación se presentan tres de las técnicas más utilizadas. La primera de ellas es el pórtico de galvanoplastia. En la figura 3.8, se muestra como en este tipo de maquinaria, se utilizan estructuras metálicas con forma de pórtico que funcionan como grúas transportadoras de los barriles.



**Figura 3.8** Maquinaria tipo pórtico para galvanoplastia en la industria [26].

Como se observa en la figura 3.8, los pórticos cuentan con dos grados de libertad. Se deslizan por carrileras paralelas y pueden levantar y sumergir los barriles en las celdas electrolíticas correspondientes [26].

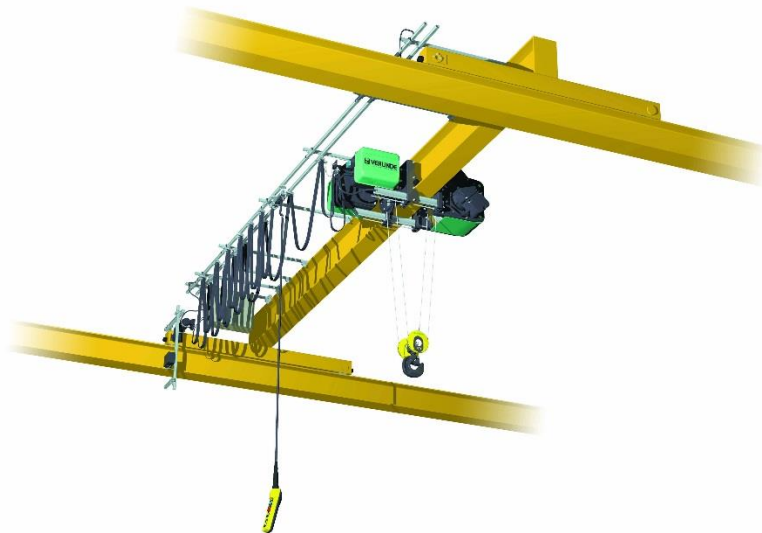
Otra de las técnicas utilizadas, consiste en implementar sistemas en voladizo como el mostrado en la figura 3.9. En este tipo de maquinaria, se utilizan estructuras que sujetan las piezas a tratar y las consumen en las pilas respectivas.



**Figura 3.9** Línea de galvanoplastia con estructuras en voladizo [26].

Como en el caso del sistema mostrado en la figura 3.9, este tipo de maquinaria, también puede tener movilidad horizontal cuando se instalan sobre rieles de deslizamiento. Así, este automatismo puede contar con un máximo de dos grados de libertad. Por lo general, se utilizan sistemas en voladizo cuando los objetos tratados son relativamente altos y de bajo peso como los mostrados en la figura 3.9 [26].

También, es posible encontrar en la industria líneas de electrodeposición con sistemas tipo puente-grúa como el ilustrado en la figura 3.10. A diferencia de las dos maquinarias antes expuestas, este automatismo se caracteriza por contar con un máximo de hasta tres grados de libertad.



**Figura 3.10** Automatismo tipo puente-grúa con 3 grados de libertad [11].

Al contar con tres grados de libertad, los sistemas estructuralmente semejantes al mostrado en la figura 3.10, son capaces de manipular múltiples líneas de celdas electrolíticas sin la necesidad de que estas se encuentren estrictamente alineadas en una sola hilera. Además, pueden cubrir toda un área de galvanoplastia con varias líneas de producción.

Por lo general, los automatismos anteriores son controlados mediante controladores lógicos programables (PLC). Sin embargo, es posible encontrar soluciones implementadas con unidades de microcontrolador. El tipo de control utilizado, dependerá de los requerimientos específicos de cada aplicación y del presupuesto disponible para implementación [17].

### **3.3 Análisis de resistencia mecánica en el diseño del sistema**

#### **3.3.1 Cargas, esfuerzos y factor de seguridad**

El análisis de las cargas y los esfuerzos a los que se somete una pieza o parte determinada es una de las tareas más importantes en el diseño de ingeniería mecánica. El ingeniero, es capaz de determinar si el diseño falla o no mediante una comparación entre el cálculo del esfuerzo en un punto crítico y la resistencia mecánica del material.

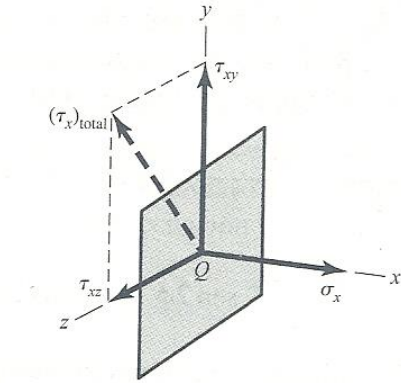
La fuerza y el momento totales que actúan sobre la superficie de una pieza se manifiestan a sí mismos como distribuciones de fuerzas a través de todo el área [4].

En concreto, el esfuerzo se define como la fuerza (F) por unidad de superficie (A) a la que se somete un objeto. En otras palabras, expresa la relación existente entre la carga y el área en la que esta se aplica, como se muestra en la ecuación 3.1. Así, sus unidades de medida en el sistema internacional es el Pascal (Pa) con  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$  [4].

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \left[ \frac{N}{m^2} = Pa \right] \quad (3.1)$$

El esfuerzo total al que se somete un punto en la superficie de una pieza, tiene componentes en la dirección normal y tangencial a la superficie. Los esfuerzos en dirección normal, se denotan con la letra griega  $\sigma$  (sigma) y pueden ser de tensión (cuando son salientes) o de compresión (si son entrantes) [4]. Por otro lado, los esfuerzos tangenciales, se denotan con la letra griega  $\tau$  (tau) y reciben el nombre de esfuerzo cortante. Estos últimos, pueden ser cortante puro (ocasionados por una

fuerza) o bien pueden ser esfuerzos de torsión (ocasionados por un par en el componente). En la figura 3.11 se muestran las componentes del esfuerzo explicadas, en una unidad de superficie.



**Figura 3.11** Componentes del esfuerzo en una unidad de superficie [4].

Como se muestra en la figura 3.11, el esfuerzo total en una unidad de superficie, se expresa como un vector compuesto por componentes ortogonales. Dichas componentes, pueden ser esfuerzos de tipo normal o cortantes aplicados al material.

Para determinar si un componente resiste o no una carga, se compara el esfuerzo calculado contra el valor de resistencia permisible según la especificación del fabricante del material. Se define así, el factor de seguridad de un diseño como se muestra en la ecuación 3.2 [4].

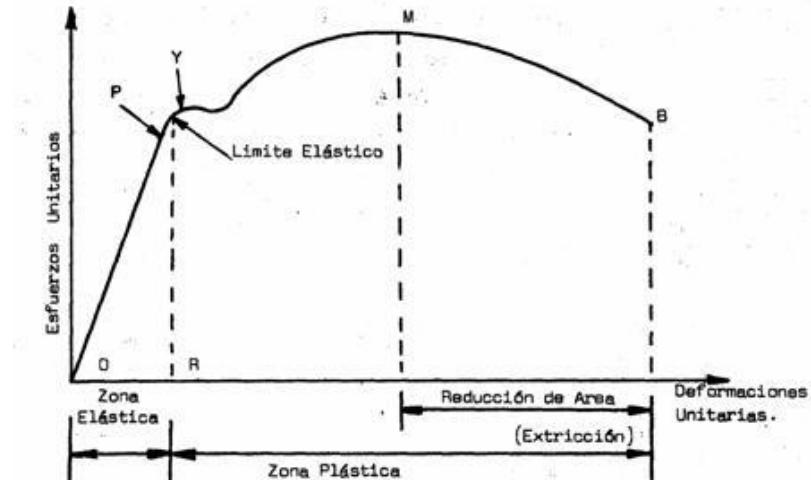
$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo permisible}}{\text{Esfuerzo calculado}} \quad (3.2)$$

Si el factor de seguridad es menor que 1, el elemento falla (no es seguro). Si es mayor a 1, se concluye que el elemento resiste las condiciones de carga que se prevén.

### 3.3.2 Deformación y deflexión de materiales

Al aplicar una carga sobre una pieza o componente, el esfuerzo resultante, genera inevitablemente una deformación del material. Es por ello que al diseñar, se

deben consultar los diagramas de esfuerzo-deformación de los materiales [16]. En la figura 3.12, se ejemplifica el diagrama esfuerzo-deformación típico para un material dúctil.



**Figura 3.12** Diagrama esfuerzo-deformación de un material [16].

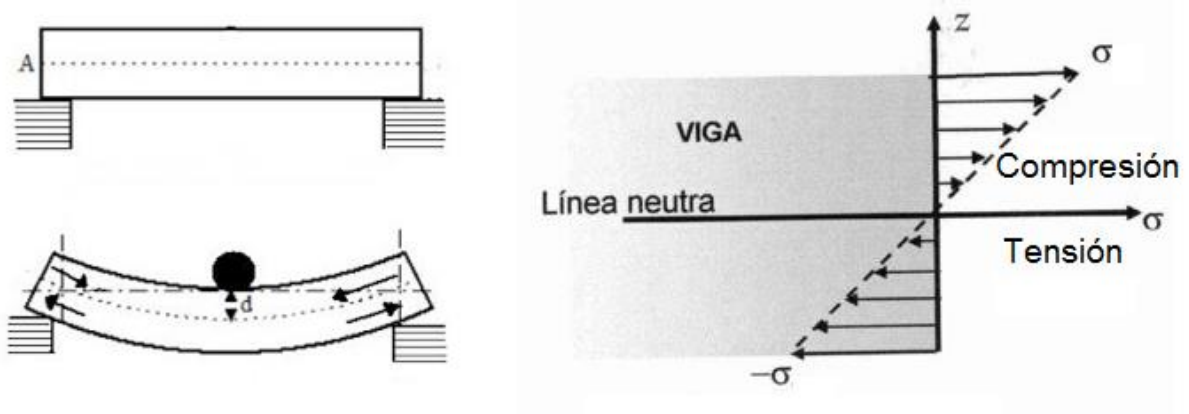
Se puede observar en la figura 3.12, como el diagrama esfuerzo-deformación se divide en dos zonas principales: la zona elástica (zona donde el material retorna a su forma inicial al quitar la fuerza), y la zona plástica (zona de deformaciones irreversibles). Al diseñar, se debe cuidar que las deformaciones no salgan de la zona elástica del material. El final de la zona elástica, lo marca el esfuerzo de fluencia (punto Y en la figura 3.12) propio del material. Después de dicho esfuerzo, las deformaciones en el material serán permanentes. Si el esfuerzo supera el esfuerzo último del material (punto M en la figura 3.12) el material termina fallando y rompiéndose [16].

Los valores de esfuerzo de fluencia y esfuerzo último, pueden consultarse en las hojas de datos de los materiales.

### 3.3.3 Vigas y perfiles metálicos

Las deformaciones y esfuerzos internos, también son factores importantes en el diseño de vigas y perfiles metálicos. Al aplicar una carga central sobre una viga

apoyada en sus dos extremos, la distribución del esfuerzo es tal, que en la parte superior de la viga se da una compresión y en la parte inferior de esta una tensión. La línea en el interior de la viga, donde se da la transición de compresión a tensión, se conoce como línea neutra y el esfuerzo resultante en ella es nulo [11]. La figura 3.13 explica este comportamiento del esfuerzo en el interior de una viga o perfil.



**Figura 3.13** Distribución del esfuerzo en el interior de una viga o perfil sometido a una carga [11].

El esfuerzo en el interior de una viga, es entonces variable en toda la altura de su perfil, tal y como se ilustra en la figura 3.13. Por lo tanto, para calcular el esfuerzo, en algún punto específico de la sección transversal, se utiliza la ecuación 3.3 [11].

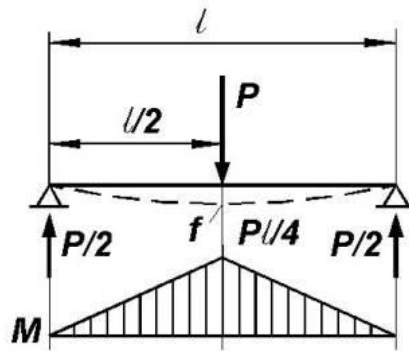
$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (3.3)$$

Donde, M = momento flector.

I = momento de inercia de la sección transversal.

c = distancia del punto al eje neutro (dirección z en figura 3.13).

Por otro lado, el momento flector M en una viga o perfil, es variable a lo largo de su longitud. Se tiene que al aplicar una fuerza P, sobre el centro de una viga de longitud L apoyada en sus extremos, el momento flector M adquiere la distribución mostrada en la figura 3.14.



**Figura 3.14** Momento flector y deformación en una viga con una carga concentrada en el centro [33].

El momento flector máximo, bajo las condiciones de carga y apoyo del perfil de la figura 3.14, se da en el punto de aplicación de la fuerza  $P$  y se calcula como se muestra en la ecuación 3.4 [33]:

$$M_{max} = \frac{PL}{4} \quad (3.4)$$

El momento de inercia  $I$ , por su parte, dependerá de la forma y del área del perfil de la viga. Por lo general, el fabricante especifica este valor en las hojas de especificaciones técnicas.

### 3.4 Actuadores y sistemas de accionamiento

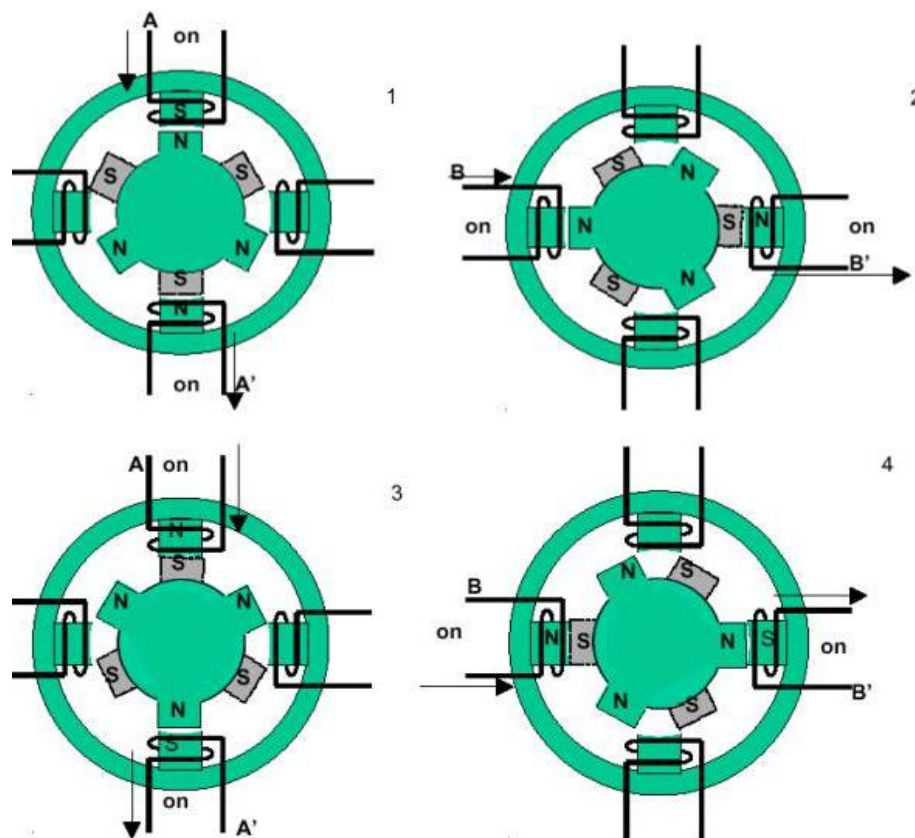
#### 3.4.1 Descripción y control del motor a pasos

Los motores a pasos, son utilizados actualmente en una gran gama de aplicaciones gracias a su alta precisión en el posicionamiento. Tienen la particularidad de moverse un paso por cada pulso aplicado. El paso del motor, puede ir desde movimientos de  $1,8^\circ$  hasta movimientos de  $90^\circ$  [32]. Según la secuencia de pulsos que se aplique y la frecuencia de esta, el motor puede moverse a una posición específica o puede girar de forma continua a la velocidad deseada.

Otra característica de los motores a pasos, es que pueden quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada, o bien, pueden quedar libres cuando no hay corriente alguna que circule por sus devanados.

Las bobinas e imanes en su interior, adquieren distintas configuraciones. La más común, es aquella en la que el rotor lo constituyen imanes permanentes y el estator un conjunto de bobinados [32].

Para mover un motor a pasos, se energizan dos de sus bobinas simultáneamente de la forma que se ilustra en la figura 3.15.

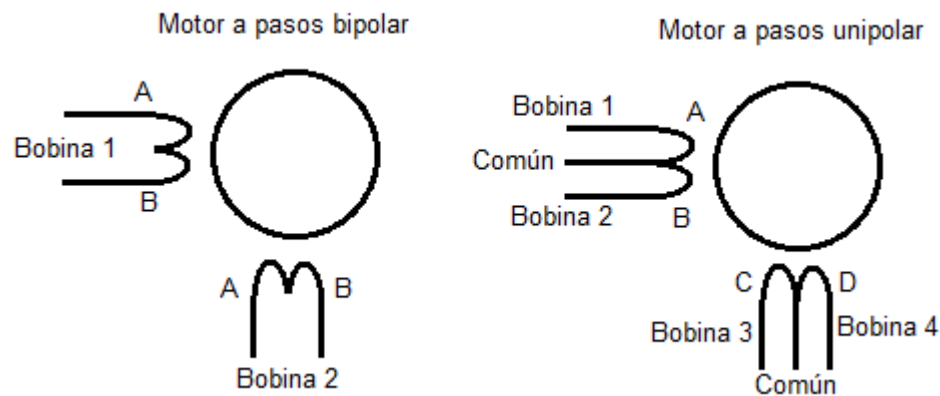


**Figura 3.15** Principio de funcionamiento de un motor a pasos [32].

En la figura 3.15, se puede observar como la dirección de la corriente en las bobinas del estator, determina la polaridad magnética de cada polo. Así, los imanes

permanentes del rotor, son atraídos por los polos con polaridad opuesta a la suya. La rotación del eje se provoca, energizando las bobinas de forma secuencial.

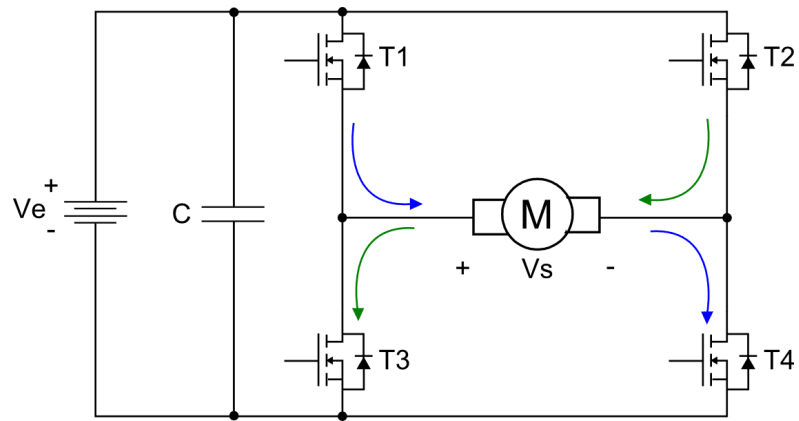
Los motores a pasos, con rotor de imán permanente, se clasifican en unipolares o bipolares. Los unipolares, no requieren de una inversión en la dirección de la corriente en sus devanados mientras que los bipolares sí la requieren. Tal y como se muestra en la figura 3.16, los unipolares, suelen tener seis cables de control mientras que los bipolares solamente cuatro [17].



**Figura 3.16** Motor a pasos bipolar y unipolar [32].

Las bobinas en los motores a pasos unipolares, tal y como se ilustra en la figura 3.16, tienen una derivación central utilizada como terminal común. Debido a esto, las otras terminales de las bobinas, solo pueden tener la polaridad opuesta, por lo que la dirección de su corriente es invariable [32].

En el caso de los motores a pasos bipolares, la dirección de la corriente en sus bobinas es variable. Para invertir el flujo de corriente, se requiere un arreglo de transistores en puente H. Será necesario utilizar un puente H por cada bobina del motor. Así, para un motor bipolar de 2 bobinas (4 cables) se requieren 2 puentes H. El funcionamiento y configuración eléctrica de un puente H, se ilustra en la figura 3.17.

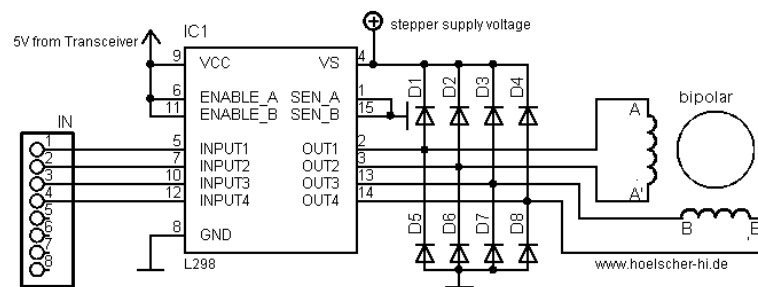


**Figura 3.17** Funcionamiento de un puente H [19].

Cuando en el circuito de la figura 3.17, los interruptores T1 y T4 se cierran y los otros están abiertos, el sentido de la corriente en la bobina del motor, es el mostrado en color azul. Cuando los interruptores cerrados son más bien el T2 y T3, el sentido de la corriente es el mostrado en color verde.

La importancia del puente H radica en que permite aplicar al motor, el valor de voltaje que requiere para energizar sus bobinas, a partir de los valores lógicos de bajo voltaje que salen del microcontrolador. Estos valores lógicos son los utilizados para controlar los transistores en el puente H de la figura 3.17 [19].

Por lo general, para controlar motores a pasos bipolares se utilizan puentes H integrados como el L293 y el L298. En la figura 3.18, se muestra un circuito típico de control utilizando L298.



**Figura 3.18** Circuito de control de motor a pasos bipolar con L298 [13].

Las entradas lógicas 1, 2, 3 y 4 en el circuito de la figura 3.18, se controlan por lo general con un microcontrolador, siguiendo la secuencia de excitación mostrada en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Secuencia de excitación de paso completo para bobinas de un motor a pasos bipolar.

Paso	Bobina 1		Bobina 2	
	Terminal A	Terminal A'	Terminal B	Terminal B'
1	0	1	0	1
2	0	1	1	0
3	1	0	1	0
4	1	0	0	1

LAM Technologies [17].

La tabla 3.1 especifica la secuencia para un movimiento de paso completo en un motor bipolar. Existen también, secuencias para mover el motor medio paso a la vez, de forma tal que se obtiene mayor precisión en el posicionamiento [17].

### 3.4.2 Determinación del torque para un motor a pasos

Para seleccionar un motor a pasos en un sistema mecatrónico, será necesario verificar que su par máximo según la especificación técnica, sea suficiente para mover la carga a la que se someterá. En general, el par motor necesario para acelerar la masa se calcula como la inercia de las masas respecto al eje de rotación por la aceleración que se les aplica [2]. La ecuación 3.5 describe dicha relación.

$$\tau = J \cdot \alpha \quad (3.5)$$

Donde,  $\tau$  = torque de motor.

$J$  = momento de inercia de masas respecto al eje de rotación.

$\alpha$  = aceleración angular aplicada.

Expresando la ecuación 3.5 en forma más generalizada para una condición de carga del motor, se tiene que el torque necesario  $\tau_{Total}$  para generar una aceleración determinada  $\alpha$ , se obtiene como se indica en la ecuación 3.6 [2].

$$\tau_{Total} = \tau_C + (J_M + J_C) \cdot \alpha \quad (3.6)$$

Donde,  $\tau_C$  = torque de carga.

$J_M$  = momento de inercia del motor.

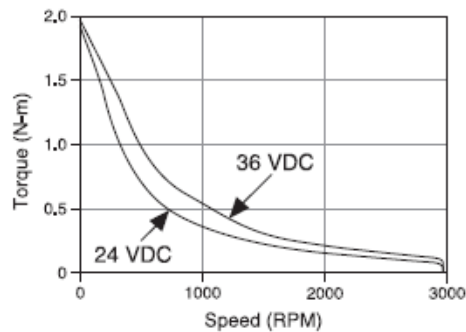
$J_C$  = momento de inercia de la carga.

La aceleración angular  $\alpha$ , se puede determinar a partir del cambio de velocidades angulares y el tiempo necesario para dicho cambio de acuerdo con la ecuación 3.7.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} \quad (3.7)$$

Donde  $\omega$  representa la velocidad angular y  $t$  el tiempo.

El torque que puede entregar un motor a pasos, es función directa de la velocidad a la que se le haga girar. Es por ello, que siempre se debe considerar la información que suministra el diagrama de torque contra velocidad de un motor a pasos. En la figura 3.19 se muestra el diagrama torque-velocidad del motor Nema 23 780083 [22].



**Figura 3.19** Torque en función de la velocidad para un motor a pasos energizado con 24V y 36V [22].

De la figura 3.19, se puede inferir que el par máximo que puede generar este motor a pasos es de aproximadamente 2 Nm. Dicho torque, se da a velocidad 0 rpm, es decir al arranque del motor. Una vez que el motor acelera, el torque entregado disminuye con la velocidad como se indica en la figura 3.19.

### 3.4.3 Solenoides lineales

Un solenoide, es una bobina con forma cilíndrica a través de la cual se hace circular una corriente eléctrica para generar un campo magnético en su interior. Al colocar un núcleo móvil a dicha bobina, este se moverá por la fuerza electromagnética generada en la bobina. Así, la fuerza de empuje que se genera es función de la corriente aplicada al solenoide [9]. En la figura 3.20, se ilustra el comportamiento del campo magnético al aplicar una corriente a un solenoide.

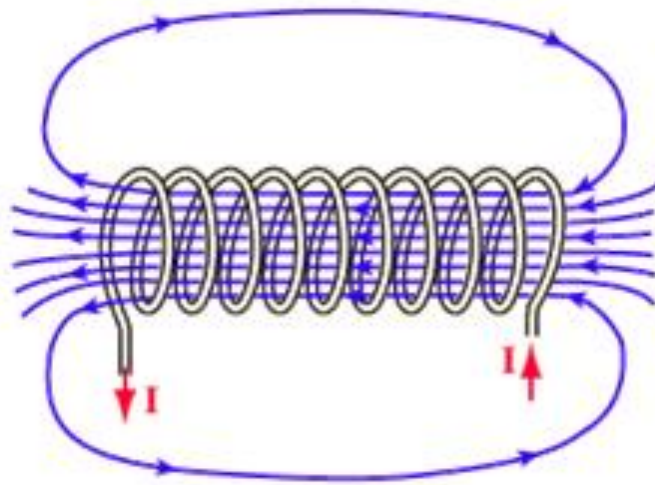


Figura 3.20 Campo magnético en un solenoide [9].

El campo magnético en el interior del solenoide en la figura 3.20, se puede calcular con base en una idealización admitida de la Ley de Ampere. Esta relación, se muestra en la ecuación 3.8.

$$B = \frac{\mu NI}{L} \quad (3.8)$$

Donde,  $B$  = campo magnético.

$\mu$  = permeabilidad magnética del espacio libre.

$N$  = número de espiras del solenoide.

$I$  = corriente eléctrica.

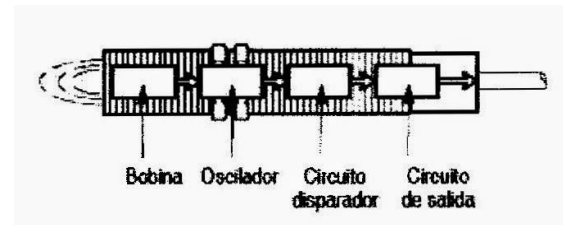
$L$  = longitud del solenoide.

Un solenoide lineal, puede funcionar con corriente alterna o con corriente directa. Cuando la corriente que circula por la bobina es variable, la fuerza de empuje resultante es mayor. Por lo anterior, cuando se utiliza un solenoide lineal con corriente directa, se utiliza una señal pulsante cuyo ciclo de trabajo es función de la fuerza de empuje. A menor ciclo de trabajo de la señal pulsante, mayor fuerza de empuje [9].

### 3.5 Métodos de sensado y monitoreo

#### 3.5.1 Sensores inductivos

Los sensores inductivos, son ampliamente utilizados en la industria para detectar la presencia o proximidad de un objeto metálico. Constan de una bobina enrollada en un núcleo metálico, en la cual se hace circular una corriente eléctrica para generar un campo magnético. La figura 3.21, ilustra las partes de las que se compone un sensor inductivo.

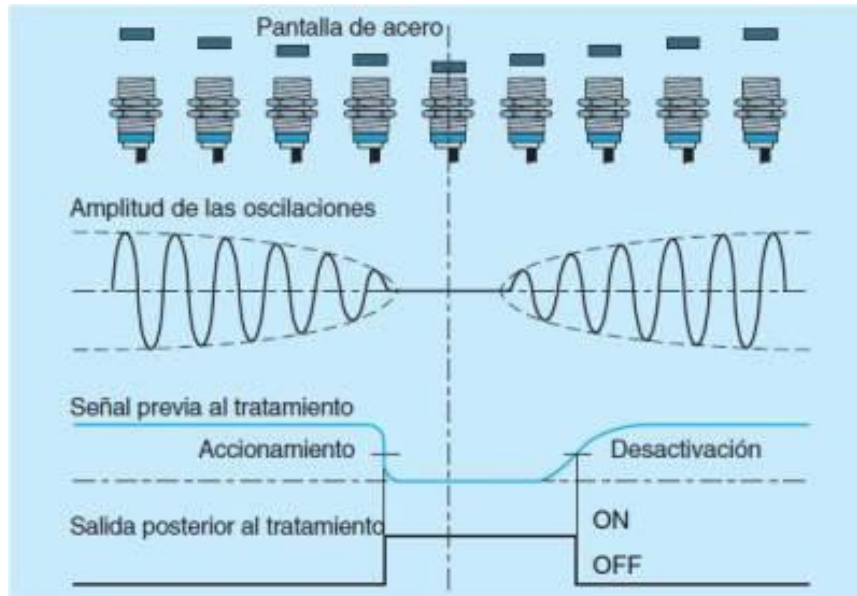


**Figura 3.21** Partes internas de un sensor inductivo [14].

La corriente que circula en la bobina de la figura 3.21, la genera un circuito oscilador en el interior del sensor. También, cuentan con un circuito detector de nivel, un disparador de señal y un circuito de salida [15].

Cuando un objeto metálico se aproxima al campo magnético del sensor, se inducen en él corrientes de Eddy. Estas corrientes, a su vez, generan un campo magnético opuesto al campo del sensor, lo cual representa un aumento en la carga del oscilador. Como respuesta, el circuito oscilador disminuye la amplitud de sus oscilaciones. El circuito de disparo, monitorea la amplitud de estas oscilaciones y a un

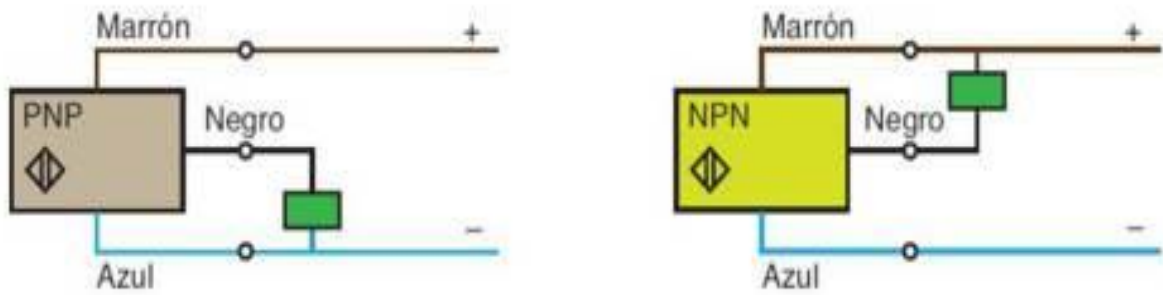
nivel predeterminado conmuta el estado de la salida del sensor [34]. El funcionamiento de un sensor inductivo se explica en la figura 3.23.



**Figura 3.22** Funcionamiento de un sensor inductivo [34].

En la figura 3.22 se muestra como la amplitud de las oscilaciones en un sensor inductivo, disminuye al acercarse el objeto sensado. El circuito de disparo se acciona entonces, cuando dicha amplitud alcanza un valor predefinido mediante la calibración del sensor [34].

Los contactos de salida en un sensor inductivo, pueden ser NA (normalmente abiertos) o NC (normalmente cerrados). El contacto NA es aquel en el que el transistor o tiristor de salida se activa en presencia de un objeto metálico. El contacto NC es más bien aquel cuyo transistor o tiristor se desactiva en presencia de un objeto. Este transistor de salida, también puede ser NPN (de canal N) o PNP (de canal P), lo cual determina la forma de conexión del sensor [34]. En la figura 3.23 se muestra la forma en la que se conecta un sensor según el tipo de transistor que tenga en su salida.



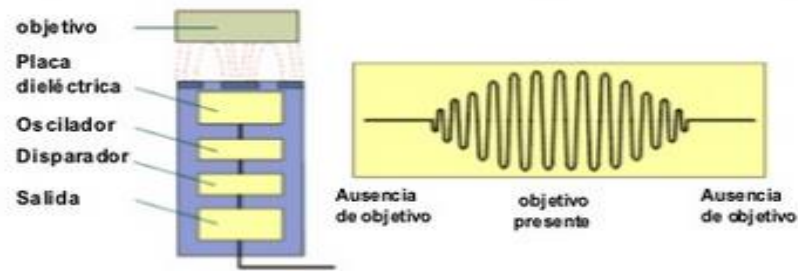
**Figura 3.23** Conexión de un sensor inductivo PNP y NPN [34].

Tal y como se ilustra en la figura 3.23, en un sensor de canal PNP, la carga se conecta al terminal negativo, mientras que en uno de canal NPN la carga se conecta al terminal positivo.

### 3.5.2 Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos, son similares a los inductivos. La principal diferencia entre ellos, es que los sensores capacitivos trabajan con campo electrostático en lugar de electromagnético. Gracias a ello, este tipo de sensor, puede detectar la presencia o proximidad de cualquier objeto sin importar si este es metálico o no.

El sensor capacitivo, está formado por dos electrodos concéntricos separados por un material dieléctrico formando un capacitor. Cuando un objeto se aproxima a la superficie de sensado y este entra al campo electrostático de los electrodos, cambia la capacitancia del circuito oscilador y el mismo comienza a oscilar [5]. El funcionamiento de un sensor capacitivo, se ilustra en la figura 3.24.

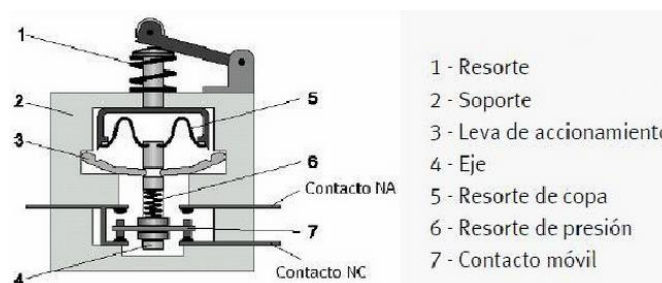


**Figura 3.24** Funcionamiento de un sensor capacitivo [5].

En la figura 3.24, se puede observar como a diferencia de los sensores inductivos, los capacitivos aumentan sus oscilaciones cuando un objeto entra en su campo de detección.

### 3.5.3 Final de carrera mecánico

Estos sensores, son dispositivos que por medio de una acción mecánica conmutan una señal eléctrica de salida. Tal y como su nombre lo indica, generalmente se utilizan para detectar el final de carrera de un objeto móvil y así enviar una señal al circuito de control. En su interior, suelen tener contactos normalmente abiertos y/o normalmente cerrados. En la figura 3.25 se ilustra la composición interna de un sensor de final de carrera mecánico.



**Figura 3.25** Vista interior de un sensor de final de carrera mecánico [21].

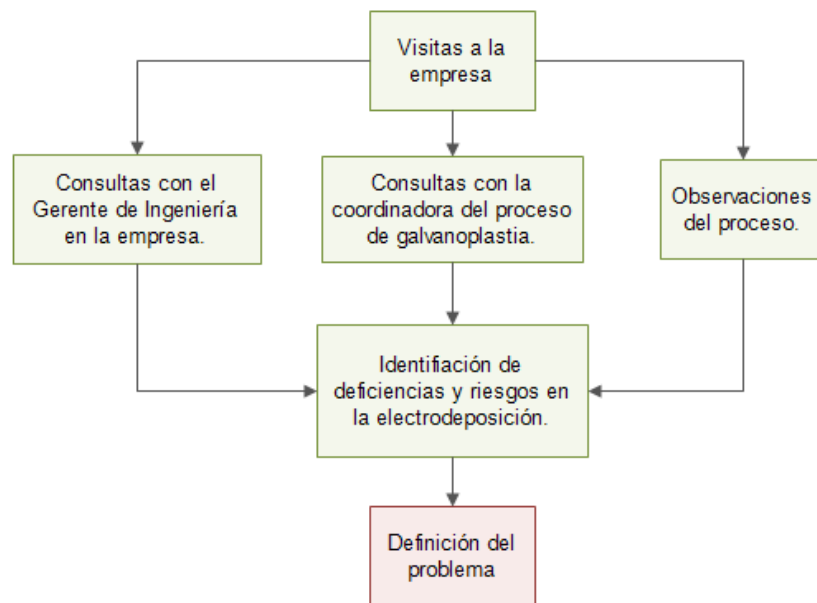
Se puede observar en la figura 3.25, como estos sensores generalmente se componen de dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos eléctricos, y una cabeza que detecta el movimiento [21].

## Capítulo 4: Procedimiento metodológico

En este capítulo se resumen las etapas del método de diseño en ingeniería que se siguieron para llegar a la solución del problema. Se hace referencia a cada fase del proceso iniciando desde la definición de la problemática y la recolección de información, hasta la definición y evaluación de las alternativas de diseño. Finalmente, se indica la forma en la que se simuló y verificó el funcionamiento de la solución seleccionada.

### 4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para reconocer y definir el problema en este proyecto, se ejecutaron las acciones representadas gráficamente en el esquema de la figura 4.1.



**Figura 4.1** Procedimiento seguido para el reconocimiento y la definición del problema.

Elaborado en Edraw Max 7.6 ©.

Tal y como se explica en la figura 4.1, para identificar el problema a solucionar, se hicieron varias visitas a la empresa en las que se llevaron a cabo múltiples consultas y observaciones del proceso.

Inicialmente, se contó con el apoyo del Gerente de Ingeniería en EMC Technology, quien suministró información importante sobre la problemática actual y sobre las expectativas de la empresa hacia el proyecto.

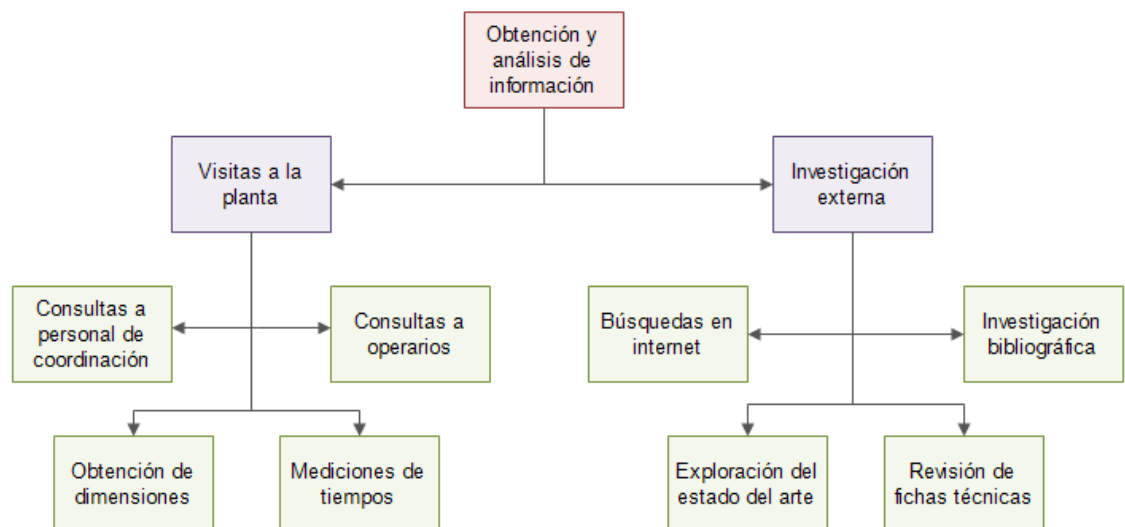
Paralelamente, se recibió ayuda por parte de la coordinadora de la galvanoplastia, quien brindó detalles del procedimiento y permitió tener una perspectiva más amplia de los requerimientos en el lugar.

A partir de la información recolectada mediante estas consultas, y a través de observaciones, se pudieron identificar las principales deficiencias en la operación y la gran cantidad de riesgos a los que se exponen actualmente sus operarios.

De esta forma, se planteó finalmente la problemática a solucionar en este proyecto y se definió su meta y alcance.

## 4.2 Obtención y análisis de información

El procedimiento seguido para la obtención y análisis de la información en este proyecto, se explica de forma gráfica mediante la figura 4.2.



**Figura 4.2** Procedimiento seguido para la obtención y análisis de la información.

Elaborado en Edraw Max 7.6 ®.

Como se muestra en la figura 4.2, antes de iniciar con el diseño del sistema como tal, se hicieron varias visitas a la planta y se realizó investigación externa con el objetivo de recopilar y analizar información relevante.

Para obtener información sobre los requerimientos del diseño, se consultó a la coordinadora de la electrodeposición y a los operarios que actualmente se encargan de ejecutarla. De esta forma, se consiguió una descripción detallada del proceso y se obtuvo la guía de procedimiento usada en la operación.

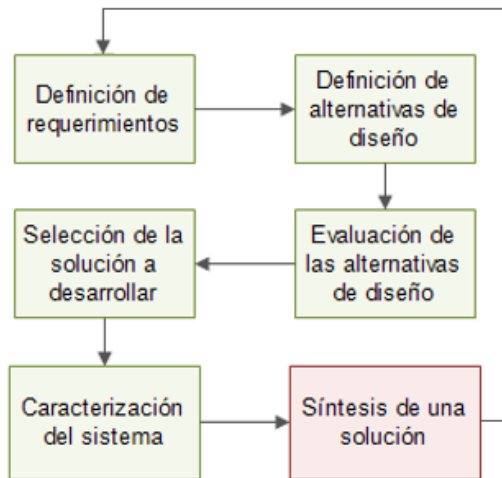
Además, durante las visitas a la planta, se hicieron varias sesiones de medición en las cuales se obtuvieron las dimensiones de las celdas electrolíticas y de los barriles utilizados. Dichas sesiones, permitieron recolectar información valiosa para iniciar la elaboración de planos y el diseño de la estructura mecánica del equipo.

Se realizó adicionalmente, la medición de tiempos y cantidades tratadas durante las visitas. De esta manera, se obtuvieron los datos necesarios para pronosticar la mejora que se obtendría al implementar un sistema automatizado.

La figura 4.2, señala también, como se llevó a cabo investigación externa mediante búsquedas exhaustivas en internet y en bibliotecas. Se logró así, explorar el estado del arte y se pudo desarrollar un concepto del equipo que se debía diseñar. A partir de dicha exploración, y apoyándose en fichas técnicas de fabricantes, se identificaron varias alternativas de diseño y se procedió a la evaluación de las mismas.

### **4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución**

El procedimiento seguido para plantear las alternativas de diseño y llegar finalmente a la síntesis de una solución en este proyecto, se explica gráficamente en el esquema de la figura 4.3.



**Figura 4.3** Secuencia de pasos seguidos para llegar a la síntesis de una solución.

Elaborado en Edraw Max 7.6 ©.

Como lo muestra la figura 4.3, se definieron inicialmente los requerimientos del sistema a diseñar. Para ello, se analizó toda la información suministrada por personal de la empresa y adquirida mediante investigación.

Para cada uno de los requerimientos identificados, se plantearon luego múltiples alternativas de solución. Las mismas, se definieron con base en la investigación previa del estado del arte y las opciones expuestas en fichas técnicas de fabricantes.

Posteriormente, se evaluaron las ventajas y desventajas de cada uno de los candidatos planteados. De esta forma, se pudo hacer una comparación entre alternativas, y se identificó la solución más apropiada de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Finalmente, se procedió a hacer la síntesis de una solución, definiendo las especificaciones y las características de funcionamiento del sistema a diseñar.

El procedimiento anterior, se ejecutó de forma iterativa hasta llegar a la síntesis de la solución más satisfactoria y acorde a los requerimientos definidos.

#### **4.4 Diseño y verificación de la solución**

Una vez hecha la síntesis de la solución seleccionada, se procedió a desarrollar el diseño del sistema, y a verificar su funcionamiento mediante las simulaciones respectivas. Para ello, se siguió la secuencia de pasos que se muestra a continuación.

1. Planeación de la estructura mecánica del sistema.
2. Selección de motores y actuadores para el equipo.
3. Selección de sensores y métodos de monitoreo.
4. Diseño de sistemas de transmisión de potencia, acoples, ajustes y soportes de componentes.
5. Selección de materiales para construcción.
6. Planeación de la instalación eléctrica en el equipo.
7. Modelado tridimensional de los componentes y partes de la máquina con CAD (diseño asistido por computadora).
8. Modelado tridimensional del ensamblaje de la máquina con CAD.
9. Generación de planos mecánicos para las partes a manufacturar.
10. Valoración económica de la estructura mecánica, sensores y actuadores.
11. Recopilación de información sobre la secuencia y tiempos requeridos en el proceso.
12. Descripción de la lógica del proceso mediante diagramas de flujo.
13. Diseño de circuitos electrónicos y de la unidad de control.
14. Diseño de la interfaz de potencia para operar sensores y actuadores.
15. Diseño de las tarjetas de circuito impreso requeridas.
16. Diseño gráfico de una interfaz de usuario de acuerdo a los requerimientos.
17. Programación del sistema de control para el mecanismo.
18. Programación de la interfaz de usuario del sistema.
19. Valoración económica de los subsistemas electrónicos, sistema de control e interfaz.
20. Simulación de los subsistemas electrónicos y verificación de funcionamiento.
21. Preparación del modelado tridimensional para la simulación de movimiento.

22. Simulación de la cinemática del mecanismo.
23. Calculo del presupuesto final requerido para implementación.
24. Documentación final.

#### **4.5 Reevaluación y rediseño**

La solución desarrollada en este proyecto, podría rediseñarse en el futuro de distintas maneras sin afectar la utilidad final del sistema. Las posibilidades de reevaluación y rediseño, son tan amplias como el proyecto en sí, y pueden encontrarse tanto en la composición y construcción mecánica del equipo, como en su método de control y subsistemas electrónicos.

Por ejemplo, la estructura mecánica del sistema, es susceptible a modificaciones importantes en cuanto al tipo de módulos lineales de movimiento utilizados. La marca seleccionada en este proyecto, es una de las tantas que cuentan con una amplia gama de módulos y con los cuales es posible hacer múltiples combinaciones. Por lo tanto, si al hacer una reevaluación del sistema, se determina que debe hacerse alguna variación, el diseñador no tendría mayores complicaciones.

Los sensores y actuadores seleccionados, también podrían ser modificados. En caso de ser necesario, podrían utilizarse sensores de final de carrera mecánico, fotoeléctricos, o de otra naturaleza en lugar de los inductivos escogidos. Los motores a pasos, podrían sustituirse por servomotores incorporando el sistema de monitoreo correspondiente mediante codificadores de posición.

Por otro lado, el sistema de control, podría modificarse y utilizar una tarjeta integrada y prefabricada con microcontrolador. Esto, en lugar de fabricar una propia tal y como se plantea en este proyecto. También, podría implementarse un sistema de control mediante PLC (controlador lógico programable), si se contase con los recursos económicos para hacerlo.

## Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En este capítulo, se exponen los detalles del diseño desarrollado y los resultados obtenidos en las simulaciones de funcionamiento. Inicialmente, se hace referencia a los criterios de diseño considerados, se evalúan las alternativas de solución y se expone la selección final. Posteriormente, se ofrece una descripción detallada del diseño mecánico y estructural, fundamentando el desarrollo mediante las relaciones matemáticas y físicas involucradas. Se describe también, el diseño de los subsistemas electrónicos y el método de control diseñado para el equipo. Finalmente, se presentan los resultados de las simulaciones realizadas, y los cálculos de productividad actual en el proceso.

### 5.1 Evaluación de soluciones y selección final

#### 5.1.1 Definición de requerimientos del sistema

Para iniciar con el diseño del equipo, se definieron los requerimientos mínimos del sistema. En la tabla 5.1, se ofrece una breve descripción de cada requerimiento definido y se hace una clasificación de los mismos.

**Tabla 5.1** Definición de requerimientos del sistema.

	Requerimiento	Descripción
<b>Requerimientos de movilidad y sistemas de accionamiento</b>	Desplazamiento del barril	Movilidad en 3 ejes cartesianos para un desplazamiento tridimensional.
	Posicionamiento del barril	Precisión de $\pm 2$ mm en el posicionamiento de los barriles de electrodeposición.
	Orientación del barril	Giros de $\pm 90^\circ$ para ajustar la orientación del barril.
	Agarre del barril	Agarre del barril por su agarradera de forma segura y firme.
	Agitación del barril	Agitación o golpeteo del barril cuando se sumerge para extraer las burbujas en su interior.

Continuación de la tabla 5.1.

	Enjuague automático	Método de enjuague automático posterior a la inmersión en las soluciones electrolíticas.
<b>Requerimientos de sensado y monitoreo</b>	Monitoreo de posición	Sensado de la posición de todos los ejes de movilidad del equipo.
	Monitoreo de orientación	Sensado de la orientación del barril.
	Monitoreo de alrededores	Sensado de los alrededores del equipo para detectar invasiones del área de trabajo.
<b>Requerimientos mecánicos y estructurales</b>	Resistencia mecánica	Resistencia a momentos flectores, esfuerzos de compresión, tensión y flexión internos.
	Resistencia a la corrosión	Materiales con alta resistencia a la corrosión.
	Transmisión de potencia	Transmisión para movimientos rápidos, precisos y con alta repetibilidad.
<b>Requerimientos eléctricos y electrónicos</b>	Interfaz de potencia	Adaptación de señales de control a la potencia requerida para operar sensores y actuadores.
	Transmisión de datos	Transmisión bidireccional de datos con un ordenador.
	Fuente de poder	Fuente con potencia suficiente para alimentar subsistemas de control, sensores y actuadores.
	Energización de barriles	Energización automática de barriles sin cables colgantes que interfieran con la operación.
	Cableado	Organización del cableado para no dificultar ni limitar la movilidad del sistema.
<b>Requerimientos de software y control</b>	Unidad central de control	Unidad central de control y procesamiento para administrar todas las señales del sistema.
	Interfaz gráfica de usuario	Interfaz gráfica de usuario amigable y de fácil utilización.
	Programación de rutinas	Programación de rutinas y secuencias personalizadas a partir de subrutinas preprogramadas.

### 5.1.2 Definición de alternativas de diseño

En esta sección, se hace una breve referencia a las distintas alternativas de diseño que fueron consideradas. Para cada caso, se indica en la tabla 5.2 el requerimiento en cuestión, seguido de los candidatos de diseño contemplados.

**Tabla 5.2** Definición de alternativas de diseño.

Requerimiento	Alternativas de diseño
<b>Requerimientos de movilidad y sistemas de accionamiento</b>	Desplazamiento del barril ✓ Sistema tipo pórtico. ✓ Robot cartesiano. ✓ Brazo en voladizo.
	Posicionamiento del barril ✓ Motores a pasos. ✓ Servomotores.
	Orientación del barril ✓ Módulo de rotación comercial. ✓ Sistema propio con motor a pasos. ✓ Sistema propio con servomotor.
	Agarre del barril ✓ Gancho mecánico accionado con solenoide. ✓ Pinza robótica paralela.
	Agitación del barril ✓ Cilindro neumático de carrera corta. ✓ Movimiento programado.
	Enjuague automático ✓ Boquilla aspersora de agua. ✓ Tubo de PVC con electroválvula.
<b>Requerimientos de sensado y monitoreo</b>	Monitoreo de posición ✓ Sensores inductivos. ✓ Sensor mecánico de final de carrera. ✓ Codificador de posición.
	Monitoreo de orientación ✓ Sensor inductivo. ✓ Codificador de posición.
	Monitoreo de alrededores ✓ Cortinas fotoeléctricas de seguridad. ✓ Barrera óptica de seguridad de un haz.
<b>Requerimientos mecánicos y estructurales</b>	Resistencia mecánica ✓ Perfiles metálicos. ✓ Estructura sólida.
	Resistencia a la corrosión ✓ Partes componentes de acero inoxidable. ✓ Partes componentes de aluminio.
	Transmisión de potencia ✓ Transmisión por correa dentada. ✓ Transmisión por tornillo de avance.
<b>Requerimientos eléctricos y electrónicos</b>	Interfaz de potencia ✓ Interfaz construida con relés. ✓ Interfaz construida con optoacopladores. ✓ Controlador comercial.

Continuación de la tabla 5.2.

	Transmisión de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Transmisión de datos por UART.</li> <li>✓ Transmisión de datos por USB.</li> </ul>
	Fuente de poder	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fuente comercial con múltiples salidas.</li> <li>✓ Fuente de poder con diseño propio.</li> </ul>
	Energización de barriles	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Terminales de contacto eléctrico con platinas.</li> <li>✓ Terminales de contacto eléctrico con barras.</li> </ul>
	Cableado	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cadena portacable metálica.</li> <li>✓ Cadena portacable plástica.</li> </ul>
<b>Requerimientos de software y control</b>	Unidad central de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistema de control con microcontrolador PIC.</li> <li>✓ Sistema de control con PLC.</li> <li>✓ Sistema de control con Arduino.</li> </ul>
	Interfaz gráfica de usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Interfaz gráfica desarrollada en LabView®.</li> <li>✓ Interfaz gráfica desarrollada en Matlab.</li> <li>✓ Interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic.</li> </ul>
	Programación de rutinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programación en Mplab.</li> <li>✓ Programación en lenguaje C.</li> <li>✓ Programación en ensamblador.</li> </ul>

### 5.1.3 Evaluación y selección de alternativas

Las alternativas definidas en la tabla 5.2, se evaluaron tomando en cuenta sus ventajas y desventajas. En la tabla 5.3, se resumen las principales consideraciones, que llevaron a la selección o al descarte de los distintos candidatos de diseño. Para cada caso, se señala la alternativa finalmente escogida. Se utiliza nuevamente, la clasificación de requerimientos establecida en la tabla 5.1.

**Tabla 5.3** Evaluación y selección de alternativas de diseño.

Requerimiento	Evaluación de alternativas	Selección	
<b>Requerimientos de movilidad y sistemas de accionamiento</b>	Desplazamiento del barril	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pórtico: Espacio insuficiente para implementación.</li> <li>✓ Robot cartesiano: Simplicidad en construcción y facilidad de soporte.</li> <li>✓ Brazo en voladizo: Requiere un diseño robusto y costoso para soportar los momentos flectores.</li> </ul>	Robot cartesiano
	Posicionamiento del barril	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Servomotores: Sistema de control mucho más complejo, son más costosos y difíciles de conseguir. Requieren un codificador de posición.</li> <li>✓ Motores a pasos: Precisión de posicionamiento a bajo costo y sin codificador. Son más fáciles de conseguir.</li> </ul>	Motores a pasos
	Orientación del barril	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Módulo comercial: Alto costo y dificultades en la adaptación mecánica y electrónica.</li> <li>✓ Sistema con motor a pasos: Fácil implementación y bajo costo. Requiere un sensor.</li> <li>✓ Sistema con servomotor: Alto costo y complejidad en el control. Requiere codificador de posición.</li> </ul>	Sistema de rotación propio con motor a pasos
	Agarre del barril	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gancho mecánico: Estrategia de agarre complica el control (acercamiento horizontal).</li> <li>✓ Pinza robótica paralela: Simplicidad en control (acercamiento vertical).</li> </ul>	Pinza robótica paralela
	Agitación del barril	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cilindro neumático: Requiere la compra e instalación de un compresor, válvulas neumáticas, etc.</li> <li>✓ Movimiento programado: No requiere hardware adicional.</li> </ul>	Movimiento programado
	Enjuague automático	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Boquilla aspersora de agua: Requiere control riguroso de la presión. Dificultad para cubrir todo el barril sin salpicar alrededores. Mayor costo.</li> <li>✓ Tubo de PVC con electroválvula: Trabaja a baja presión. Cobertura total del barril sin salpicaduras excesivas. Bajo costo.</li> </ul>	Tubo de PVC con electroválvula
<b>Requerimientos de sensado y monitoreo</b>	Monitoreo de posición	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sensores inductivos: Incluidos en la mayoría de módulos lineales de movimiento.</li> </ul>	Sensores inductivos para la posición

Continuación de la tabla 5.3.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sensor mecánico de final de carrera: Fácil control. Posibilidad de falla mecánica.</li> <li>✓ Codificador: Mayor costo y complejidad de control.</li> </ul>	
	Monitoreo de orientación	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sensor inductivo: Bajo costo y simplicidad en el control. Requiere salida analógica.</li> <li>✓ Codificador de posición: Mayor complejidad de control.</li> </ul>	Sensor inductivo para la orientación
	Monitoreo de alrededores	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cortinas fotoeléctricas de seguridad: Cobertura de toda la altura.</li> <li>✓ Barrera óptica de seguridad de un haz: Requiere múltiples unidades para cubrir toda la altura.</li> </ul>	Cortinas fotoeléctricas de seguridad
<b>Requerimientos mecánicos y estructurales</b>	Resistencia mecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Perfiles metálicos: Bajo costo, menor peso y resistencia mecánica suficiente.</li> <li>✓ Estructura sólida: Alto costo, mayor peso, mejor resistencia.</li> </ul>	Perfiles metálicos
	Resistencia a la corrosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Partes de acero inoxidable: Excelente resistencia a la corrosión. Alto costo.</li> <li>✓ Partes de aluminio: Resistencia suficiente a la corrosión. Costo moderado.</li> </ul>	Partes de aluminio
	Transmisión de potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Transmisión por correa dentada: Movimientos rápidos.</li> <li>✓ Transmisión por tornillo de avance: Gran precisión de posicionamiento. Baja velocidad.</li> </ul>	Transmisión por correa dentada
<b>Requerimientos eléctricos y electrónicos</b>	Interfaz de potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Relés: Frecuencia de conmutación insuficiente.</li> <li>✓ Optoacopladores: Debe implementarse la secuencia de conmutación respectiva en el control.</li> <li>✓ Controlador comercial: Secuencia de conmutación incorporada que facilita el control. Costo moderado.</li> </ul>	Controlador comercial
	Transmisión de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Transmisión de datos por UART: Facilidad de programación.</li> <li>✓ Transmisión de datos por USB: Fácil utilización y más fácil de conseguir.</li> </ul>	Transmisión por USB
	Fuente de poder	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fuente de poder comercial: Múltiples salidas, potencia suficiente, facilidad de implementación y costo moderado.</li> <li>✓ Diseño propio: Componentes de potencia media costosos y difíciles de conseguir.</li> </ul>	Fuente de poder comercial

Continuación de la tabla 5.3.

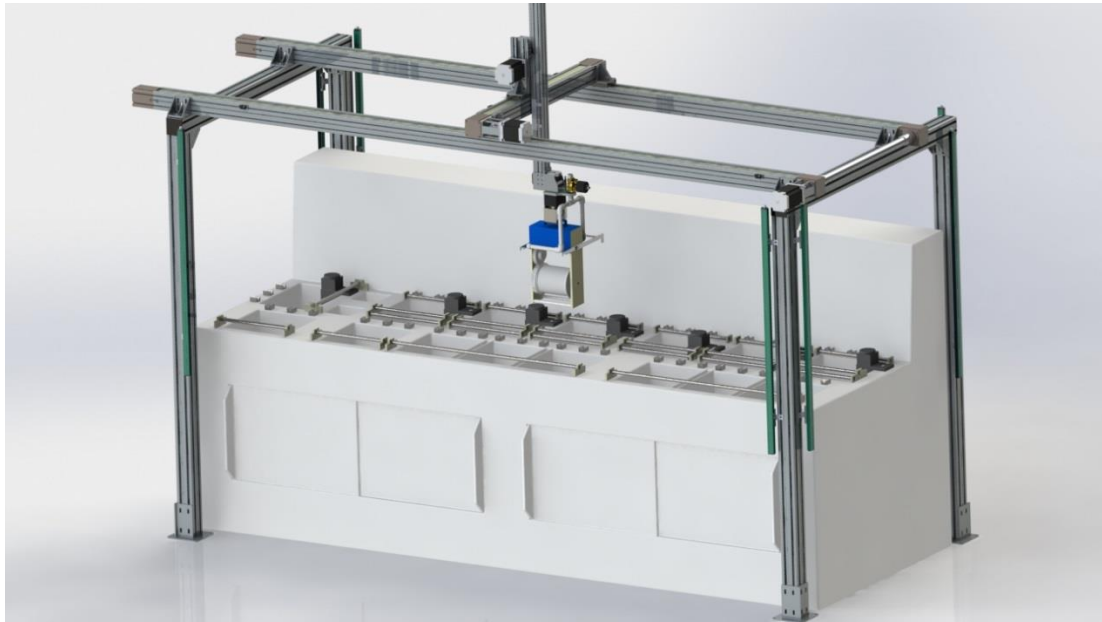
	Energización de barriles	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Terminales de contacto eléctrico con platinas: Facilidad de adaptación mecánica al barril.</li> <li>Terminales de contacto eléctrico con barras: Dificultad de adaptación mecánica al barril.</li> </ul>	Terminales de contacto eléctrico con platinas
	Cableado	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cadena portacable metálica: Alta resistencia mecánica, susceptible a corrosión.</li> <li>Cadena portacable plástica: Resistencia a la corrosión.</li> </ul>	Cadena portacable plástica
<b>Requerimientos de software y control</b>	Unidad central de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Microcontrolador PIC: Bajo costo de implementación. Alta frecuencia de reloj. Requiere construcción de una tarjeta de circuito impreso.</li> <li>✓ PLC: Altísimo costo de implementación.</li> <li>✓ Arduino: Bajo costo de implementación y facilidad en el control. Frecuencia de reloj y salidas/entradas insuficientes.</li> </ul>	Microcontrolador PIC
	Interfaz gráfica de usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Interfaz en LabView: Programación gráfica simple. Licencias disponibles en la empresa.</li> <li>✓ Interfaz en Matlab: No se cuenta con licencia en la empresa.</li> <li>✓ Interfaz en Visual Basic: Fácil programación. No se cuenta con licencia.</li> </ul>	Interfaz gráfica en LabView
	Programación de rutinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programación en Mplab: Fácil integración con simulación electrónica en Proteus.</li> <li>✓ Programación en lenguaje C: Mayor dificultad para hacer integración con simulación electrónica.</li> <li>✓ Programación en ensamblador: Alta complejidad de implementación.</li> </ul>	Programación de rutinas en Mplab

#### 5.1.4 Caracterización del sistema

Una vez hecho el análisis de alternativas y las consideraciones antes expuestas, se logró caracterizar el sistema a diseñar.

En general, se desarrolla en este proyecto, el diseño de un robot cartesiano con tres grados de libertad para el posicionamiento y dos grados de libertad adicionales para la orientación (giro) y el agarre del barril respectivamente.

En la figura 5.1, se muestra el robot cartesiano diseñado para la automatización de la galvanoplastia en EMC Technology.



**Figura 5.1** Robot cartesiano diseñado para la automatización de la galvanoplastia.

Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

El robot de la figura 5.1, se construyó a partir de módulos lineales de movimiento de la marca Bosch Rexroth MLR 10-80 en los ejes horizontales, y OBB 55 para el eje vertical. Todos ellos, utilizan una transmisión por correa dentada para el movimiento del carro, y se soportan mediante perfiles de aluminio MGE 13.0 de tamaño 80x80 mm (también de Bosch Rexroth).

Se utilizan motores a pasos Nema 34 para los tres grados de libertad de posición y Nema 23 para el giro del barril, todos operados a 48 VDC. Para el agarre del barril, se utiliza un módulo de accionamiento paralelo MPLM 3240 de Gimatic. Además, se diseñan las pinzas robóticas a acoplar en dicho módulo.

Los motores, son operados utilizando un controlador STP-DRV-80100. El mismo, recibe un tren de pulsos proveniente de un microcontrolador PIC 18F4550, que se encarga de administrar todas las señales de sensores y actuadores en el sistema.

Para el sensado y monitoreo de los ejes del robot, se utilizan sensores inductivos en los finales de carrera de cada grado de libertad. Dichos sensores, se utilizan exclusivamente para el restablecimiento de la posición de los motores cuando el sistema lo requiera. A partir de estas posiciones claves, se aprovecha la precisión en el posicionamiento de los motores a pasos, para conocer siempre la ubicación del robot.

Los alrededores del sistema, se monitorean mediante cortinas fotoeléctricas de seguridad Pepperl & Fuchs SLCS30. En caso de presentarse una invasión del espacio de trabajo, las cortinas envían una señal a la unidad de control y se detiene inmediatamente la operación del robot. De esta forma, se resguarda la seguridad del operario.

Por otra parte, las rutinas de operación, se programaron en el microcontrolador utilizando Mplab XC8. Entre las rutinas programadas, se implementó un movimiento de golpeteo para la agitación del barril y extracción de burbujas cuando sea necesario. También se programó una rutina para el lavado automático. Este, se realiza accionando una electroválvula que habilita el paso de agua hacia un arreglo de tuberías en PVC de 3/4 de pulgada. Se coloca un tubo horizontal a cada lado del barril, con agujeros a todo lo largo dirigidos hacia este.

Se desarrolló también, una interfaz gráfica en LabView®. La comunicación entre la unidad de control y el ordenador donde se instala la interfaz, se realizó mediante USB (Universal Serial Bus).

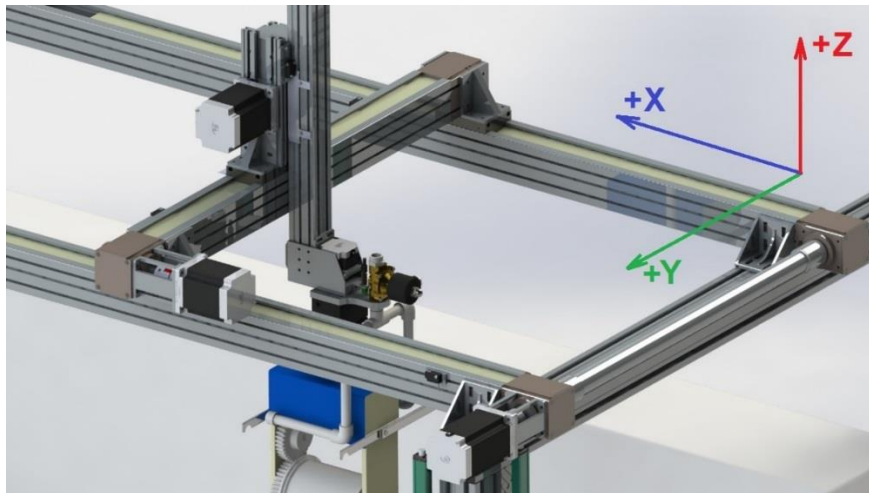
Finalmente, el sistema de rotación de los barriles, se enciende mediante contactos eléctricos en forma de "V" debidamente instalados sobre el módulo de electrodeposición. Para ello, el barril cuenta con tres terminales de apoyo sujetas a sus costados. Cuando el robot cartesiano lo sumerge en alguna de las celdas, las

terminales del barril se apoyan en los contactos eléctricos y se energiza automáticamente a 120 VAC.

## 5.2 Diseño mecánico y estructural

### 5.2.1 Ensamblaje y especificaciones mecánicas

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema diseñado consiste en un robot cartesiano con movilidad en tres ejes principales. La orientación y el signo de dichos ejes, se establece en la figura 5.2.



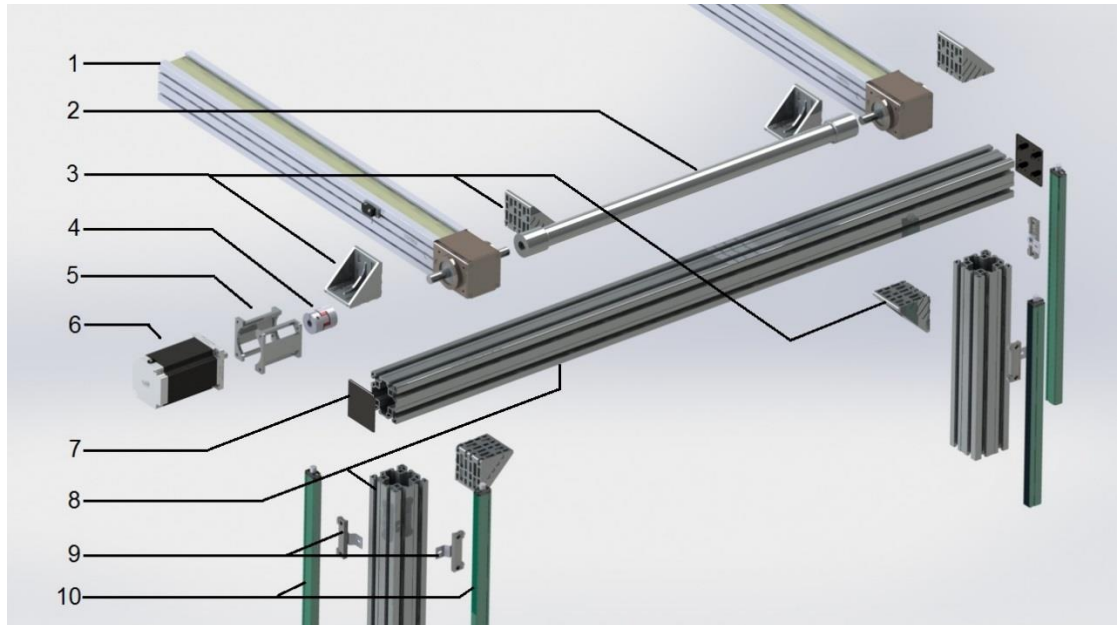
**Figura 5.2** Convención de ejes y signos para el robot cartesiano.

Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

En la figura 5.2, los módulos de movimiento lineal para los ejes X y Y corresponden a la serie MLR 10-80 de Bosch Rexroth. El eje Z, por su parte, lo constituye un módulo OBB 55 de la misma marca.

A continuación, se explica mediante vistas explosionadas, el ensamblaje de las distintas secciones de la máquina. Se hace énfasis únicamente, en puntos de unión representativos y se ofrece un listado de las distintas partes componentes.

La vista explosionada de la figura 5.3, ilustra el ensamblaje de los módulos que conforman el eje X, con la estructura de soporte del robot.



**Figura 5.3** Ensamblaje del eje X con el soporte estructural.

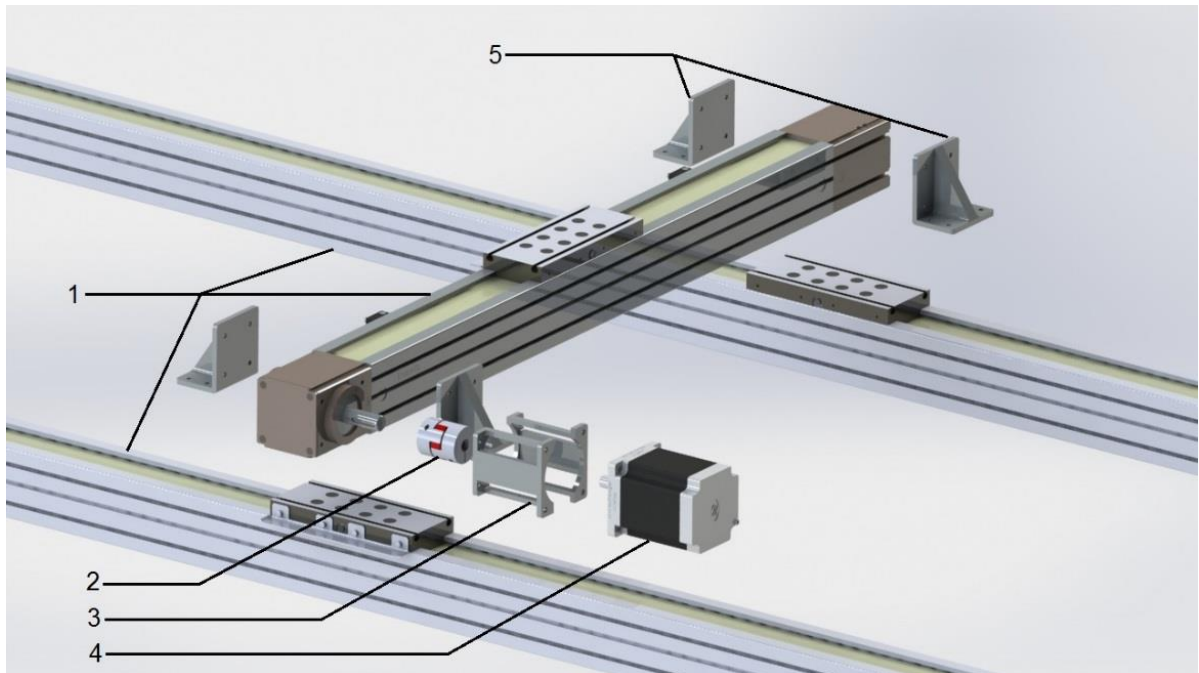
Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

El ensamblaje de la figura 5.3, se compone de las siguientes partes:

1. Módulo de movimiento lineal MLR 10-80 de Bosch Rexroth (plano individual en Anexo B.1, L=3250 mm).
2. Eje de transmisión (plano de pieza en hoja 8 del Apéndice A.2).
3. Soporte de unión 80x80 mm (marca Rexroth).
4. Acoplamiento de mordaza (abrazadera con chavetero 18 mm – abrazadera con tornillo 14 mm).
5. Soporte de motor X (plano de pieza en hoja 9 del Apéndice A.2).
6. Motor a pasos Nema 34 -12,1 Nm (hoja de datos en Anexo B.5).
7. Tapa de perfil de aluminio 80x80L (marca Rexroth).
8. Perfiles de aluminio Rexroth MGE 13.0 (hoja de datos en Anexo B.4, L=1820 mm, L=1460 mm).

9. Accesorio de montaje para cortina de seguridad (hoja de datos en Anexo B.8).
10. Cortina fotoeléctrica de seguridad (hoja de datos en Anexo B.7).

Seguidamente, la vista explosionada de la figura 5.4, ilustra el ensamblaje del módulo que conforma el eje Y, con los módulos que conforman el eje X.



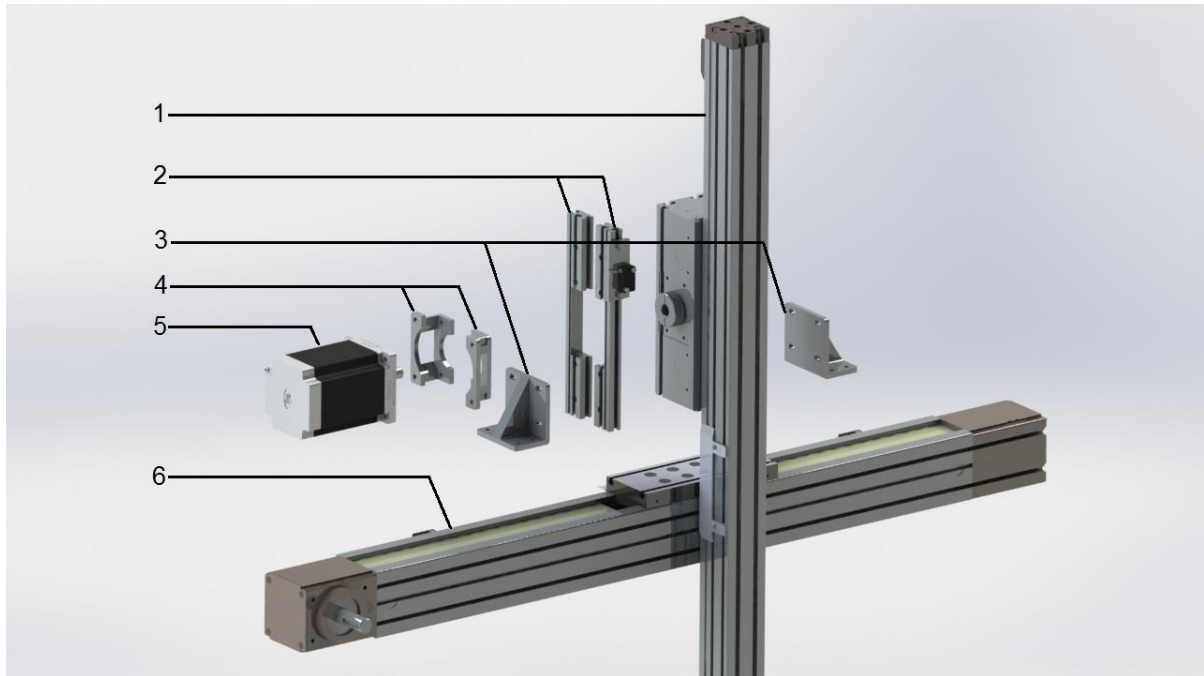
**Figura 5.4** Ensamblaje del eje Y con el eje X.

Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

El ensamblaje de la figura 5.4, se compone de las siguientes partes:

1. Módulo de movimiento lineal MLR 10-80 de Bosch Rexroth (plano individual en Anexo B.1, L=861 mm para el eje Y).
2. Acoplamiento de mordaza (abrazadera con chavetero 18 mm – abrazadera con tornillo 14 mm).
3. Soporte de motor Y (plano de pieza en hoja 9 del Apéndice A.2).
4. Motor a pasos Nema 34 - 8,1 Nm (hoja de datos en Anexo B.5).
5. Soporte de unión X-Y (plano de pieza en hoja 11 del Apéndice A.2).

El ensamblaje del módulo que conforma el eje Z, con el módulo del eje Y, se muestra en la figura 5.5.



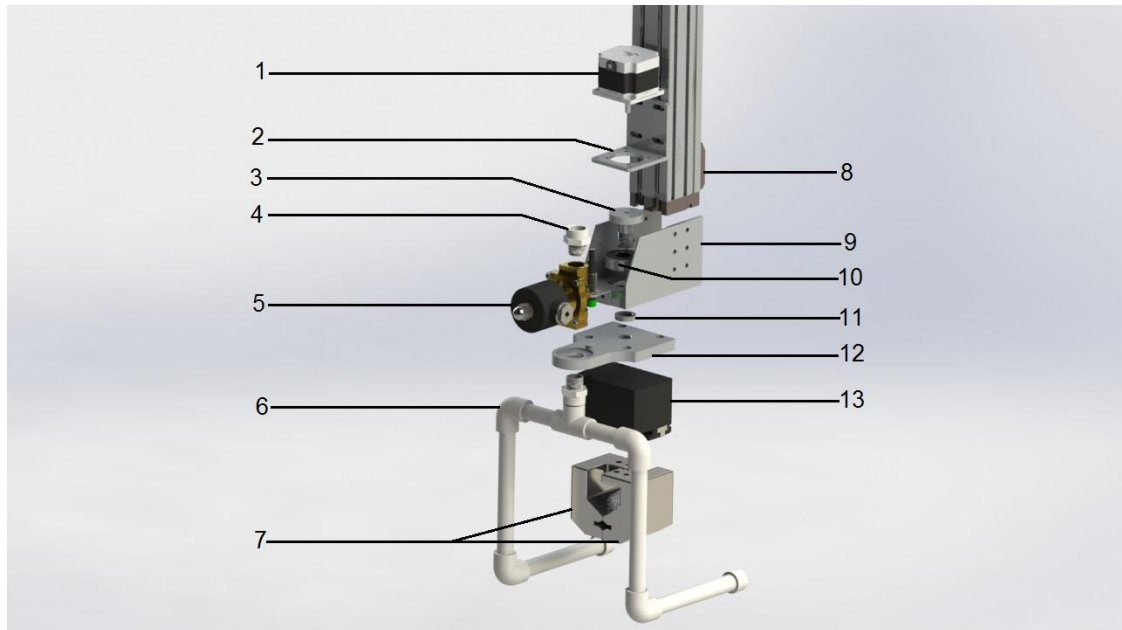
**Figura 5.5** Ensamblaje del eje Z con el eje Y.

Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

El ensamblaje de la figura 5.5, se compone de las siguientes partes:

1. Módulo de movimiento lineal OBB 55 de Bosch Rexroth (plano individual en Anexo B.2, L=1207 mm).
2. Regleta porta sensor para OBB 55 (marca Rexroth).
3. Soporte de unión Y-Z (plano de pieza en hoja 12 del Apéndice A.2).
4. Soporte de motor Z (plano de pieza en hoja 10 del Apéndice A.2).
5. Motor a pasos Nema 34 – 9,2 Nm (hoja de datos en Anexo B.5).
6. Módulo de movimiento lineal MLR 10-80 de Bosch Rexroth (plano individual en Anexo B.1, L=861 mm).

Por último, en la figura 5.6, se muestra el ensamblaje de la pinza robótica con el módulo que conforma el eje Z del sistema.



**Figura 5.6** Ensamblaje de la pinza robótica con el eje Z.

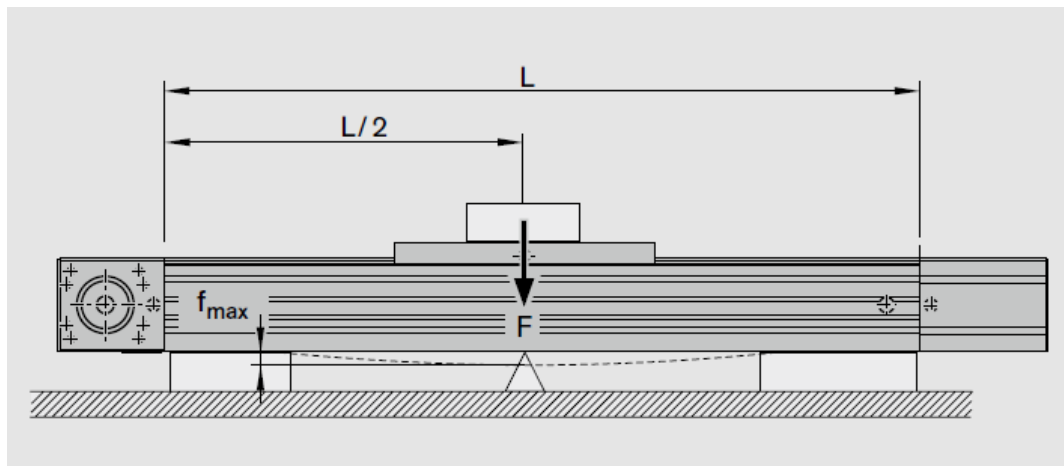
Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

El ensamblaje de la figura 5.6, se compone de las siguientes partes:

1. Motor a pasos Nema 23 – 0,8 Nm (hoja de datos en Anexo B.6).
2. Soporte para motor Nema 23 (marca LAM Technologies).
3. Tornillo de soporte (plano de pieza en hoja 5 del Apéndice A.2).
4. Adaptador roscado para conexión de manguera (3/4 de pulgada, PVC).
5. Electroválvula de latón (3/4 de pulgada, 24 VDC).
6. Tubería para lavado automático (3/4 de pulgada, PVC).
7. Pinza del robot (plano de pieza en hoja 2 del Apéndice A.2).
8. Módulo de movimiento lineal OBB 55 de Bosch Rexroth (plano individual en Anexo B.2, L=1207 mm).
9. Acople de pinza (plano de pieza en hoja 4 del Apéndice A.2).
10. Cojinete de bolas (diámetro externo 40 mm).
11. Anillo sujetador (plano de pieza en hoja 6 del Apéndice A.2).
12. Soporte de pinza robótica (plano de pieza en hoja 3 del Apéndice A.2).
13. Pinza paralela MPLM 3240 de Gimatic (hoja de datos en Anexo B.3).

## 5.2.2 Resistencia mecánica del eje X

Los módulos de movimiento lineal que componen el eje X, se soportan únicamente mediante dos apoyos en los extremos como se mostró en la figura 5.1. Bajo estas condiciones mecánicas, la carga máxima permisible, se verá limitada por la deflexión (deformación) que se genere en el módulo. La deflexión máxima se produce, cuando la carga  $F$  se aplica en el centro de la longitud en voladizo, como se muestra en la figura 5.7.



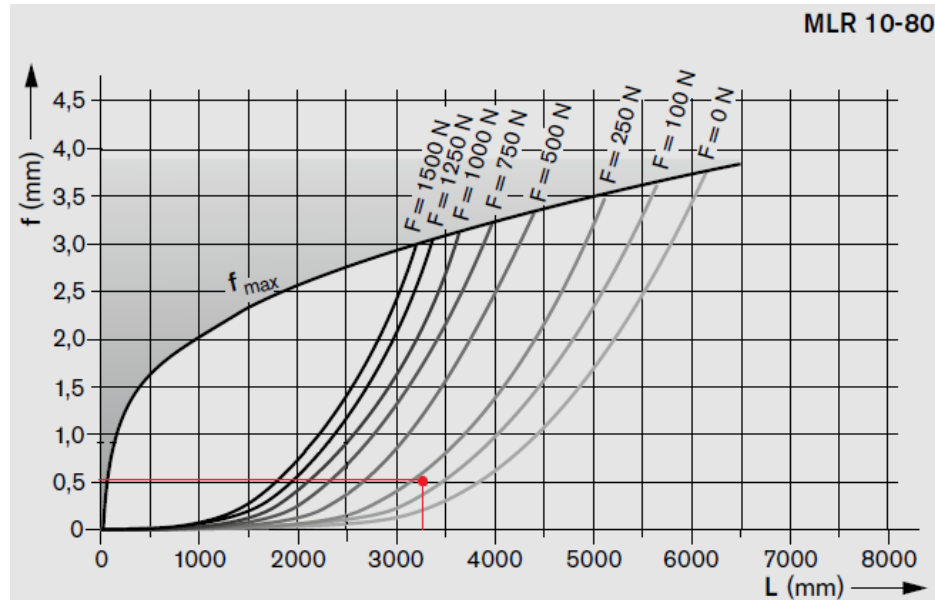
**Figura 5.7** Deflexión máxima en el módulo del eje X [3].

Si la deflexión del sistema, en la figura 5.7, supera el valor máximo permisible  $f_{max}$ , se requerirían puntos de apoyo adicionales para soportar la carga.

La deformación producida en el módulo MLR 10-80, dependerá de su longitud  $L$  (mm) y de la fuerza  $F$  (N) que se le aplique. En este caso, los módulos del eje X, tienen una longitud de 3250 mm y la carga que soportarán, según los cálculos, será de alrededor de 40 kg. Dado que la carga se reparte entre dos módulos, se tiene que la fuerza en cada módulo es aproximadamente:

$$F = \frac{40 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{2} = \frac{392 \text{ N}}{2} = 196 \text{ N} \quad (5.1)$$

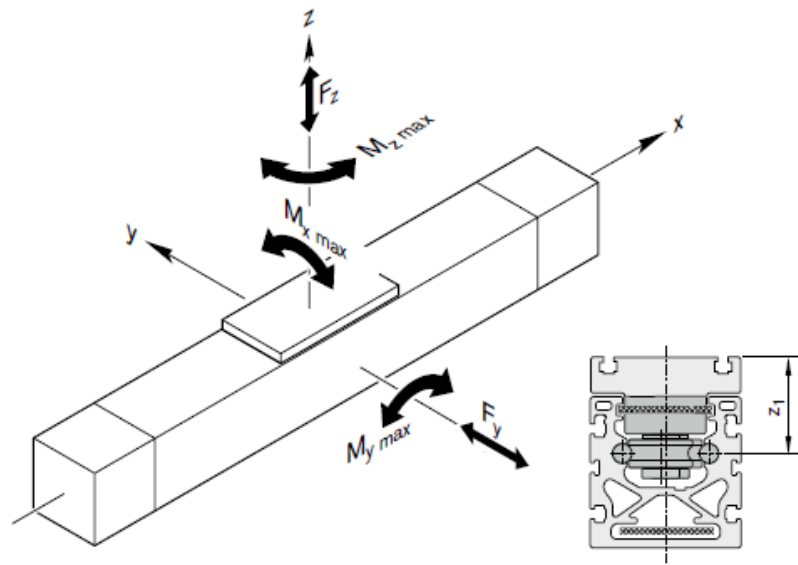
Partiendo de la fuerza, y la longitud del módulo, la deflexión del sistema se obtiene mediante el gráfico de la figura 5.8 como sigue.



**Figura 5.8** Cálculo de deflexión  $f$  en el eje X a partir de la fuerza  $F$  y la longitud  $L$  [3].

El punto marcado en rojo en la figura 5.8, corresponde a las condiciones de carga del eje X del sistema. El gráfico muestra, que la deflexión producida estará alrededor de los 0,5 mm. Este valor, está muy por debajo de la curva de deformación máxima  $f_{max}$ , lo cual quiere decir, que la deflexión producida está dentro del valor permisible.

Otro punto importante a considerar, en la resistencia mecánica del eje X, es la combinación de cargas y momentos de torsión a los que se somete el rodamiento interno del carrito. En la figura 5.9, se muestra la forma en la que esta combinación de cargas, incide sobre dicho rodamiento.



**Figura 5.9** Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carril del MLR 10-80 [3].

La especificación técnica del fabricante (Anexo B.1), define los valores máximos permisibles para las cargas representadas en la figura 5.9. En la tabla 5.4, se detallan estos valores de cargas, el par motor aplicable y la velocidad máxima a la que puede moverse el módulo MLR10-80.

**Tabla 5.4** Parámetros máximos permisibles para el módulo MLR 10-80.

Fuerzas máximas permisibles (N)		Momentos de torsión máximos permisibles (Nm)			Máximo torque de motor aplicable (Nm)	Máxima velocidad de desplazamiento (m/s)
F <sub>y</sub> max	F <sub>z</sub> max	M <sub>x</sub> max	M <sub>y</sub> max	M <sub>z</sub> max		
1500	1500	35	158	158	27	10

Bosch Rexroth [3].

El fabricante recomienda, que la suma de las cargas, divididas entre sus valores máximos permisibles, sea menor que 1. Esta relación, se expresa en la ecuación 5.2.

$$\frac{|F_y|}{F_{y\max}} + \frac{|F_z|}{F_{z\max}} + \frac{|M_x|}{M_{x\max}} + \frac{|M_y|}{M_{y\max}} + \frac{|M_z|}{M_{z\max}} \leq 1 \quad (5.2)$$

Gracias a la configuración mecánica del sistema, la fuerza  $F_y$  y los momentos de torsión  $M_x$  y  $M_z$ , señalados en la figura 5.9, son prácticamente nulos. En este caso, el rodamiento del carrito se somete principalmente a una fuerza  $F_z$  de 196 N y a un momento de torsión  $M_y$ . Este momento, se obtiene como el producto del peso transportado, por la distancia en X a la que se encuentra su centro de masa (medida desde el centro del carrito).

$$M_y = 196 \text{ N} \cdot 0,035 \text{ m} = 6,86 \text{ Nm} \quad (5.3)$$

Así, a partir de la ecuación 5.1, se tiene que:

$$\frac{|F_z|}{F_{zmax}} + \frac{|M_y|}{M_{ymax}} = \frac{196 \text{ N}}{1500 \text{ N}} + \frac{6,86 \text{ Nm}}{158 \text{ Nm}} = 0,174 \leq 1 \quad (5.4)$$

Se concluye entonces, que el eje X del robot, soporta de forma segura la combinación de cargas a la que se somete.

### 5.2.3 Resistencia mecánica del eje Y

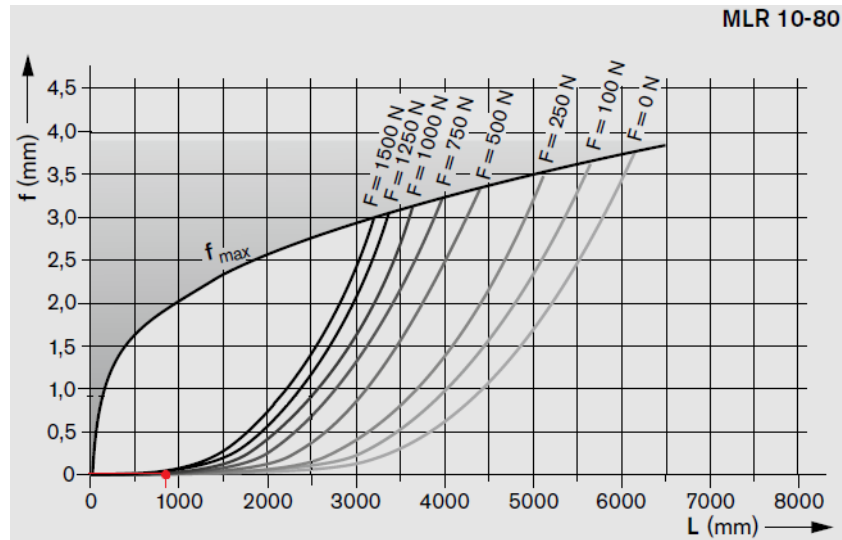
De manera similar a como sucede en el eje X, el módulo lineal del eje Y, se soporta únicamente con dos apoyos en los extremos. Debido a esto, las deflexiones del módulo, se comportan de forma homóloga a cómo se explicó en la sección 5.2.2.

La masa transportada por el MLR 10-80 del eje Y, es de aproximadamente 24 kg. En este caso, la carga no se divide, pues el eje lo constituye un único módulo lineal con una longitud de 861 mm.

Así, el peso soportado por el módulo Y, es entonces:

$$F = 24 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 235,2 \text{ N} \quad (5.5)$$

Partiendo de la fuerza, y la longitud del eje, la deflexión del sistema se obtiene mediante el gráfico de la figura 5.10.



**Figura 5.10** Cálculo de deflexión  $f$  en el eje Y a partir de la fuerza  $F$  y la longitud  $L$  [3].

El punto marcado en rojo en la figura 5.10, corresponde a las condiciones de carga del eje Y del sistema. El gráfico muestra, que debido a la corta longitud del módulo lineal, la deflexión producida es prácticamente nula.

Con respecto a la concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito, en este caso, las cargas  $F_y$ ,  $M_y$  y  $M_z$ , señalados en la figura 5.9, son prácticamente nulas. El rodamiento del eje Y, se somete principalmente a una fuerza  $F_z$  de 235,2 N y a un momento torsor  $M_x$ . Este momento, se obtiene como el producto del peso transportado, por la distancia en Y a la que se encuentra su centro de masa (medida desde el centro del carrito).

$$M_x = 235,2\text{ N} \cdot 0,065\text{ m} = 15,29\text{ Nm} \quad (5.6)$$

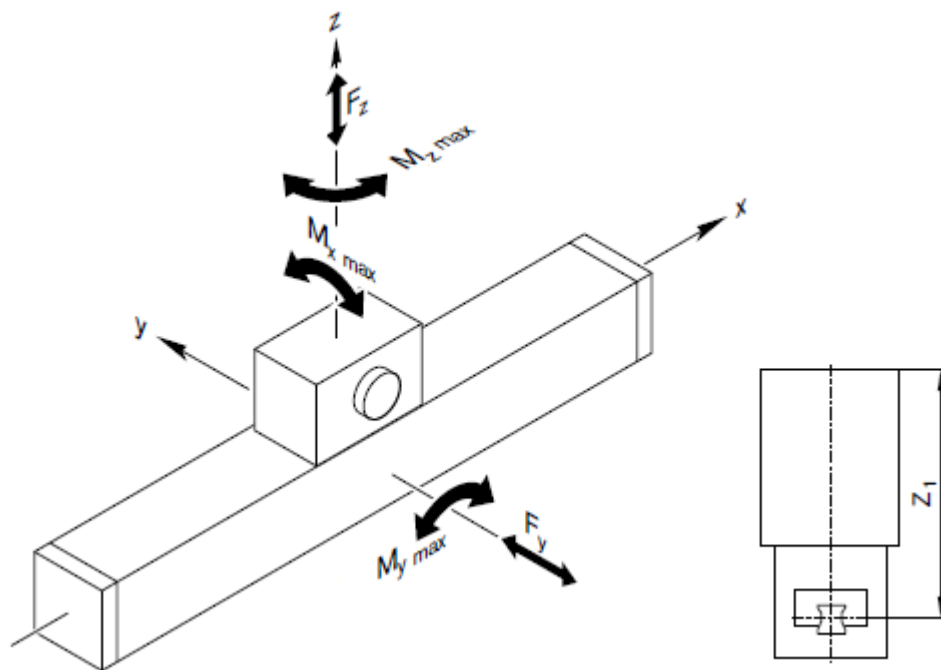
Así, a partir de la ecuación 5.2, se tiene que:

$$\frac{|F_z|}{F_{zmax}} + \frac{|M_x|}{M_{xmax}} = \frac{235,2\text{ N}}{1500\text{ N}} + \frac{15,29\text{ Nm}}{35\text{ Nm}} = 0,594 \leq 1 \quad (5.7)$$

Se concluye entonces, que el eje Y del robot, soporta de forma segura la combinación de cargas a la que se somete.

## 5.2.4 Resistencia mecánica del eje Z

El eje Z del sistema, lo constituye un módulo lineal de la serie OBB 55. A diferencia de los ejes X y Y, en este caso, el módulo no se somete a condiciones de flexión importantes. Se estudiará entonces, que la combinación de fuerzas y momentos torsores en el carrito, no excedan el valor permisible definido por el fabricante. En la figura 5.11, se muestra la forma en la que esta combinación de cargas, incide sobre el rodamiento del OBB 55.



**Figura 5.11** Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del OBB 55 [3].

Cabe destacar, que en el robot diseñado, el carrito de la figura 5.11, se mantiene fijo en su posición, y el perfil de aluminio es el que se somete al movimiento.

La especificación técnica del fabricante (Anexo B.2), define los valores máximos permisibles para las cargas representadas en la figura 5.11. En la tabla 5.5, se detallan estos valores de cargas, el par motor aplicable y la velocidad máxima a la que puede moverse el módulo OBB 55.

**Tabla 5.5** Parámetros máximos permisibles para el módulo OBB 55.

Fuerzas máximas permisibles (N)		Momentos de torsión máximos permisibles (Nm)			Máximo torque de motor aplicable (Nm)	Máxima velocidad de desplazamiento (m/s)
F <sub>y</sub> max	F <sub>z</sub> max	M <sub>x</sub> max	M <sub>y</sub> max	M <sub>z</sub> max		
6500	6500	62	440	440	12	5

Bosch Rexroth [3].

Al igual que en los módulos MLR 10-80, el fabricante recomienda, que la combinación de cargas en el OBB55, se apegue a la relación expuesta en la ecuación 5.2 de la sección 5.2.2.

Gracias a la configuración mecánica del sistema, el módulo OBB 55, no se somete a fuerzas  $F_y$  ni  $F_z$  (señaladas en la figura 5.11). Además, los momentos de torsión  $M_x$  y  $M_z$  son prácticamente nulos. En este caso, se ha determinado que el sistema se somete principalmente, a un momento de torsión  $M_y$ . Este momento, se obtiene como el producto del peso transportado, por la distancia en Z a la que se encuentra su centro de masa (medida desde el centro del carrito).

$$M_y = 165,2 \text{ N} \cdot 0,101 \text{ m} = 16,68 \text{ Nm} \quad (5.8)$$

Así, a partir de la ecuación 5.1, se tiene que:

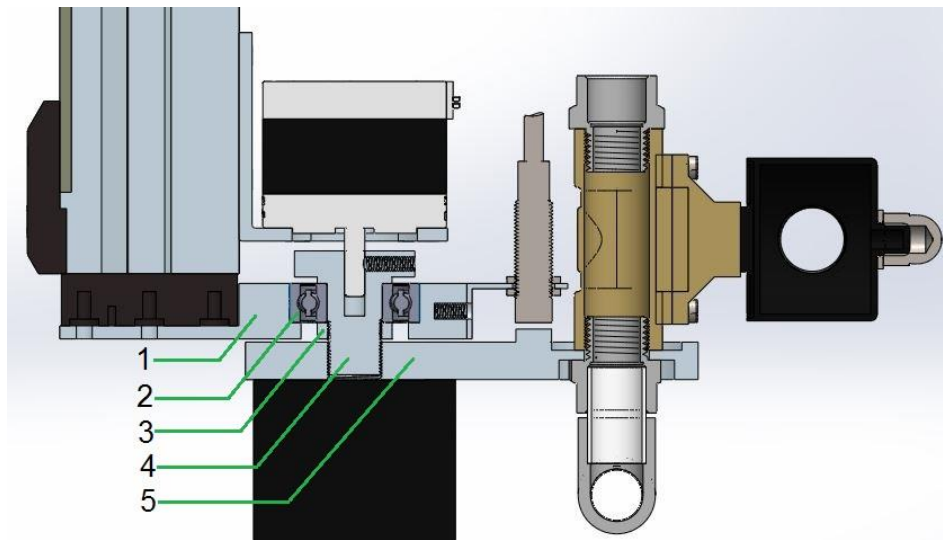
$$\frac{|M_y|}{M_{y\max}} = \frac{|16.68|}{440} = 0,038 < 1 \quad (5.9)$$

Se concluye entonces, que el eje Z del robot, soporta de forma segura la combinación de cargas a la que se somete.

### 5.2.5 Resistencia mecánica de la pinza robótica

La pinza robótica, es uno de los subensamblajes más importantes del sistema. Su composición mecánica, le confiere al robot los dos últimos grados de libertad, permitiéndole hacer la rotación y el agarre de los barriles.

El subsistema de rotación de la pinza, está conformado por varias piezas cuya resistencia mecánica es preciso verificar. Sin embargo, antes de proceder con el estudio de resistencia, se realiza una identificación de las partes componentes a estudiar. Para ello, se ofrece en la figura 5.12, una vista de sección del ensamblaje mostrado anteriormente en la figura 5.6 (sección 5.2.1).



**Figura 5.12** Vista de sección del sistema de rotación de la pinza robot.

Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

En la vista de la figura 5.12, se identifican las siguientes partes:

1. Acople de pinza (plano de pieza en hoja 4 del Apéndice A.2).
2. Cojinete de bolas (diámetro externo 40 mm).
3. Anillo sujetador (plano de pieza en hoja 6 del Apéndice A.2).
4. Tornillo de soporte (plano de pieza en hoja 5 del Apéndice A.2).
5. Soporte de pinza robótica (plano de pieza en hoja 3 del Apéndice A.2).

Analizando la figura 5.12, es posible notar como el peso combinado de la pinza y el barril de electrodeposición, recaerá como una carga axial sobre el cojinete de bolas. Se sabe, que la masa de un barril de electrodeposición, junto con la estructura de la pinza del robot, no supera los 10,5 kg. Ello implica, que la fuerza axial máxima en el cojinete será:

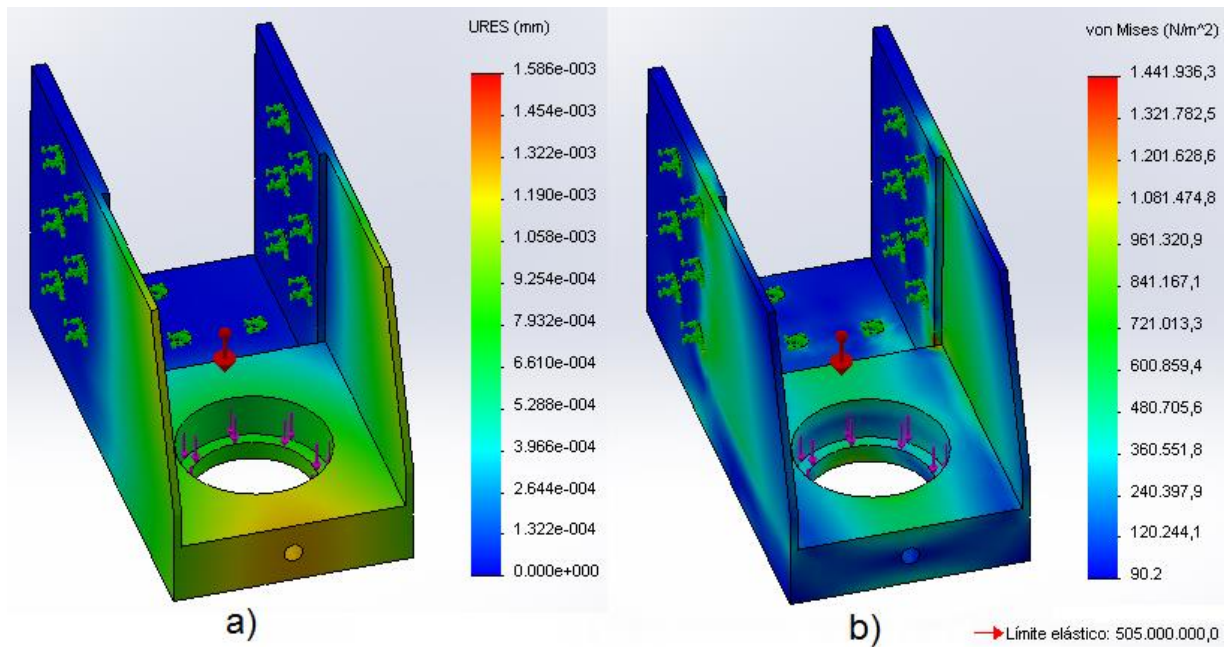
$$P = m \cdot g = 10,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 102,9 \text{ N} \quad (5.10)$$

El rodamiento utilizado para la rotación de la pinza, es un cojinete rígido de bolas de 40 mm de diámetro exterior, con una capacidad de carga estática  $C_0$  de 4,75 kN. Cuando este tipo de rodamiento, es sometido a una carga puramente axial, esta no podrá exceder el valor de  $0,5C_0$  [4]. Así, la resistencia del cojinete queda demostrada en la ecuación 5.11.

$$0,5C_0 = 0,5 \cdot 4,75 \text{ kN} = 2375 \text{ N} > 102,9 \text{ N} \quad (5.11)$$

En el subensamblaje de la figura 5.12, además del cojinete, también son piezas críticas el acople de la pinza, el soporte de esta, el tornillo de soporte y el cuerpo de las pinzas robóticas. Todas estas piezas, serán manufacturadas usando una aleación de aluminio AA 7075 T6, con un límite elástico de 505 MPa. La resistencia mecánica de sus diseños, se verifica mediante simulaciones computacionales como se muestra a continuación.

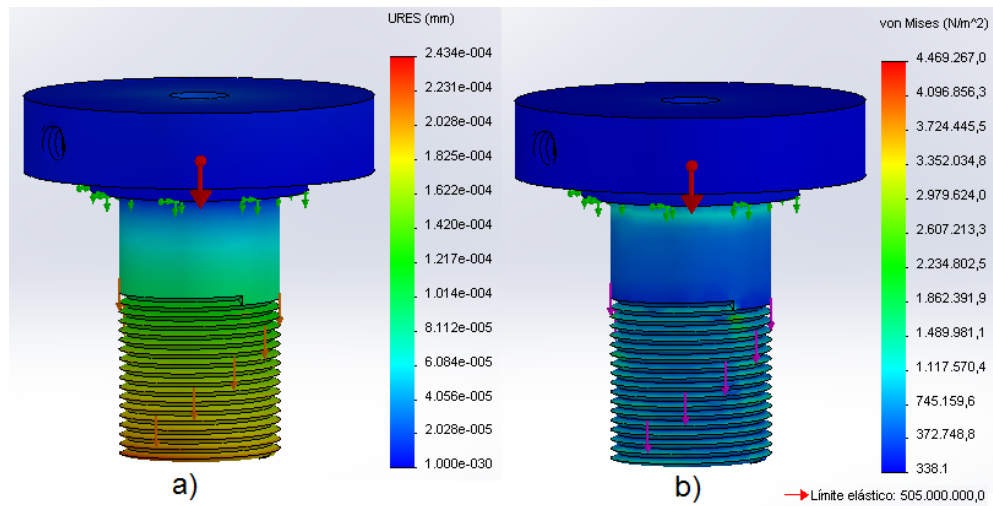
En la figura 5.13, se muestra el resultado de aplicar una fuerza de 102,9 N al acople (pieza 1 en la figura 5.12). Dicha fuerza, corresponde al peso combinado del barril de electrodeposición y la pinza del robot. Se muestran: a) los desplazamientos resultantes debidos a la deformación [mm] y b) los esfuerzos de Von Mises internos [Pa].



**Figura 5.13** a) Desplazamientos resultantes (mm) en el acople de la pinza; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para el acople de la pinza. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

Las flechas en verde, en la figura 5.13, representan secciones de la geometría fijas (sujeciones o tornillos), las moradas por su parte, identifican el área de aplicación de la fuerza. Se observa, en la figura 5.13 (a), que los desplazamientos máximos debidos a la deformación de la geometría, no superan el valor aproximado de  $1,322 \times 10^{-3}$  mm. Por otro lado, los esfuerzos máximos de Von Mises, en la figura 5.13 (b), rondan el valor de 1,3 MPa. Se concluye entonces, que la pieza resiste con seguridad las cargas a las que se somete, pues los esfuerzos máximos no superan el límite elástico de 505 MPa.

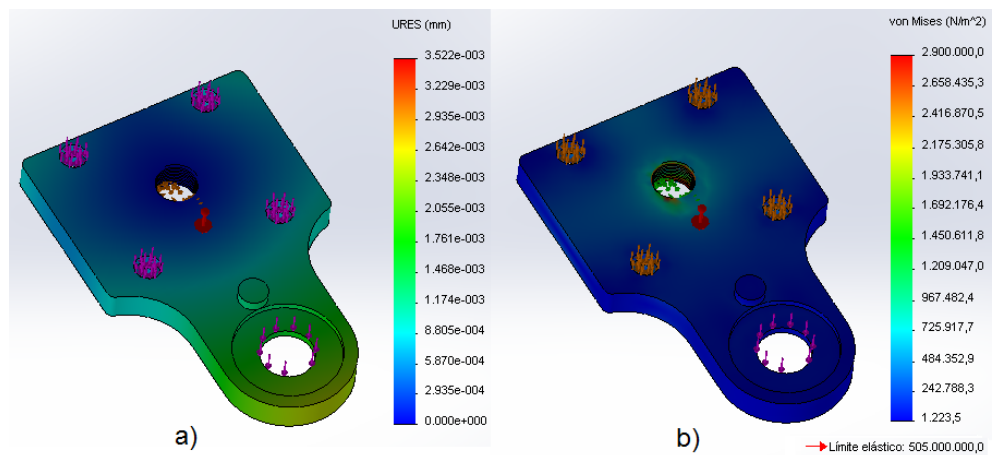
De forma similar a como se hizo para el acople, se simula la resistencia mecánica del tornillo de soporte (pieza 4 en la figura 5.12). Se aplican las cargas correspondientes y se fija la geometría en los puntos de sujeción. En la figura 5.14, se muestran los resultados obtenidos en este caso.



**Figura 5.14** a) Desplazamientos resultantes (mm) en el tornillo de soporte; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para el tornillo de soporte. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

Se observa, en la figura 5.14 (a), que los desplazamientos máximos no superan el valor aproximado de  $2,028 \times 10^{-4}$  mm. Por otro lado, los esfuerzos máximos de Von Mises, en la figura 5.14 (b), rondan el valor de 2,2 MPa. Por lo tanto, el tornillo de soporte resiste con seguridad las cargas a las que se somete, pues los esfuerzos máximos son inferiores el límite elástico de 505 MPa.

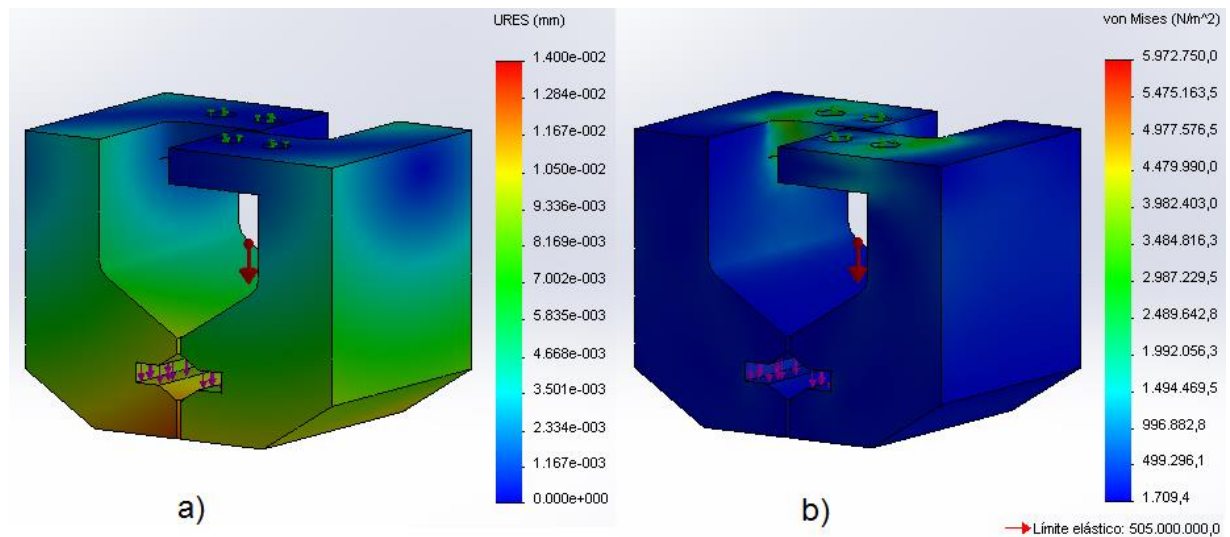
Seguidamente, se muestra en la figura 5.15, el mismo resultado para el soporte de la pinza del robot (pieza 5 en la figura 5.12).



**Figura 5.15** a) Desplazamientos resultantes (mm) en el soporte de la pinza; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para el soporte de la pinza. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

En este caso, los resultados de la figura 5.15 (a), arrojan un desplazamiento máximo por deformación de alrededor de  $2,642 \times 10^{-3}$  mm. Además, los esfuerzos máximos de Von Mises, representados en la figura 5.15 (b), se dan en las cercanías del agujero donde enrosca el tornillo de soporte y rondan un valor de 1,9 MPa. Se puede concluir entonces, que el soporte de la pinza, también resiste de forma segura las cargas a las que se somete, pues los esfuerzos máximos no superan el límite elástico de 505 MPa.

Por último, se simula la resistencia mecánica del cuerpo de la pinza (plano de pieza en hoja 2 del Apéndice A.2). Se aplica el peso correspondiente a la masa máxima de un barril de electrodeposición lleno (8 kg) y se fija la geometría en los puntos de sujeción. En la figura 5.16, se muestran los resultados obtenidos.



**Figura 5.16** a) Desplazamientos resultantes (mm) en la pinza del robot; b) Esfuerzos de Von Mises (Pa) para la pinza del robot. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

Los resultados de la figura 5.16 (a), muestran como los desplazamientos por deformación en la geometría, no superan un valor cercano a los  $1,167 \times 10^{-2}$  mm. Por otro lado, los esfuerzos máximos de Von Mises, en la figura 5.16 (b), se dan en los alrededores de los puntos de sujeción de las pinzas y rondan un valor de 3,0 MPa. Por

lo tanto, se puede concluir que las pinzas del robot resisten las cargas a las que se someten, pues los esfuerzos máximos no superan el límite elástico de 505 MPa.

### 5.2.6 Dimensionado de sistemas de accionamiento

Para seleccionar los motores que accionan los ejes del robot, se inició por definir las velocidades y aceleraciones de operación deseadas en los carritos de los módulos. A partir de estos requerimientos de movilidad lineal, se obtuvieron las magnitudes rotacionales requeridas en los ejes de cada motor. Se procedió entonces, a realizar los cálculos dinámicos tomando en consideración los pesos transportados. Se incluyeron en las operaciones, las componentes inerciales a vencer, para provocar el movimiento de las masas y para la rotación de las poleas en los módulos. Las fuerzas de fricción, que se oponen al movimiento de los ejes del sistema, también fueron incluidas en el modelo dinámico.

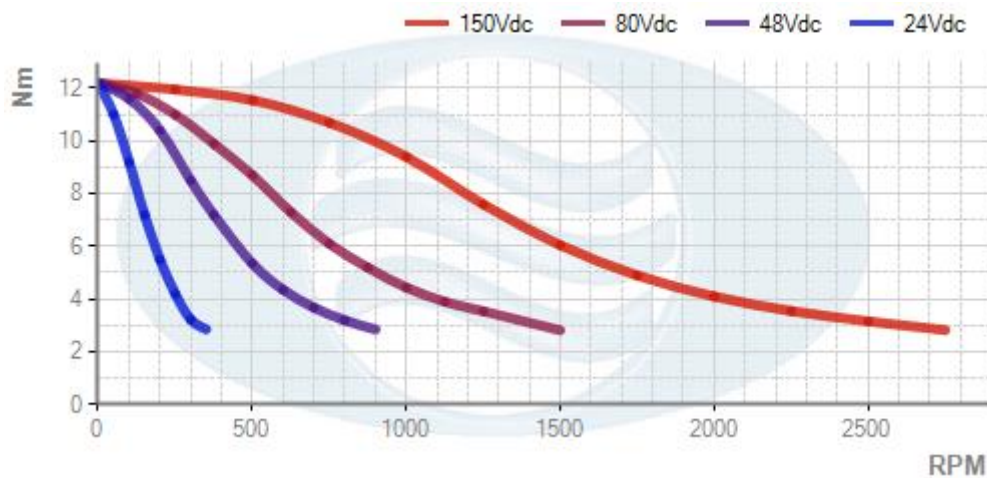
Para cada grado de libertad del robot, se utilizó un diagrama de cuerpo libre. En estos, se aplicaron las ecuaciones de equilibrio dinámico haciendo uso de la segunda ley de Newton. Como resultado de dichas ecuaciones, se obtuvieron los pares de motor resumidos en la tabla 5.6.

**Tabla 5.6** Resumen de resultados de cálculos dinámicos y requerimientos de movilidad.

	Velocidad del carrito deseada	Aceleración del carrito deseada	Velocidad del motor requerida		Aceleración del motor requerida	Par requerido para acelerar	Par motor escogido
	m/s	m/s <sup>2</sup>	rpm	pasos/s	rad/s <sup>2</sup>	Nm	Nm
<b>Movimiento eje X</b>	1,2	6,0	351,0	1170,4	183,85	9,12	12,1
<b>Movimiento eje Y</b>	1,0	5,0	262,6	975,4	153,21	4,57	8,1
<b>Movimiento eje Z</b>	1,0	5,0	363,6	1212,1	190,40	6,63	9,2
<b>Rotación de barril</b>	NA	NA	60,0	200,0	62,83	0,34	0,8

Los valores de par motor, especificados en la tabla 5.6, corresponden a los torques de los motores seleccionados. Debe considerarse, que el torque máximo en un motor a pasos, se reduce considerablemente al aumentar su velocidad de giro. Por lo tanto, es importante verificar la capacidad de los motores escogidos, con base en sus curvas torque-velocidad.

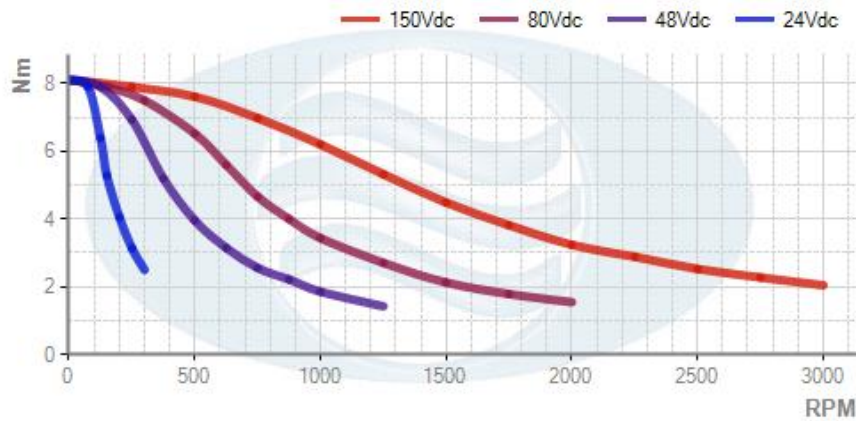
La figura 5.17, muestra la curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje X. Para este grado de libertad, se seleccionó un motor Nema 34 LAM Technologies de 12,1 Nm, operado a 48 V (hoja de datos en Anexo B.5).



**Figura 5.17** Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje X [17].

En la curva de la figura 5.17, se puede observar como el motor alimentado a 48 V, es capaz de entregar el par requerido en el arranque de 9,12 Nm. Conforme el motor aumenta su velocidad, el par que requiere para mantener el movimiento disminuye. Por lo tanto, la reducción de su capacidad de torque, ilustrada en la figura 5.17, no representa un problema para la movilidad del eje X.

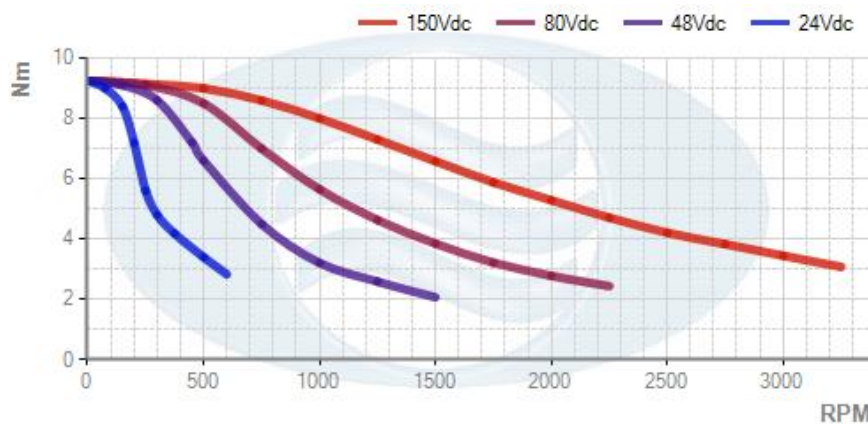
Seguidamente, se muestra en la figura 5.18, la curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Y. En este caso, se seleccionó un motor Nema 34 LAM Technologies de 8,1 Nm; también operado a 48 V (hoja de datos en Anexo B.5).



**Figura 5.18** Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Y [17].

Según los resultados de los cálculos dinámicos, mostrados en la tabla 5.6, el par requerido en el arranque, en este grado de libertad, será de aproximadamente 4,57 Nm. En el gráfico de la figura 5.18, se puede observar como el motor alimentado a 48 V, es capaz de entregar un par de arranque de hasta 8,1 Nm. Cuando el motor alcance la velocidad deseada de 262,6 rpm, su capacidad máxima de torque habrá caído a aproximadamente 7 Nm. Este torque, es aún mayor que el par máximo de 4,57 Nm que se requiere para mover al eje Y desde el reposo.

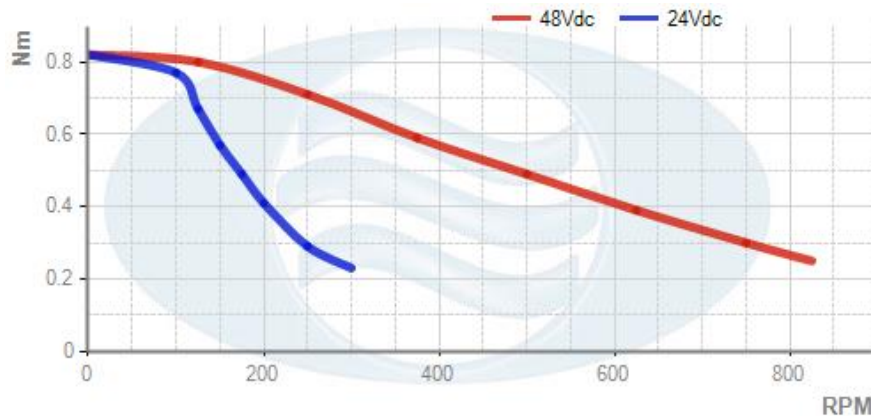
También, se muestra en la figura 5.19, la curva torque-velocidad para el motor del eje Z. Para este eje, se seleccionó un motor Nema 34 LAM Technologies de 9,2 Nm (hoja de datos en Anexo B.5).



**Figura 5.19** Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Z [17].

Se puede observar, en la figura 5.19, como el motor a pasos seleccionado (alimentado a 48 V), no tendría problemas para entregar el par requerido al arranque de 6,63 Nm. Cuando el motor alcance la velocidad requerida de 363,6 rpm, su capacidad de torque se habrá reducido a un valor aproximado de 8 Nm. Nuevamente, este valor de torque, es aún mayor que los 6,63 Nm que se requieren para mover el eje Z desde el reposo. Por lo tanto, el motor seleccionado tiene capacidad suficiente para acelerar la masa transportada de acuerdo a los requerimientos estipulados en la tabla 5.6.

Finalmente, se muestra en la figura 5.20, la curva torque-velocidad del motor a pasos que se utilizará para la rotación del barril. Para este grado de libertad, se seleccionó un motor Nema 23 LAM Technologies de 0,8 Nm, operado a 48 V (hoja de datos en Anexo B.6).



**Figura 5.20** Curva torque-velocidad del motor a pasos para la rotación del barril [17].

En este caso, el par requerido para acelerar el barril, según los cálculos dinámicos, es de aproximadamente 0,34 Nm. En la figura 5.20, se puede observar como el motor alimentado a 48 V, podría aplicar un par de hasta 0,8 Nm al arranque. Incluso, cuando el mismo haya alcanzado la velocidad requerida de 60 rpm, su par máximo apenas habrá empezado a decaer. Por lo tanto, el motor seleccionado tiene la capacidad suficiente para provocar el giro del barril.

### 5.3 Diseño electrónico y de control

#### 5.3.1 Diseño de interfaz de potencia entre sensores y unidad de control

En el diseño, se utilizaron sensores de proximidad inductivos para lograr identificar las posiciones más importantes en los ejes de coordenadas X-Y-Z. Dichos sensores, los provee el fabricante de los módulos de desplazamiento lineal con los que se trabajó. En total se cuenta con seis sensores (dos por eje). Los mismos, se pueden apreciar en la figura 5.21.



**Figura 5.21** Ubicación de sensores de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

Los sensores mostrados en la figura 5.21, cuentan con las características eléctricas descritas en la figura 5.22 tomadas del apéndice B9. Además, cuentan con una carcasa lista para instalar en los módulos lineales, lo cual facilita su instalación.

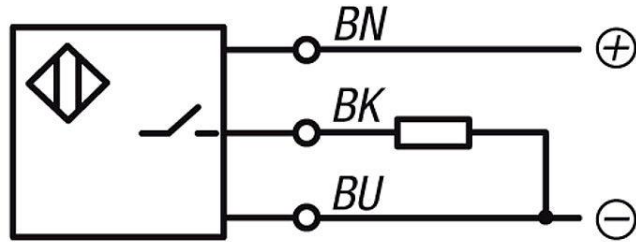
## Proximity switches

Proximity switch with potted cable (3 x 0.14 mm <sup>2</sup> Unitronic) Technical data	
Housing form	NO
Minisensor	Form A DIN 41635
Operating voltage	10 ... 30 V DC
Residual ripple	≤ 10%
Load	200 mA
No-load current	≤ 20 mA
Switching frequency	max. 1500 Hz
Temperature-related shift in make point	≤ 4 μm/K
Output signal steepness	≥ 1V/μs
Repeatability of make point per EN 50008	≤ 0.1 mm
Cable length	3 m
MTTF <sub>d</sub> as per EN ISO 13849-1	30 – 100 years

**Figura 5.22** Características del sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales [3].

Con base en los datos de corriente con carga y sin carga y voltaje de salida, mostrados en la figura 5.22, se realizó una etapa de potencia con la cual fuera posible alimentar los sensores y adaptar sus señales al sistema de control. Se escogió un voltaje de alimentación de 24 VDC, el cual es un valor común en fuentes de alimentación comerciales. Por otro lado, el control opera a 5 VDC con la premisa de que los sensores inductivos de productividad presentan salidas de tipo PNP como la descrita en la figura 5.23.

Connection diagram:



BN = brown  
BK = black  
BU = blue

**Figura 5.23** Salida tipo PNP del sensor de proximidad de los módulos lineales usados [7].

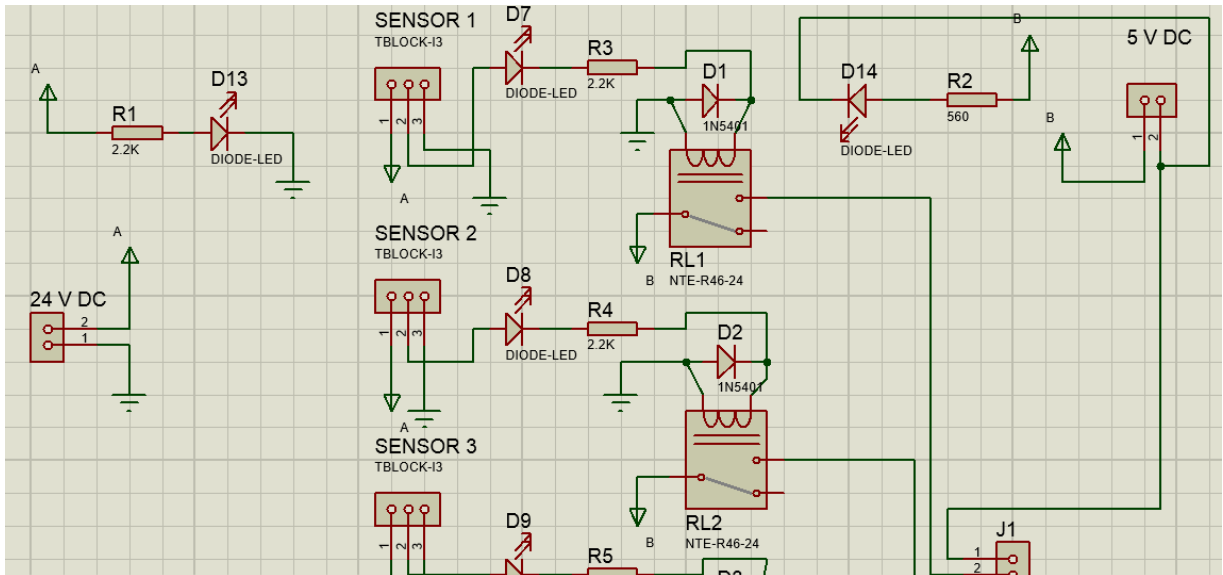
Se debe de conectar la carga entre la salida y tierra como se muestra en la figura 5.23. Lo anterior, permite obtener una señal digital en el control cuando el sensor detecta la proximidad de un objeto.

A continuación, las características de la señal a tratar:

- No se requiere una alta frecuencia de conmutación debido a la velocidad del equipo.
- Salida de tipo digital con una caída de máximo 10% con respecto a la alimentación debido al ripple.
- Normalmente abierto.

Debido a las características presentadas anteriormente, se realiza un diseño basado en relays electromecánicos de 24 VDC. Ello permite adaptar la señal a 5 VDC a un bajo costo.

En la figura 5.24, se muestra el circuito utilizado para la simulación en el programa Proteus ISIS 8 ®.

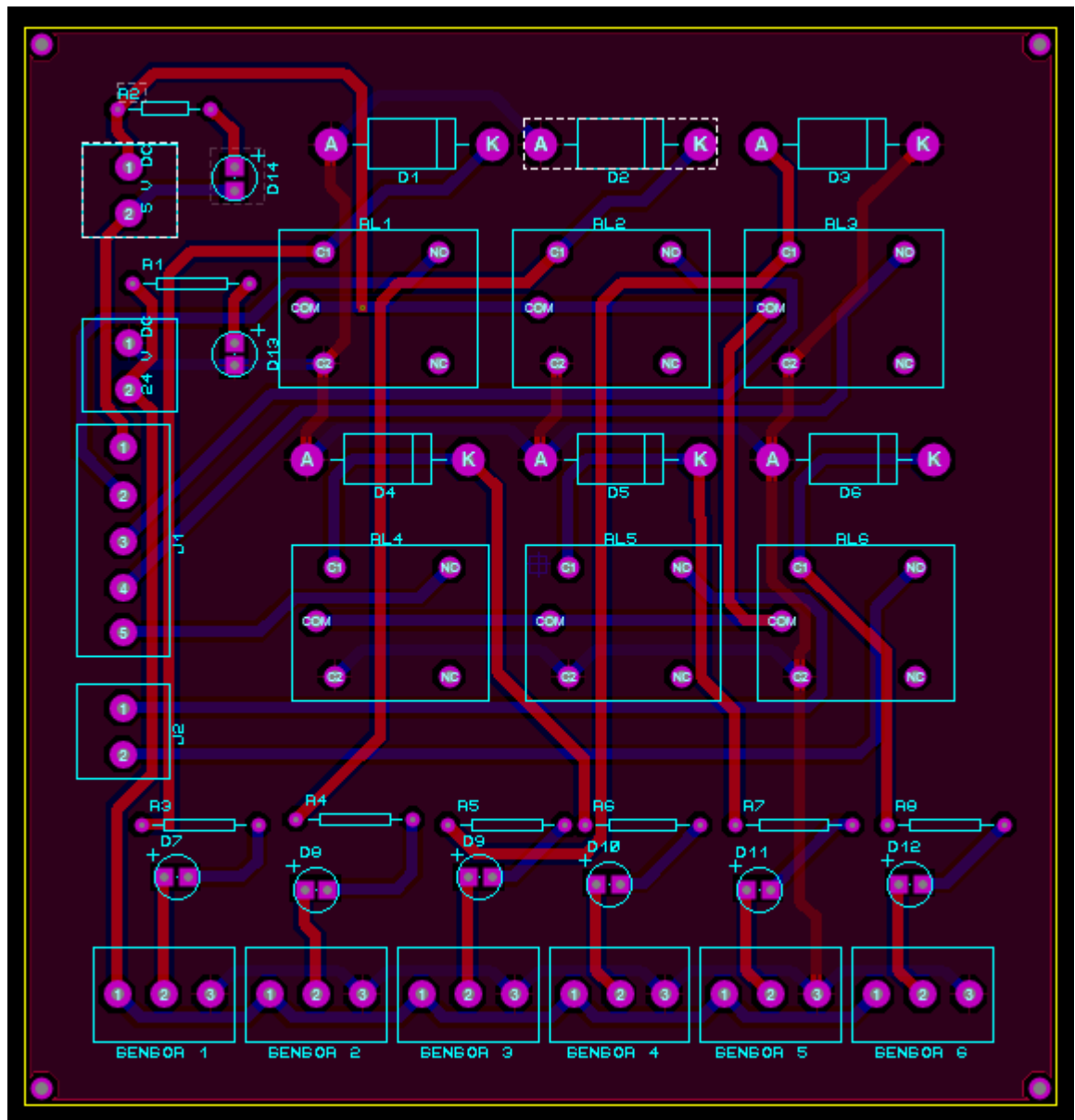


**Figura 5.24** Circuito de potencia de sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en *Proteus ISIS 8* ®.

En el diseño de la figura 5.24, se pueden observar varios componentes utilizados como protección y como indicadores. Se cuenta con un diodo IN5401 de protección en cada bobina de entrada de los 6 relays. Además, se utiliza un LED indicador para identificar cuando la señal de los sensores está en alto.

Se realizó el diseño de una PCB (siglas del inglés Printed Circuit Board) del circuito mostrado en la figura 5.24. Esta PCB, se muestra en la figura 5.25. Para su elaboración, se utilizó el programa Proteus 8 ARES ®, donde se trabajó con capas por ambos lados para reducir la densidad de las mismas y facilitar su fabricación.

Las salidas normalmente cerradas de los relays electromecánicos, se dejan desconectadas, cumpliendo con los requerimientos del circuito de control. El circuito, además de adaptar las señales de 24 VDC a 5 VDC, permite alimentar los 6 sensores, con una sola entrada a 24 VDC. Se debe tener en cuenta que cada sensor demanda 200 mA con carga, por lo que en total la fuente de alimentación deberá de ser capaz de suministrar mínimo 1,2 A en la salida a utilizar.



**Figura 5.25** Circuito Impreso de potencia del sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en *Proteus ARES 8* ®.

En la figura 5.25, se describen en azul las pistas de soldadura de la capa inferior y en rojo las de la capa superior. Se presenta además, un plano a tierra en ambas caras. La PCB cuenta con dimensiones de 11,5x11,5 cm, un grosor de 1,6 mm y un espesor de cobre de 25  $\mu\text{m}$ .

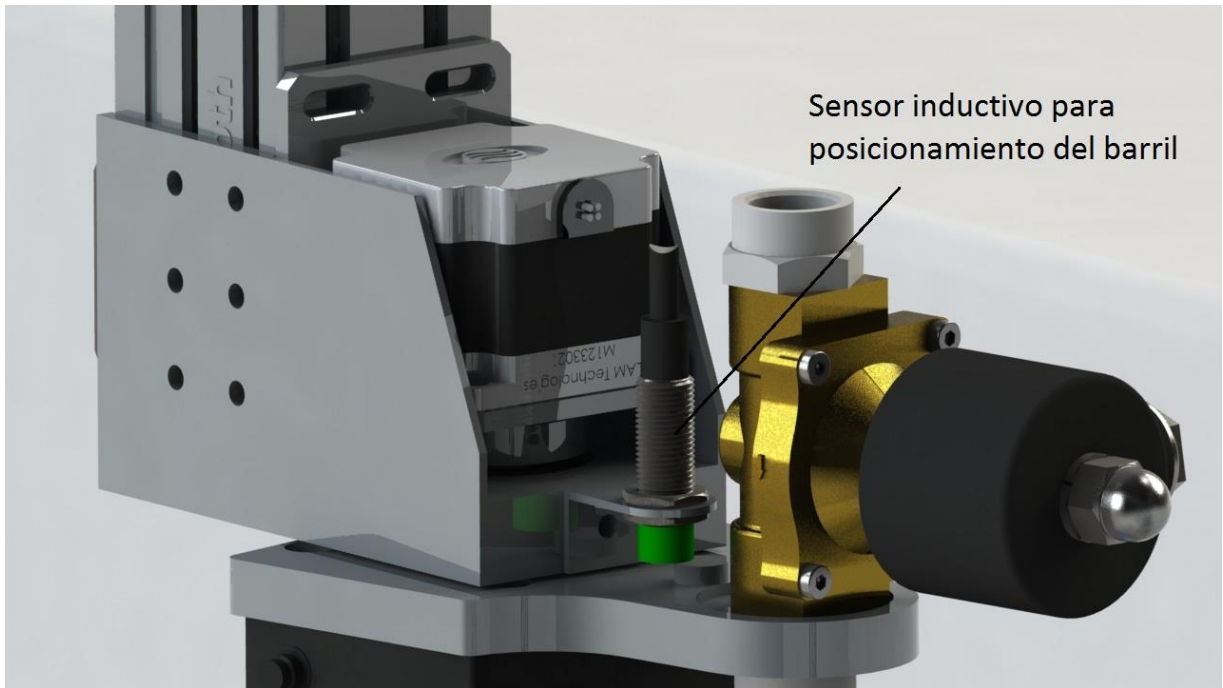
El grosor de las líneas de soldadura, se ha determinado utilizando la herramienta de la ANSI (siglas del inglés American National Standard Institute), o el Instituto de Estándares de América. Con ella, se ha calculado el grosor de las pistas de soldadura dependiendo de la corriente y otros factores importantes a considerar. Dicha herramienta, se muestra en la figura 5.26.

ANSI PCB TRACE WIDTH CALCULATOR							
Input Data			Results Data				
Field	Value	Units	Trace Data	Internal Traces		External Traces	
				Value	Units	Value	Units
Current (max. 35A)	3	Amps ▼	Required Trace Width	41.16	mil ▼	15.82	mil ▼
Temperature Rise (max. 100°C)	25	°C ▼	Cross-section Area	110.63	mil <sup>2</sup> ▼	42.53	mil <sup>2</sup> ▼
Cu thickness	2	oz/ft <sup>2</sup> ▼	Resistance	0.03	Ω Ohms	0.07	Ω Ohms
Ambient Temperature	25	°C ▼	Voltage Drop	0.08	Volts	0.21	Volts
Conductor Length	100	mm ▼	Loss	0.24	Watts	0.63	Watts
Peak Voltage	24	Volts	Required Track Clearance	0.71	mm ▼		

**Figura 5.26** Cálculo del grosor de las líneas de la PCB de los sensores de posición [29].

El cálculo de la figura 5.26, corresponde al espesor de las pistas para la etapa de 24 VDC. Con base en los parámetros de corriente y voltaje del circuito, se recomienda la utilización de pistas T41. Las mismas, tienen un espesor de 1,01 mm, sin embargo, se trabajó con líneas T50 de 1,27 mm con el fin de evitar un daño en la tarjeta impresa en caso de presentarse picos de corriente. Con este mismo propósito, se utilizó un diodo protector en el circuito.

Por otro lado, para monitorear la posición del barril, se utiliza un sensor inductivo IMA012-06BE3ZC0K. El mismo, se observa en la figura 5.27. Este sensor inductivo, presenta salida de tipo analógica, lo cual permite determinar cuando la pinza se encuentra perfectamente alineada a 0°.



**Figura 5.27** Ubicación del sensor de proximidad IMA012-06BE3ZC0K usado para determinar la posición del barril. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

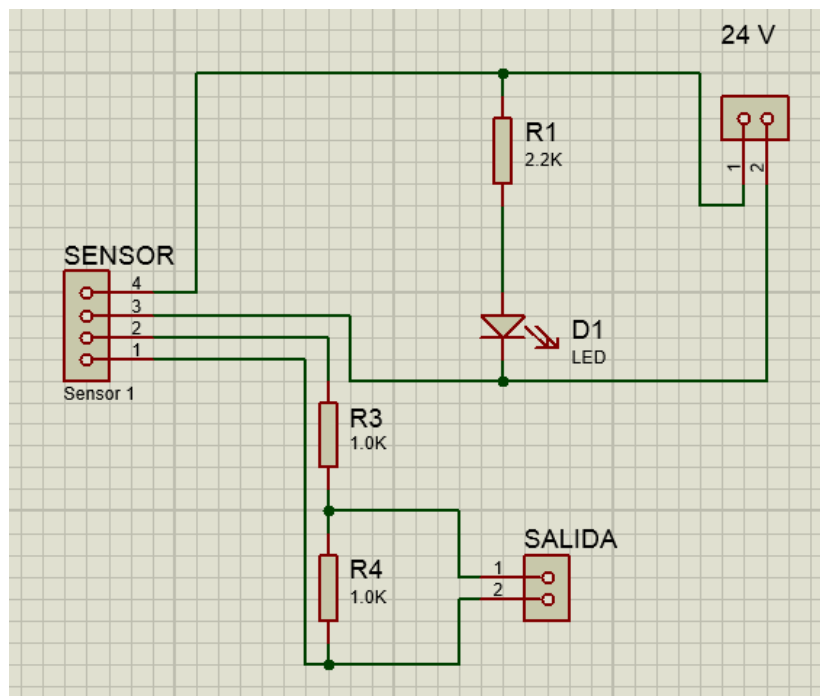
En la figura 5.27, se muestra la ubicación del sensor de proximidad usado para posicionar el barril. Se citan a continuación, sus principales características eléctricas.

- Tipo de conexión M12 de 4 pines.
- Alimentación entre 15 y 30 VDC.
- Salida analógica 0-10 VDC y 4-20 mA.
- Normalmente abierto NO.

En este diseño, se utiliza el sensor con los siguientes parámetros eléctricos:

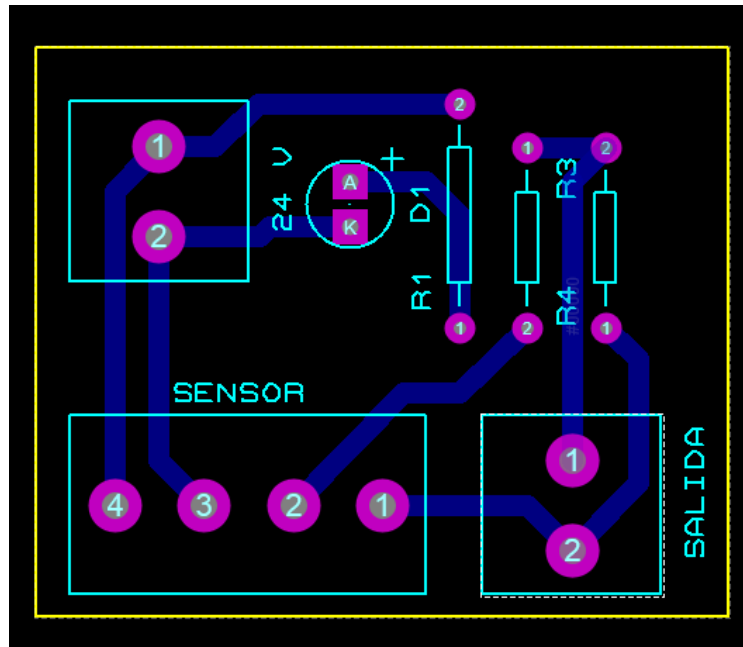
- Salida analógica 0-5 VDC
- Alimentación 24 VDC.
- Salida PNP.

Debido a que la corriente de salida no supera un máximo 20 mA, no habrá problema en conectar el sensor directamente al circuito de control. El mismo, consta de un PIC18F4550, el cual admite una corriente de hasta 25 mA por pin. Se hará sin embargo, una división de tensión para obtener un valor máximo de 5 VDC. Para lograrlo, se utiliza el circuito mostrado en la figura 5.28. En este circuito, las entradas 3 y 4 son la alimentación del sensor, que tal y como se mencionó, se alimenta 24 VDC. Los conectores 1 y 2 son las salidas del mismo. Se utilizó además, un LED indicador para conocer si el circuito está energizado o no.



**Figura 5.28** Circuito de potencia del sensor de proximidad IMA012-06BE3ZC0K usado para determinar la posición del barril. Elaborado en *Proteus ISIS 8*®.

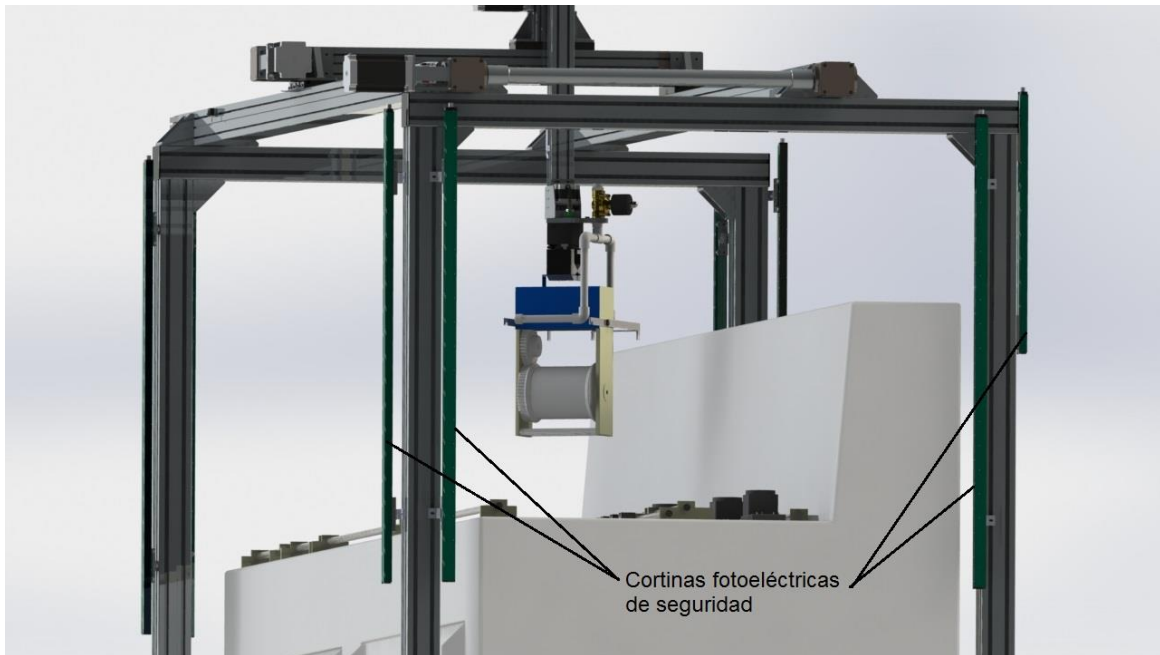
En la figura 5.28, se puede observar cómo se utilizaron dos resistencias de 1 k $\Omega$  y 1/4 W para dividir el voltaje de salida. Para este circuito, se diseñó también una PCB. La misma, se muestra en la figura 5.29.



**Figura 5.29** Circuito impreso de potencia para el sensor de proximidad IMA012-06BE3ZC0K utilizado para determinar la posición del barril. Elaborado en *Proteus ARES 8* ®.

La PCB de la figura 5.29, cuenta con pistas de soldadura T50 para facilitar su fabricación. Tiene dimensiones de 4,2x3x5 cm, un grosor de 1,6 mm y una capa de cobre con un espesor de 25 µm.

Por otra parte, tal y como se mencionó en la sección 5.1.4, se utilizaron cuatro pares de cortinas de seguridad SLCS Pepper&Fuchs. La ubicación de las mismas, se puede observar en la figura 5.30.



**Figura 5.30** Ubicación de cortinas fotoeléctricas de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs.  
Elaborado en *SolidWorks 2013* ©.

En la figura 5.30, se puede observar como las cortinas de seguridad monitorean todo el perímetro de la mesa. Cada par de sensores, está compuesto por un transmisor y receptor. Sus especificaciones técnicas, se detallan en el anexo B7. Las conexiones y señales del transmisor se muestran en la figura 5.31 (para más detalles ver Anexo B.10).

**Transmitter:**



Figure 4.3 Pin assignment transmitter unit

- 1 24 V DC
- 2 Mode A/B
- 3 0 V DC
- 4 Test

**Figura 5.31** Conexiones del transmisor de la cortina de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25].

En la figura 5.31, se puede observar que el transmisor solo requiere la alimentación de 24 VDC y una señal de control que indica el modo de operación de los sensores. Las conexiones del receptor, se señalan en la figura 5.32.

**Receiver:**



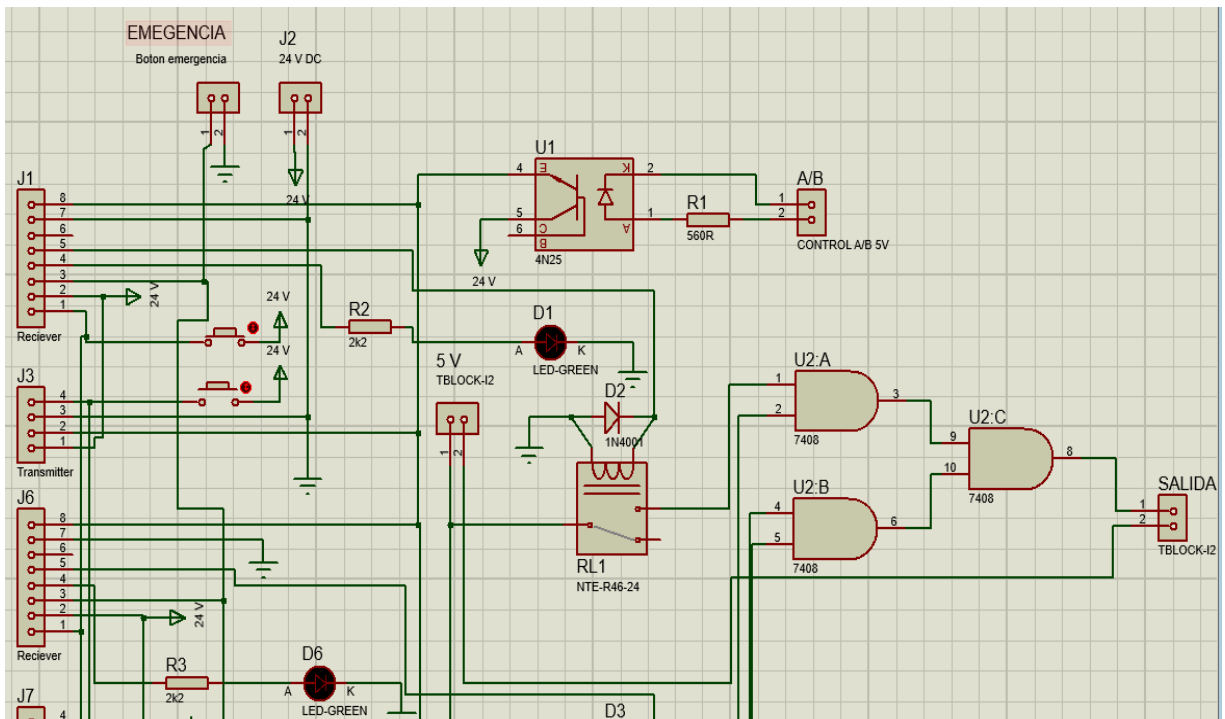
Figure 4.4 Pin assignment receiver unit

- 1 Restart Interlock (RI)
- 2 24 V DC
- 3 Relaismonitor (RM)
- 4 Status / Select RI-RM
- 5 OSSD 1
- 6 OSSD 2
- 7 0 V DC
- 8 Mode A/B

**Figura 5.32** Conexiones del receptor de la cortina de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25].

De la figura 5.32, es importante destacar la conexión del monitor de relays. Esta conexión, permite agregar uno o más dispositivos de seguridad. En este caso, la misma se utiliza para el botón de paro de emergencia del sistema. La salida 4, permite utilizar la señal del indicador luminoso, como señal de control. Las salidas 5 y 6, son las salidas que se utilizan para el circuito de control. Estas se alimentan a 22 VDC y admiten una corriente de 100 mA. En el apéndice B.10, se ofrece un resumen de las principales características eléctricas de los sensores.

Con base en estas características, se realizó el diseño de un circuito que permite monitorear todos los sensores de seguridad. La activación de cualquier sensor, se monitorea con una señal de control común. De esta forma, se minimiza el uso de puertos en el PIC. Este circuito se puede observar en la figura 5.33.

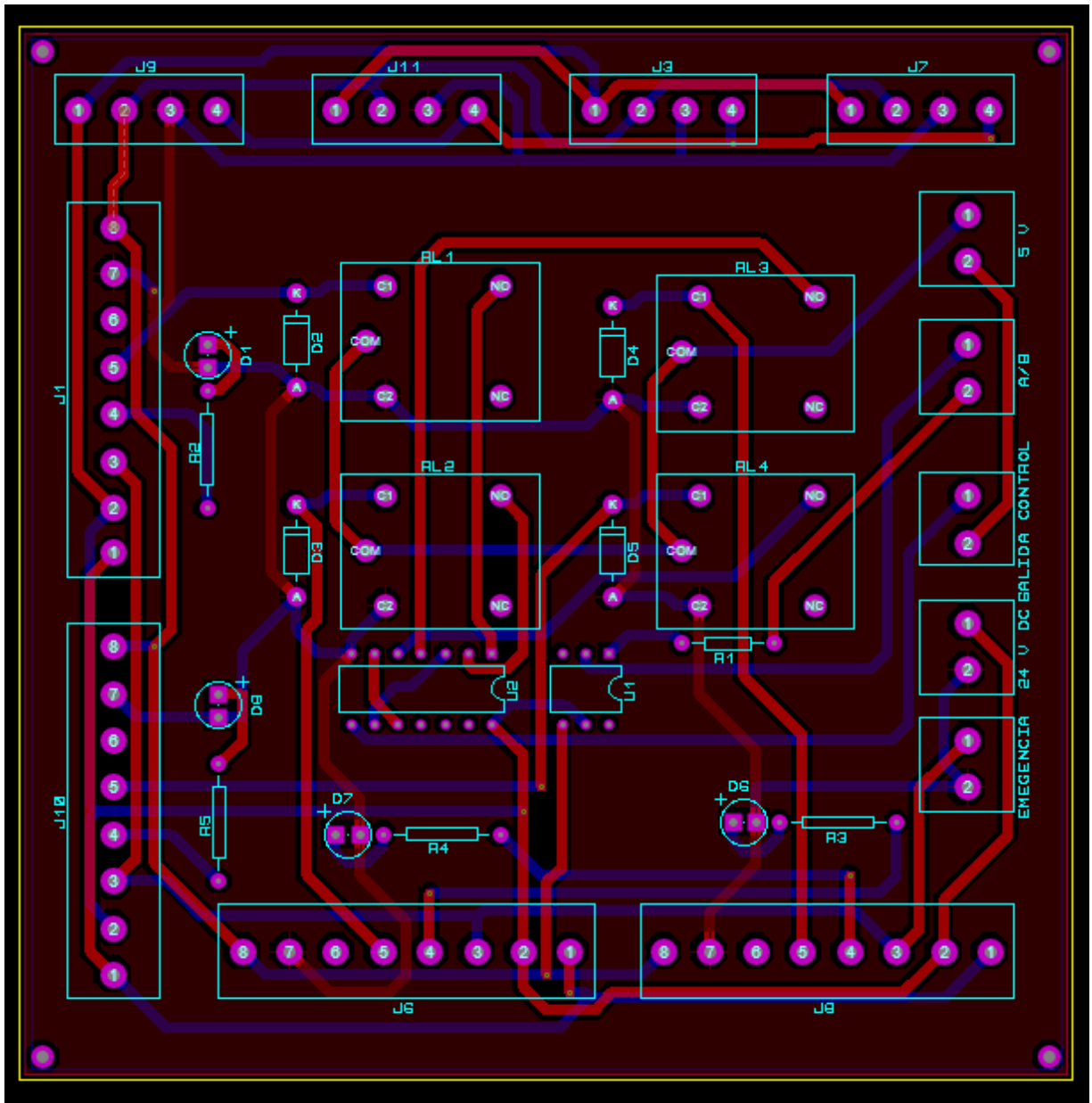


**Figura 5.33** Circuito de potencia de los sensores de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs.

Elaborado en *Proteus ISIS 8*®.

En la figura 5.33, se puede observar una sección del circuito de potencia, correspondiente al manejo de los sensores de seguridad. Debido a que no se utilizan altas frecuencias de conmutación y las salidas son normalmente abiertas, se utilizan relays electromecánicos para adaptar las señales de 24 VDC a 5 VDC. Para estos, se utiliza un diodo de protección tal y como se muestra en la figura 5.33. Además, el circuito cuenta con dos botones, uno de ellos se utiliza como reset y el otro para poner los sensores en modo de prueba. Las salidas adaptadas de todos los sensores, se manejan por medio de una compuerta logica OR con un circuito integrado 7408.

En el caso de la señal de control proveniente del microcontrolador, se utiliza un optoacoplador 4N25 para adaptar la señal a 24 VDC. Se coloca un led de protección para el optoacoplador y también otros 4 leds para indicar el estado de las salidas de cada par de cortinas. En la figura 5.34, se muestra la PCB realizada para este circuito.



**Figura 5.34** Circuito Impreso de potencia para los sensores de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs.  
Elaborado en *Proteus ARES 8* ®.

La PCB de la figura 5.34, cuenta con doble capa y pistas de soldadura T50 con plano a tierra. Las entradas J9, J11, J3 y J7 son para los transmisores y las entradas J1, J10, J6 y J8 son para los receptores. Sus dimensiones son de 11,5x11,5 cm, un grosor de 1,6 mm y una capa de cobre de 25  $\mu\text{m}$  de espesor. Tambien, cuenta con

una terminal para conectar el boton de emergencia y una única salida de 5 VDC para el circuito de control.

### 5.3.2 Diseño de interfaz de potencia entre unidad de control y actuadores

El diseño de la interfaz de potencia entre la unidad de control y los actuadores, se trabaja con distintas alimentaciones así como con potencias mayores. En la tabla 5.7, se listan los diferentes actuadores y señales que se deben de adaptar. En los apéndices B.5 y B.6 se detallan los datos de los motores de los ejes X, Y, Z y la rotación del barril. Además, se muestran en el apéndice B.3 las características de la pinza robótica.

**Tabla 5.7** Resumen de actuadores y señales a adaptar para la etapa de potencia entre actuadores y el control.

Dispositivo o señal a tratar	Voltaje de operación [VDC]	Potencia [W]
Motor eje X NEMA 34	48	480,0
Motor eje Y NEMA 34	48	340,8
Motor eje Z NEMA 34	48	340,8
Motor rotación barril NEMA 23	48	29.76
Electroválvula para lavado	24	50
Pinza robótica	24	19,2

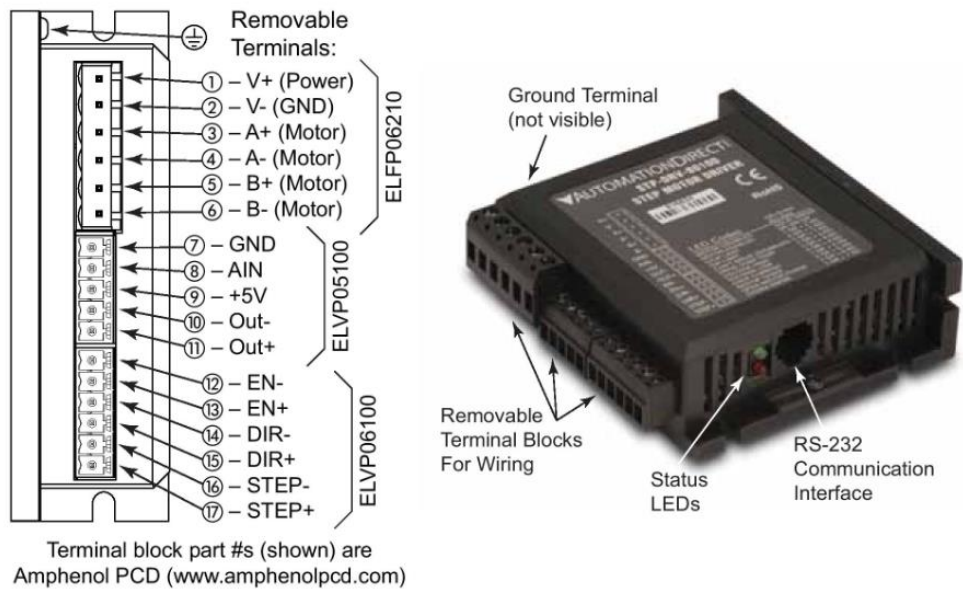
Como se puede observar en la tabla 5.7, el componente más crítico es el motor del eje X. Este cuenta con una potencia de 480 W y una corriente de fase de 10 A. Debido a la alta corriente, se recurre a utilizar un driver STP-DRV-80100. El mismo, admite perfectamente dicha corriente nominal hasta con una alimentación de 80 VDC. En la figura 5.35, se ilustra el driver de motor utilizado.



**Figura 5.35** Driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].

Para el driver de la figura 5.35, se muestra el detalle de las conexiones eléctricas en la figura 5.36.

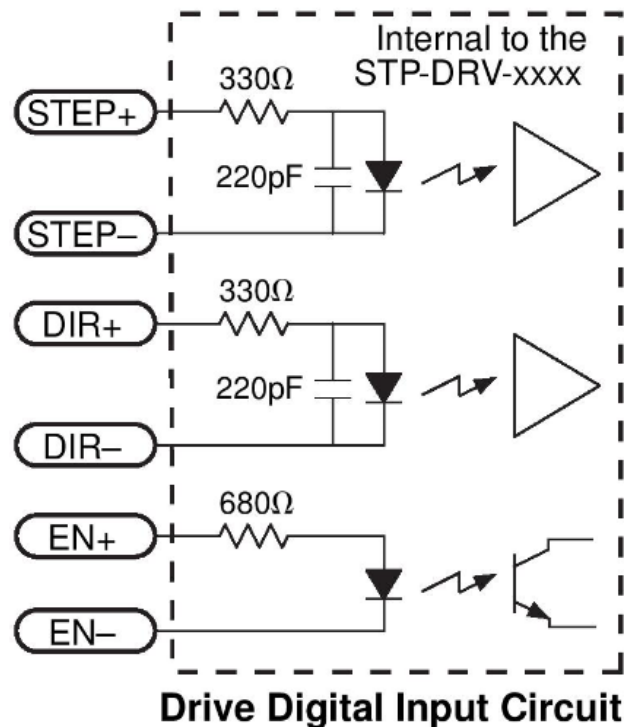
### Connection Locations & Pin-out



**Figura 5.36** Conexiones eléctricas de driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].

Es posible apreciar en la figura 5.36, que el driver cuenta con tres entradas TTL a 5 VDC que permiten realizar el control del motor: la señal de *step* (paso), la de *enable*

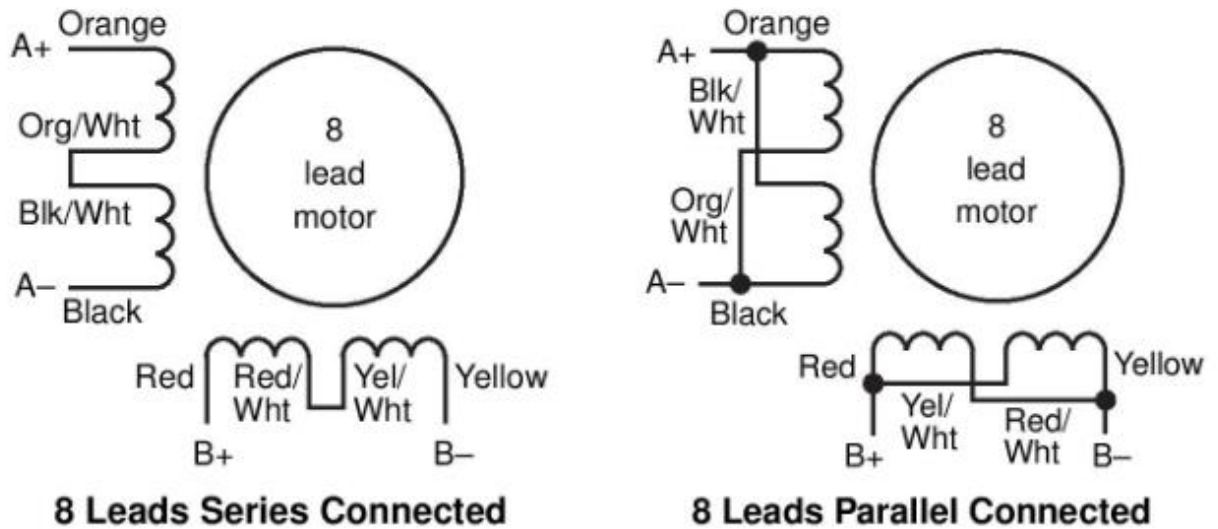
(habilitar) y la de *direction* (dirección). Estas señales, están asiladas con optoacopladores y tienen protecciones contra ruido. Tales características, se muestran en la figura 5.37.



**Figura 5.37** Detalle de señales de control del driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].

En la figura 5.37, se puede observar los detalles de las resistencias y los capacitores presentes en la parte interna del driver. En el caso de la señal de *enable*, se cuenta con una resistencia mayor debido a que esta funciona con un voltaje de entre 0 y 12 VDC.

Las conexiones del motor al driver, se realizan como se muestra en la figura 5.38. Para este diseño, se utilizó la conexión en paralelo de los motores (de 8 cables). Esto con el propósito, de obtener un mayor torque de salida tal y como se mencionó en la sección 5.3.6.



**Figura 5.38** Detalle de conexión de motores en serie o paralelo en el driver STP-DRV-80100 [30].

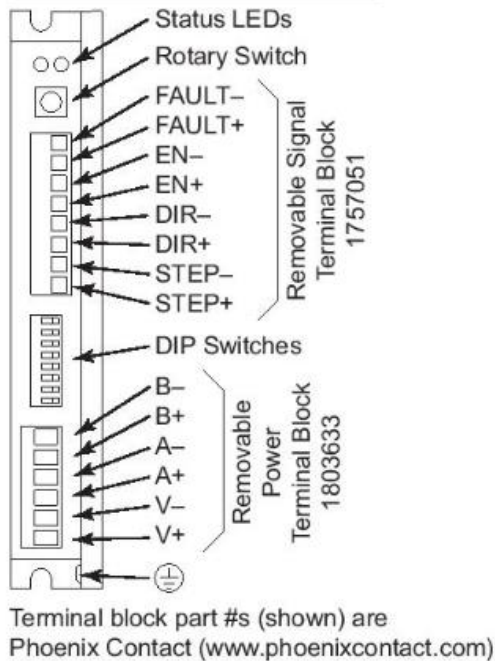
En la figura 5.38, se ilustra la conexión de los motores con sus bobinas en serie (izquierda) y en paralelo (derecha).

Los motores utilizados para los ejes Y y Z, cuentan con corrientes nominales de 7.1 A por fase (Ver anexo B5 para más detalles). No obstante, se utiliza el mismo driver que se describió anteriormente.

En el caso de la rotación del barril, se utiliza un motor tamaño Nema 23. Este motor, presenta una corriente de fase mucho menor que los demás, por lo que bien se podría utilizar un driver del mismo tipo que en los motores anteriores. Sin embargo, por motivos económicos, se decidió utilizar un driver que admite una menor corriente como es el caso del STP-DRV-6575 y el STP-DRV-80100 de los mismos fabricantes (para más detalles ver B.12). En este caso, se seleccionó el STP-DRV-6575. El driver y sus conexiones típicas se muestran en la figura 5.39.

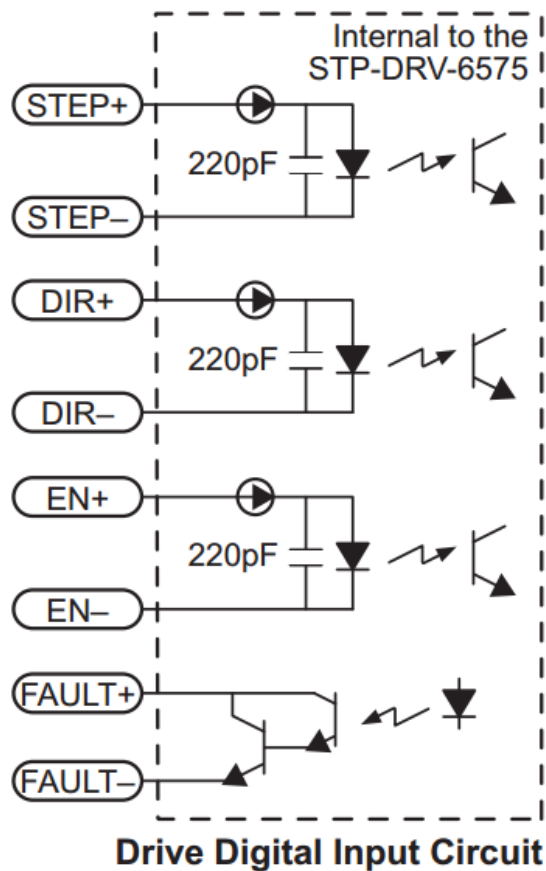
# Wiring Connections and Configuration Switches

## Terminals, Switches, Indicators



**Figura 5.39** Driver STP-DRV-6575 para motor a pasos [30].

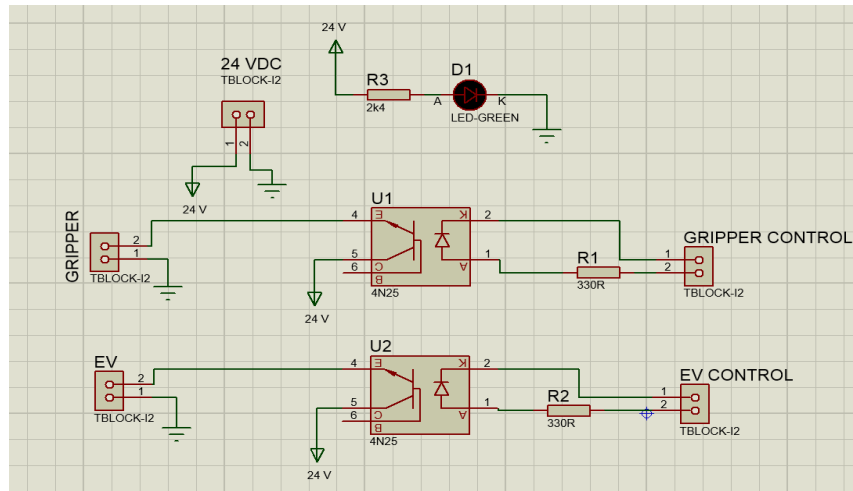
En la figura 5.39, se puede observar que el driver 6575, cuenta también con entradas aisladas con optoacopladores al igual que el 80100. Tiene tres señales de entrada: paso, habilitar y dirección y cuenta con una salida de fallo en la que se indica si existe un error en las conexiones. Las conexiones para este driver, se detallan en la figura 5.40. Debido a que el motor NEMA 23 también es de 8 cables terminales, se utilizó una conexión igual a la descrita en la figura 5.38.



**Figura 5.40** Detalles de señales de control del driver STP-DRV-6575 para motor a pasos [30].

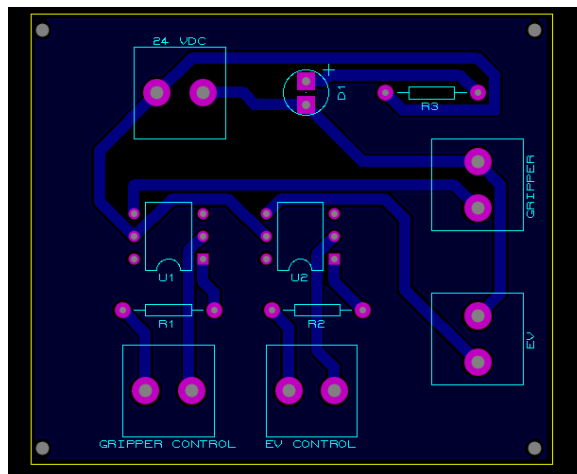
De la misma forma que el driver 80100, el 6575 cuenta con protecciones contra el ruido en sus entradas como se muestra en la figura 5.40. En este caso, las señales de control pueden ser de 5 a 24 VDC, por lo que no se utiliza la resistencia de protección. Cabe mencionar, que la salida *fault* (fallo) corresponde a una salida digital de 30 VDC.

Por otro lado, tanto la electroválvula como la pinza robótica escogidas, presentan la misma lógica de operación y reciben una señal digital de 0 o 24 VDC. Por lo anterior, se diseñó un mismo circuito para adaptar sus señales de control. Dicho circuito, se observa en la figura 5.41.



**Figura 5.41** Circuito de potencia de electroválvula de lavado y pinza robótica.  
Elaborado en *Proteus ISIS 8*®.

En las entradas del circuito de la figura 5.41, se conectan las señales de 5 VDC provenientes del PIC. Estas, se adaptan a 24 V por medio optoacopladores 4N25. También, se coloca un led indicador para conocer el estado de alimentación del circuito y se agregan resistencias de protección para los leds de los optoacopladores. Al igual que para los circuitos anteriores, se diseñó la PCB respectiva. La misma, se muestra en la figura 5.42.

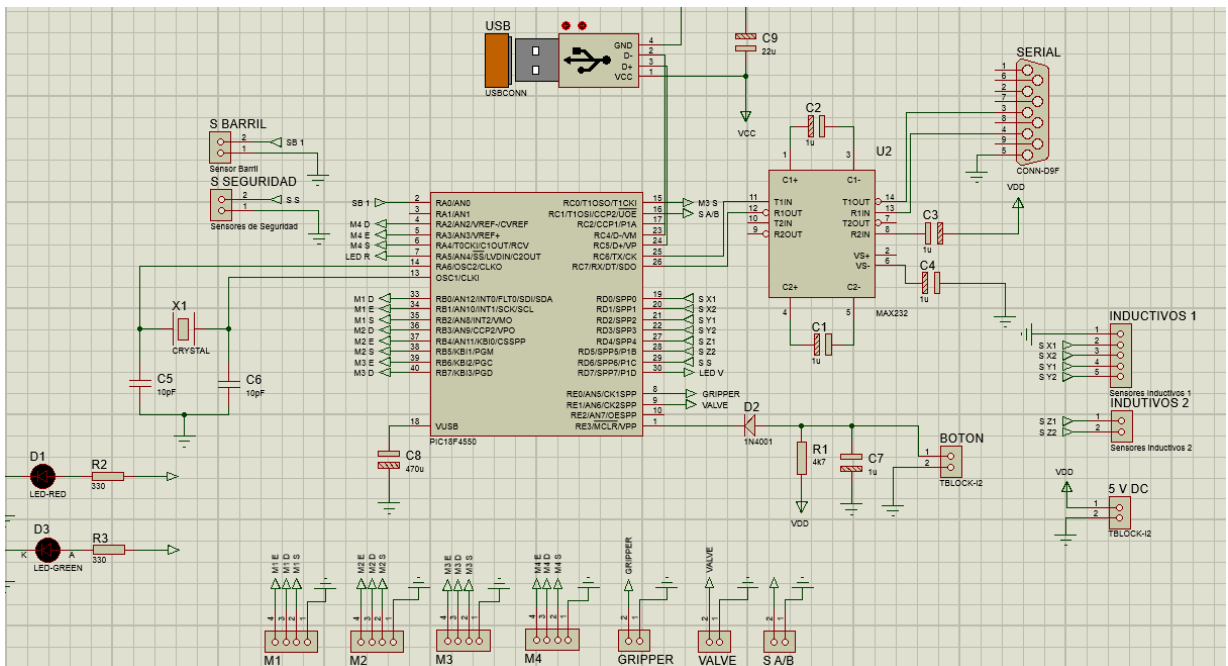


**Figura 5.42** Circuito Impreso de potencia para la electroválvula y la pinza robótica.  
Elaborado en *Proteus ARES 8*®.

El circuito impreso de la figura 5.42, cuenta con dimensiones de 6x5 cm, pistas de soldadura T50, un grosor de 1.6 mm, una de capa de cobre de 25  $\mu\text{m}$  y plano a tierra.

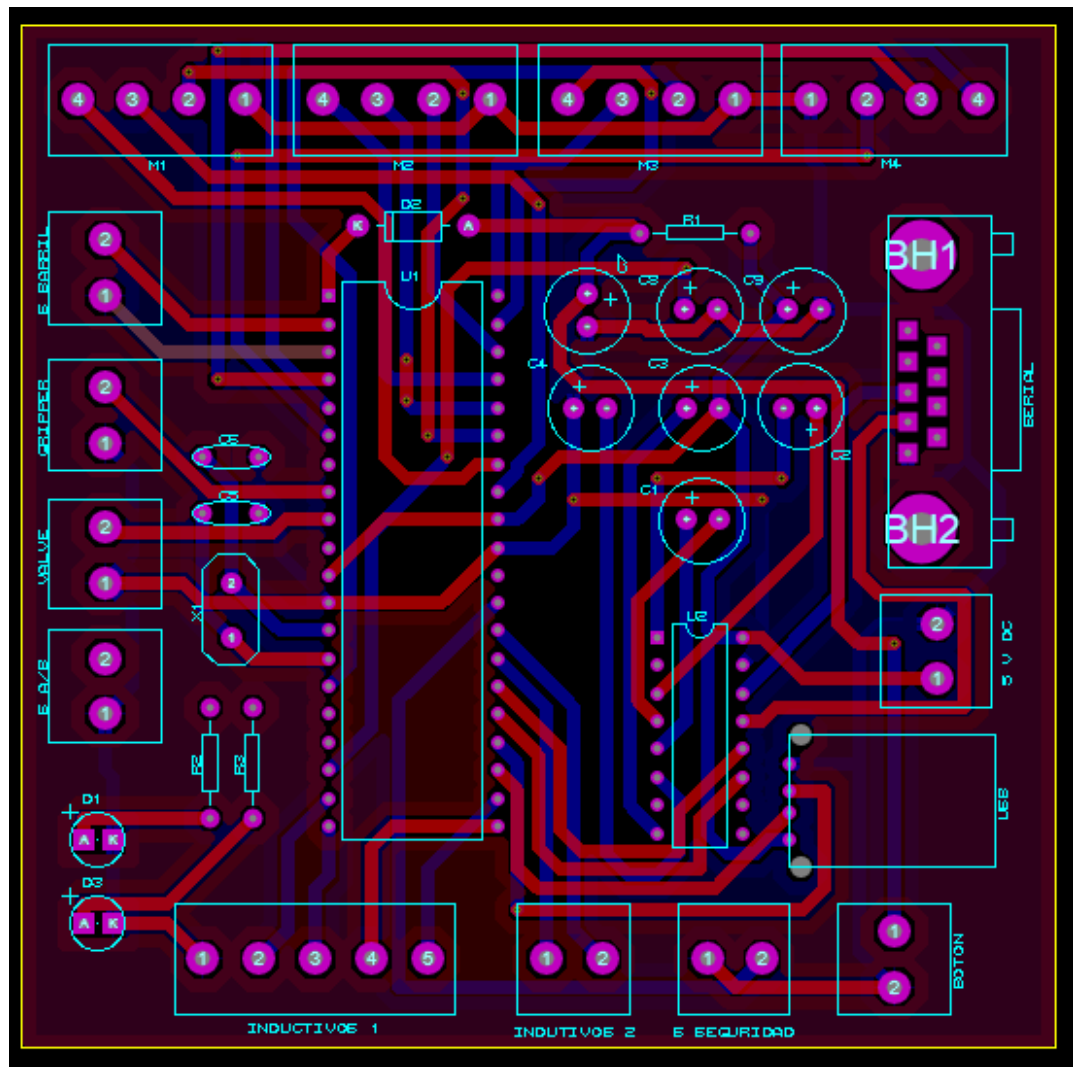
### 5.3.3 Diseño de circuito de control PIC18F4550

Con tal de operar todas las señales de entrada y salida, descritas en los circuitos expuestos en las secciones 5.3.1 y 5.3.2, se diseñó el circuito de control mostrado en la figura 5.43.



**Figura 5.43** Circuito de control de módulo de galvanoplastia. Elaborado en *Proteus ISIS 8*®.

En el circuito de la figura 5.43, se puede observar que las conexiones se manejan por medio de UART (siglas del inglés *Universal Asynchronous Serial Transport*) y por medio de USB (siglas del inglés *Universal Serial Bus*). Se utilizó el circuito integrado MAX232 para adaptar las señales de 12 VDC del UART a los 5 VDC requeridos por el circuito de control. Para la transmisión de datos por USB, se agregó un cristal externo de 48 MHz. Con base en este circuito, se diseñó la PCB de la figura 5.44.



**Figura 5.44** Circuito impreso de unidad de control con PIC18F4550. Elaborado en *Proteus ARES*®.

La PCB de la figura 5.44, cuenta con doble capa de pistas de soldadura, plano a tierra y pistas de espesor T50 para facilitar su fabricación. Sus dimensiones son 9,5x9,5 cm con un grosor de 1,6 mm y una capa de cobre de 25  $\mu\text{m}$ . El sistema cuenta con un botón de reset y con dos leds que permitirán conocer el estado de la transmisión de datos. Cabe destacar, que dicha transmisión, será bidireccional tanto para el UART como para el USB. Además, para el caso específico de esta solución, se trabajó con una transmisión USB, sin embargo, se dejó prevista la conexión a puerto RS-232 en caso de que fuese necesaria a futuro.

### 5.3.4 Selección de fuentes de alimentación

Como se ha detallado a lo largo de la sección 5.3, en el sistema se cuenta con voltajes de alimentación de 48 VDC, 24 VDC y 5 VDC. Con base en los datos de la tabla 5.7 y la información presentada en la sección 5.3.1, se llegó a los valores de la tabla 5.8. En dicha tabla, se presenta un resumen de las potencias requeridas para las fuentes de alimentación.

**Tabla 5.8** Resumen de potencias requeridas para la fuente de alimentación.

Fuente de alimentación	Voltaje de operación [VDC]	Potencia requerida [W]
Fuente de alimentación para motores	48	1191,36
Fuente para sensores y algunos actuadores	24	62,88
Fuente para circuito de control	5	5,75 W

Tal y como se muestra en la tabla 5.8, el mayor consumo de potencia posible del PIC18F4550 es de 5,75 W. Los datos de consumo eléctrico del control, se obtienen del anexo B.12. Con base en estos datos, se seleccionan las fuentes de alimentación, las cuales se resumen en la tabla 5.9

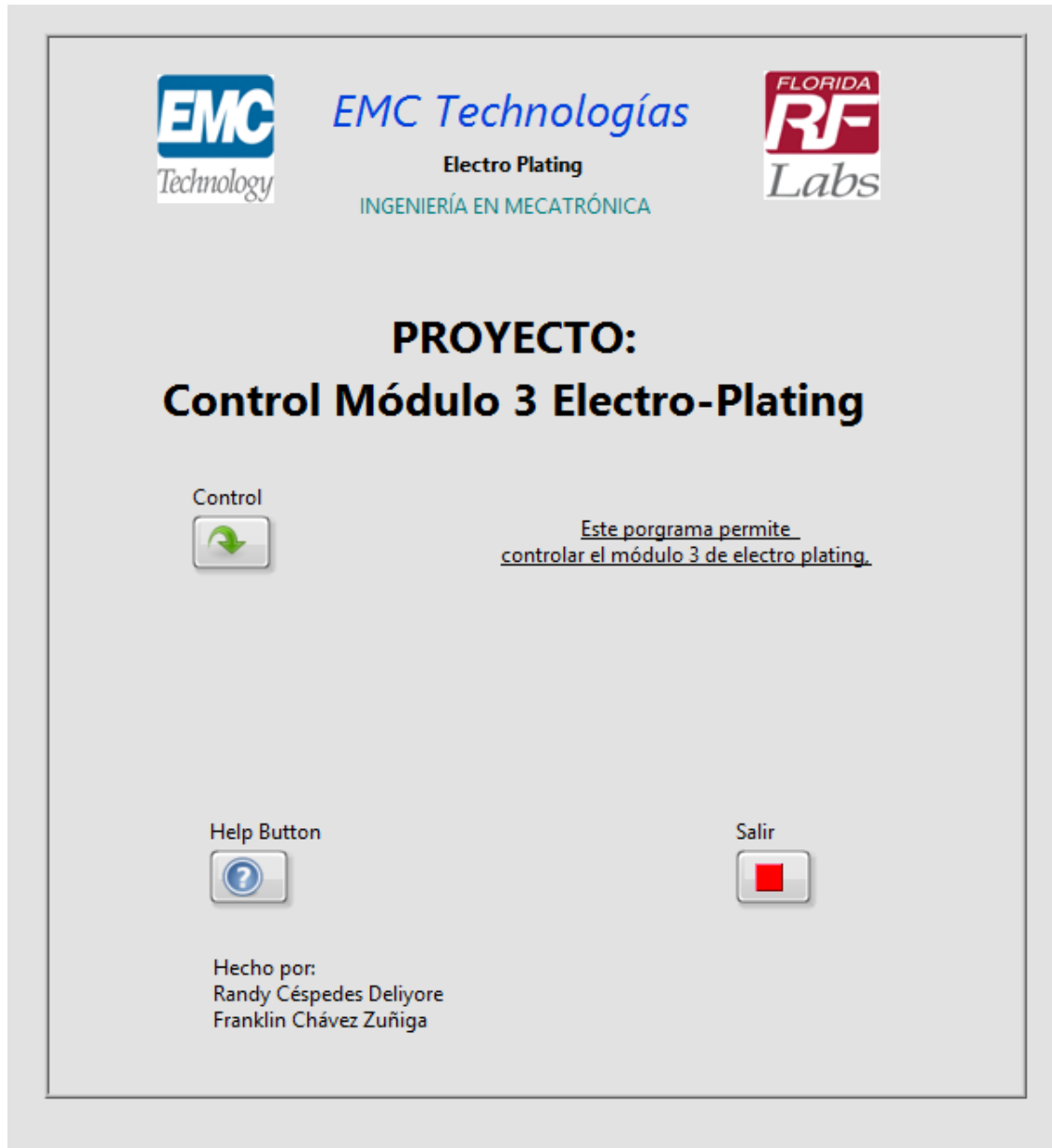
**Tabla 5.9** Resumen de fuentes de alimentación escogidas.

Voltaje de operación [VDC]	Potencia requerida [W]	Modelo Seleccionado	Potencia [W]
48	1191,36	SE-1500	1500
24	62,88	LEB100F-0524	100
5	5,75 W		

En la tabla 5.8, se menciona la escogencia del modelo SE-1500 (más detalles en el apéndice B.14) para la alimentación de 48 VDC. En el caso de los 24 VDC y 5 VDC, se escoge la fuente LEB100F-0524 (más detalles en el apéndice B.15). Esta última, cuenta con ambos valores de voltaje de salida y una potencia total de 100 W.

### 5.3.5 Programa de control en LabView ®.

Para la operación del robot, se diseñó en LabView ® una interfaz de usuario sencilla de usar e intuitiva. El menú principal del programa, se ilustra en la figura 5.45.



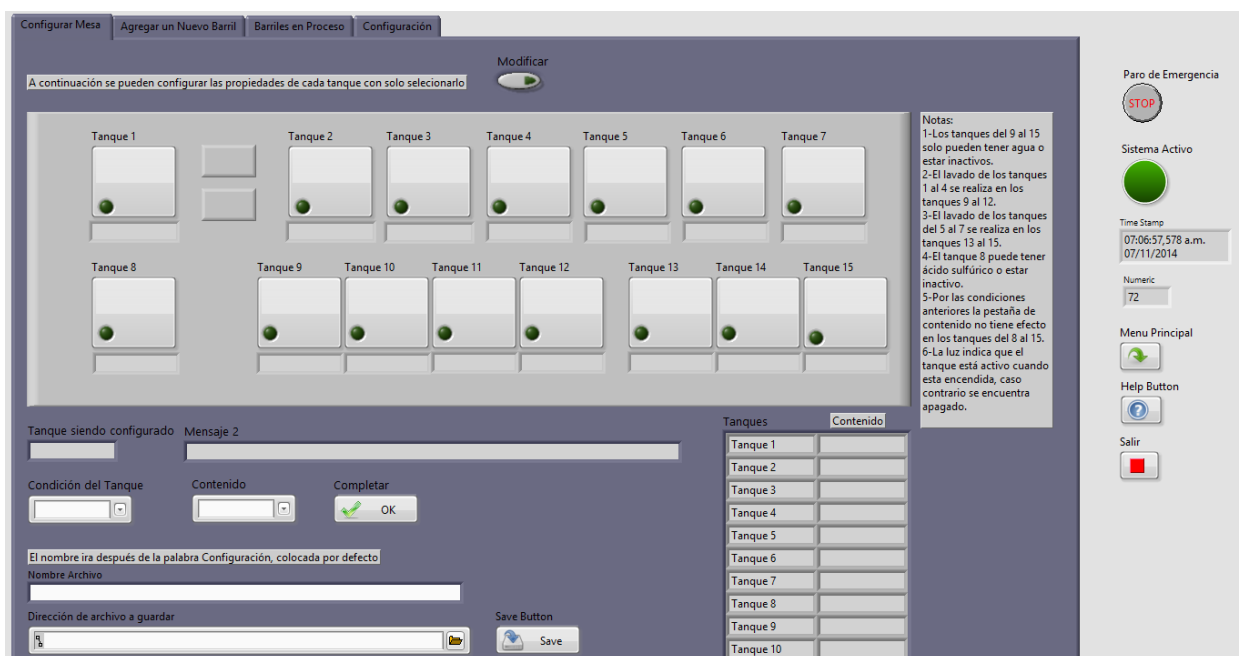
**Figura 5.45** Menú principal de la interfaz de usuario del sistema de control.

Elaborado en *LabView 2012* ®.

Tal y como se observa en la figura 5.45, en el menú principal se cuenta con 3 opciones básicas:

- ✓ Abrir el programa de control del módulo.
- ✓ Abrir la guía de usuario con el botón de ayuda
- ✓ Salir del programa.

Con el botón de control, se abre el programa principal. La interfaz del mismo, se ilustra en la figura 5.46.



**Figura 5.46** Interfaz de usuario del sistema de control. Elaborado en LabView 2012 ®.

El programa de la figura 5.46, cuenta con 4 secciones principales:

- ✓ Configuración de la mesa: En esta sección, se puede configurar la mesa indicando el estado de cada uno de los tanques y su contenido. Además, se puede guardar la configuración en caso de ser una que se usará comúnmente o también puede cargarse alguna guardada con anterioridad.
- ✓ Agregar un nuevo barril: En esta sección, se pueden agregar barriles nuevos a la mesa. La máquina cuenta con la capacidad de manejar 6 barriles por lo que

se debe agregar un barril a la vez con un procedimiento que sea coherente con la configuración de la mesa y el estado de los tanques. Para esto, se puede abrir un archivo con un procedimiento conocido y guardado en la computadora, agregar un nuevo procedimiento paso por paso o bien editar cualquiera de los dos.

- ✓ Barriles en proceso: En esta sección, se puede ver el estado de los barriles en proceso, el procedimiento y el tiempo restante aproximado.
- ✓ Configuración: En esta sección, se puede configurar el puerto por el cual se realiza la transmisión, así como los datos que se envían.

La lógica de funcionamiento del programa desarrollado, se detalla en los diagramas de flujo del apéndice A.4. Además, en el apéndice A.8 se ofrece el manual de usuario del sistema.

### **5.3.6 Programa de control en PIC18F4550**

Si bien las órdenes de desplazamientos y procedimientos se envían por medio de LabView ®, el circuito de control con el microcontrolador PIC18F4550 es el encargado de generar las rutinas y las señales de *step* que reciben los motores.

La comunicación entre Labview y el PIC, se realizó por medio del compilador XC8 en Proteus 8 ®. Para la comunicación USB, se utilizó el lenguaje de programación C y se utilizaron las siguientes librerías:

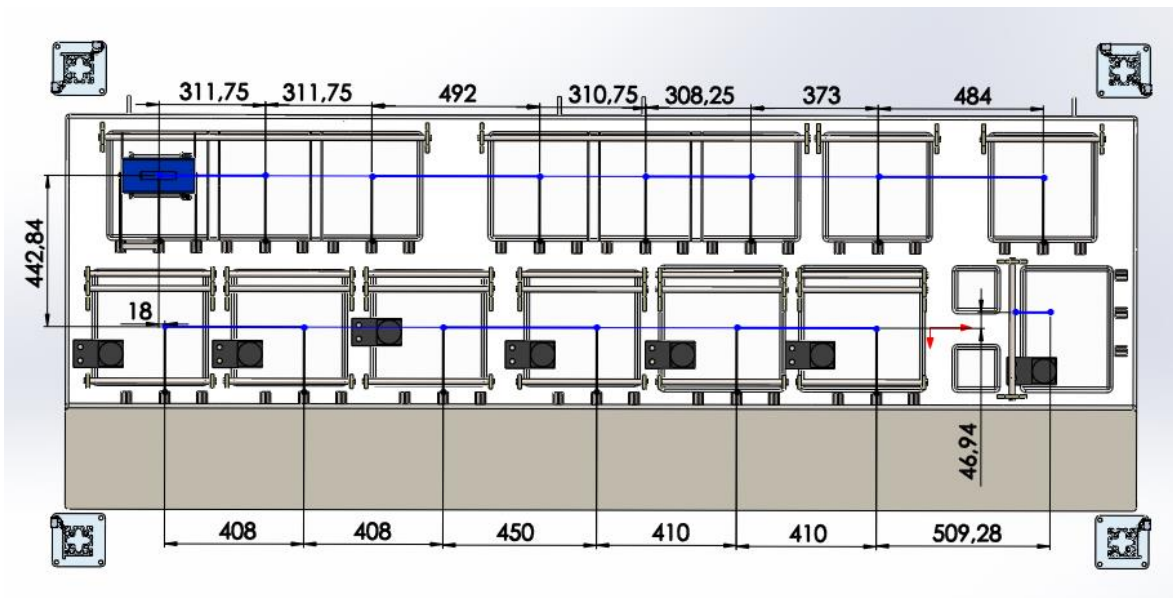
- ✓ Pic18\_usb.h: Esta librería contiene funciones de bajo nivel de hardware que son usadas por la librería usb.c.
- ✓ Usb\_desc\_hid.h: Esta librería cuenta con la descripción de los dispositivos para el sistema operativo.
- ✓ Usb.c: Es la librería para el manejo del usb.

Una vez que invocadas las librerías correspondientes, se utilizaron los siguientes comandos:

- ✓ `Usb_init()`: Inicializa el usb.
- ✓ `Usb_task()`: Se encarga de realizar un monitoreo del estado del USB y conectarse o desconectarse automáticamente. También, habilita las interrupciones.
- ✓ `Usb_enumerated()`: Este comando retorna un true si el dispositivo USB esta enumerado (si es reconocido por el sistema operativo).
- ✓ `Usb_kbhit(1)`: Retorna true si se encuentran datos.
- ✓ `Usb_get_packet(X, variable, Y)`: Se toma un dato de tamaño Y (en bytes) del puerto X y se almacena en variable.
- ✓ `Usb_put_packet(X, dato, Y, USB_DTS_TOGGLE)`: Se envía el dato de tamaño Y por el puerto X. `USB_DTS_TOGGLE` es una directiva necesaria para la transmisión de datos.

Utilizando los comandos anteriores, se realiza la programación descrita en el apéndice A.5 por medio de diagramas de flujo. En este apéndice, también se detalla la forma en que se envían las instrucciones de desplazamiento.

Como se mencionó en la sección 5.3.1, solo se cuenta con dos sensores por eje de movimiento. En el caso del eje X, dichos sensores marcan el inicio y el final de carrera. En el eje Y, estos indican la fila de tanques en la cual se encuentra el barril. Por último en el eje Z, los sensores funcionan como final e inicio de carrera al igual que en el eje X. En la figura 5.47, se detallan los desplazamientos que deben realizarse para alcanzar cada uno de los tanques.



**Figura 5.47** Distancias en X e Y entre tanques en mm. Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

Es importante tener presente, la correspondencia entre el movimiento lineal de los ejes y el movimiento rotacional de los motores. En la tabla 5.10 se detalla dicha correspondencia.

**Tabla 5.10** Correspondencia entre movimiento lineal de los ejes y movimiento rotacional de los motores.

Motor	Avance por revolución de motor (mm)	Velocidad deseada [m/s]	pasos/s
Motor eje X	205,13	1,2	1170,4
Motor eje Y	205,13	1,0	975,4
Motor eje Z	165,00	1,0	1212,1
Motor rotación barril	NA	60 rpm	200,0

Conociendo la cantidad de pasos que debe de dar cada motor para moverse una distancia determinada, es posible calcular el valor del registro de timer para el microcontrolador. En este circuito de control, se tiene un oscilador interno de 4 MHz por lo que con base en la ecuación 5.12 se realiza el cálculo correspondiente.

$$SPS\_timer\_register = \frac{Timer\_oscillator}{SPS} \quad (5.12)$$

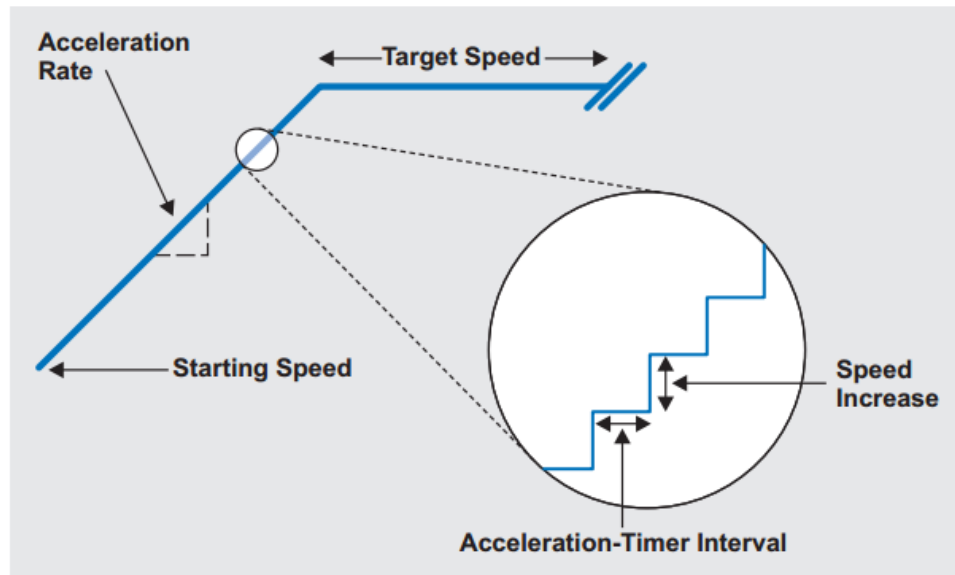
Los resultados obtenidos al aplicar la ecuación 5.12, utilizando los datos expuestos en la tabla 5.10, se presentan en la tabla 5.11.

**Tabla 5.11** Resumen de resultados de SPS\_timer\_register del PIC18F4550 con un timer de 4 MHz.

Motor	SPS_timer_register
Motor eje X	3418
Motor eje Y	4101
Motor eje Z	3300
Motor rotación barril	20000

El valor SPS\_timer\_register en la tabla 5.11, indica cada cuántas oscilaciones del timer, el microcontrolador debe enviar un paso. Los pulsos duran la mitad de las oscilaciones del timer, para tener un ciclo de trabajo del 50%.

Se debe de tener en cuenta, que es necesario acelerar y desacelerar los motores a pasos según los datos expuestos en la tabla 5.6. Para ello, se requiere conocer el SPSPS (*Steps Per Second Per Second*), es decir, la velocidad con que cambia SPS (*Steps Per Second*). Lo anterior, se manejó por IRS (*Interrupt-Service Routine*). El principio de aceleración y desaceleración se puede observar en la figura 5.48.



**Figura 5.48** Detalle del perfil de aceleración de un motor a pasos [27].

En la figura 5.48, se puede observar claramente como el proceso consiste en aumentar la velocidad en intervalos de tiempo hasta lograr la velocidad final deseada. Los valores de aceleración angular requeridos en cada motor, se resumen en la tabla 5.12.

**Tabla 5.12** Resumen de valores SPSPS y aceleración angular deseada en los motores.

Motor	SPSPS	Aceleración angular deseada [rad/s <sup>2</sup> ]
Motor eje X	5852	183,85
Motor eje Y	5434	153,21
Motor eje Z	6061	190,40
Motor rotación barril	2000	62,83

Con base en estos perfiles de aceleración y desaceleración se programaron las aceleraciones y desaceleraciones de los motores. Los valores presentes en la tabla

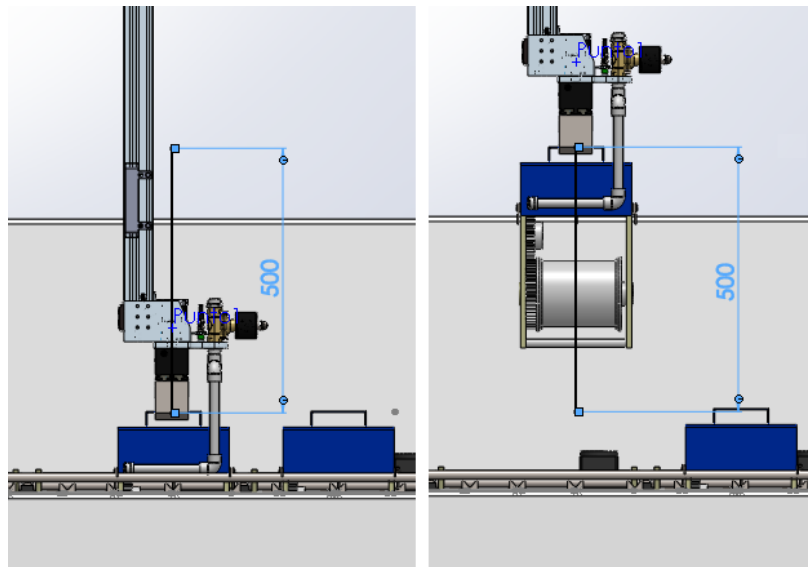
5.11, son de vital importancia ya que relacionan los valores de SPSPS con los valores de tiempo y el timer del microcontrolador.

### 5.3.7 Programa para lavado y extracción de burbujas

El programa de lavado consiste en enviar una señal lógica por un tiempo de 10 segundos después de que el barril sale de un tanque. Lo anterior, se programó en el PIC18F4550 con los siguientes comandos:

- LATE1=1: Coloca la salida E1 en high para abrir la electroválvula.
- delay\_ms(10000): Pone en espera el programa y lava durante 10 segundos.
- LATE1=0: Coloca la salida E1 en low para cerrar la electroválvula.

Para realizar el lavado, es necesario detener el movimiento del robot justo cuando el barril sale del tanque y se encuentra sobre este. La distancia del movimiento que debe realizarse en dirección Z, se ilustra en la figura 5.49.



**Figura 5.49** Movimiento en Z requerido antes del lavado.

Elaborado en *SolidWorks 2013*®.

El instante mostrado en la figura 5.49 (derecha) corresponde al momento en que se activa la electroválvula de lavado.

Por otra parte, para sacar las burbujas del barril cuando este es consumido en algún tanque, se utilizó una rutina que realiza un movimiento corto y brusco del eje Z. Dicho proceso, se describe mediante diagramas de flujo en el apéndice A.5.

#### 5.4 Cálculos estadísticos y de productividad

Con el objetivo de analizar el impacto de la implementación de un sistema mecatrónico para la automatización del proceso de electrodeposición, se analizaron las duraciones actuales de la operación con los componentes más importantes para la empresa. Los datos analizados, fueron suministrados por la Ing. Katia Alvarado, coordinadora del área (ver datos en apéndice A.6).

En la tabla 5.13, se presentan los datos de duración para los lotes de producto tipo SMT.

**Tabla 5.13** Datos de duración para la electrodeposición del producto SMT252503ALN2F en EMC Technology.

N	Tipo	Cantidad de componentes	Número de lotes	Operario	Duración [h]
1	SMT252503ALN2F	11713	3	1252	6,2
2	SMT252503ALN2F	11661	4	1600	3,2
3	SMT252503ALN2F	11627	4	841	7,2

EMC Technology [8].

En la tabla 5.13, se puede apreciar que para una cantidad de componentes similares y bajo los mismos tratamientos, los lotes tienen duraciones distintas. Esto se puede deber a factores que se mencionaron con anterioridad en el capítulo 3. Por ejemplo, la concentración química de los baños o el error humano introducido por el operario que ejecuta el procedimiento.

Es importante mencionar, que el área de producción en la empresa, no cuenta con un estudio estadístico en el que se registre la duración común de los diferentes tipos de componentes tratados. Sin embargo, se utilizan para el análisis, los datos expuestos en el anexo B.16. En dicho anexo, se enuncian los tipos de componentes y el tipo de tratamiento que se les debe de aplicar dependiendo de la cantidad de piezas de los mismos.

Tomando como premisa que la cantidad de piezas se divide en partes iguales en la cantidad de lotes o barriles a los que se les realiza el proceso, se obtienen los datos presentados en la tabla 5.14.

**Tabla 5.14** Duración del proceso de electrodeposición para lotes tipo SMT252503ALN2F.

Lote	Cantidad de Piezas	Duración real [h]	Duración teórica [h]
1	2915	3,20	3,20
2	2915	3,20	3,20
3	2915	3,20	3,20
4	2915	3,20	3,20
5	2907	7,20	3,20
6	2907	7,20	3,20
7	2907	7,20	3,20
8	2907	7,20	3,20
9	3905	6,20	3,92
10	3905	6,20	3,92
11	3905	6,20	3,92

EMC Technology [8].

En la tabla 5.14 se puede apreciar como algunos de los lotes cumplen sin problema con las duraciones teóricas. Sin embargo, otros de ellos la exceden por mucho. Se detecta entonces, a simple vista, que existe algún problema en el proceso, por lo que se procede a realizar un análisis estadístico de los datos y se obtienen los resultados expuestos en la tabla 5.15.

**Tabla 5.15** Resultado de análisis estadístico de la muestra de tiempos del proceso de electrodeposición en EMC Technology.

<b>Dato</b>	<b>Resultado</b>	
<b>Media</b>	5,473	
<b>Mediana</b>	6,2	
<b>Moda(s)</b>	3,2	7,2
<b>Varianza</b>	3,42	
<b>Desviación estándar</b>	1,85	
<b>Coefficiente de variación</b>	0,338	
<b>Error estándar de la media</b>	0,558	
<b>Sesgo</b>	-1,18	

EMC Technology [8].

En tabla 5.15, se muestran los resultados del análisis estadístico realizado. Para ver los detalles del estudio, se sugiere ver el apéndice A.7.

Considerando que el valor del coeficiente de variación fue de 33,8%, se concluye que el análisis tuvo una variabilidad y estabilidad moderadas. Lo ideal sería tener una baja variabilidad y una estabilidad alta.

Es posible detectar con facilidad la presencia de problemas en la producción, al ver que la media de las duraciones actuales, cuyo valor es de 5,473 horas, es alrededor de un 70% mayor que la duración teórica para este tipo de lote (caso de los lotes con

menos de 3000 piezas). En el caso de los lotes de menos de 4000 piezas, se debería tener una duración de 3,92 horas, lo que quiere decir que la media actual es un 40% mayor.

Con el valor de desviación estándar de 1,85 horas se ve que el proceso cuenta con una gran variabilidad, tal y como se había confirmado con el valor del coeficiente de variación.

El valor de sesgo obtenido, indica que la curva esta sesgada a la izquierda.

Seguidamente, en la tabla 5.16, se ofrece una comparación entre los tiempos reales y teóricos de otros tipos de lotes en EMC Technology.

**Tabla 5.16** Comparación entre duraciones reales y teóricas para otros tipos de producto en EMC Technology.

<b>N</b>	<b>Identificación</b>	<b>Cantidad de lotes</b>	<b>Cantidad de piezas</b>	<b>Duración real [h]</b>	<b>Duración teórica [h]</b>
1	TSO309W3S	1	27	1,00	1,00
2	TSO309W3S	1	58	1,00	1,00
3	TVA0300N07W3F	1	583	6,33	1,93
4	TSO906SMTF	1	329	4,50	2,21

EMC Technology [8].

Como se puede apreciar en la tabla 5.16, algunas de las duraciones se asemejan mucho a su valor teórico, sin embargo, otras de ellas presentan importantes diferencias. Tal es el caso de los TVA-F y los TSO-F, lo cuales presentan duraciones de hasta más del doble del tiempo teórico.

Con base en estos resultados, se concluye que la electrodeposición en EMC Technology, presenta indudablemente problemas de productividad. Considerando

además, que la ejecución automatizada del proceso, no sería susceptible a la variabilidad actual en los parámetros del procedimiento, se puede concluir también, que la implementación de un sistema mecatrónico en esta operación es de urgencia para la empresa y ofrece una solución al problema actual.

## **Capítulo 6: Análisis final de la solución**

### **6.1 Beneficios de implementación**

El sistema mecatrónico diseñado, ofrece una solución ágil y versátil al problema planteado al inicio del proyecto.

La configuración mecánica y estructural de la máquina, permiten reajustarla y redimensionarla para adaptarla a los distintos módulos de electrodeposición en la empresa. Además, la versatilidad del sistema no se limita solo a la parte estructural, pues su sistema de control también es reprogramable y ajustable a diferentes escenarios de operación o secuencias de proceso. Para ello, el robot cuenta con una interfaz gráfica, que resulta intuitiva y de fácil utilización para los operarios.

El equipo diseñado, es capaz de ejecutar ágilmente toda la secuencia de pasos que comprende la electrodeposición, cumpliendo con exactitud los tiempos reglamentarios estipulados en las hojas de procedimiento. Con esto, se disminuye la probabilidad de que se presente una variación en los tiempos aplicados entre un lote y otro, y por ende en los espesores de recubrimiento obtenidos.

Dicha constancia e invariabilidad de los resultados obtenidos con el robot, puede repercutir positivamente en la productividad de la operación. Una vez comprobado que con el sistema diseñado se obtienen los mismos resultados en procedimientos iguales y sin variaciones entre un lote y otro, los controles de calidad intermedios, que actualmente se ejecutan al finalizar cada subetapa de la electrodeposición, no serían ya necesarios. Bajo estas circunstancias, sería oportuno disminuir la frecuencia de dichas inspecciones que hoy obligan a detener la producción constantemente.

Otro aspecto clave y determinante en la eficiencia del sistema, es la corriente eléctrica aplicada a las celdas electrolíticas. La masa de las sustancias depositadas o liberadas sobre los electrodos, es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa en la sustancia electrolítica. Así, cuanto mayor sea la electricidad

empleada, mayor será la masa liberada y depositada por electrólisis y menor será el tiempo que le tomará al proceso completarse. Lo anterior quiere decir, que los tiempos de operación en las distintas fases de electrodeposición, se pueden reducir considerablemente utilizando una mayor potencia eléctrica en las celdas.

Otra de los grandes beneficios que ofrece el equipo diseñado, es la posibilidad de manipular múltiples barriles de forma simultánea. En general, la cantidad máxima de barriles a operar durante una misma secuencia, dependerá del número y la distribución de las celdas electrolíticas disponibles en cada módulo. En este caso, se ha adaptado el diseño al módulo número tres de electrodeposición. En él, se podrá trabajar un máximo de hasta seis barriles por secuencia.

Además, al implementar un sistema como el propuesto en este proyecto, el contacto del operario con sustancias químicas peligrosas se reduce considerablemente. La máquina, será ahora la encargada de sumergir los barriles en aquellas sustancias tóxicas, corrosivas e irritantes que actualmente representan una amenaza en la salud ocupacional del trabajador. De hecho, con este mismo propósito, el equipo ha sido dotado de buena resistencia a la corrosión. Su estructura, se construye principalmente con aluminio y se utiliza acero inoxidable en las partes de mayor exposición a sustancias corrosivas.

Por otro lado, la seguridad ocupacional del operario y la integridad física del equipo, se resguardan con el diseño elaborado. Para ello, el robot cuenta con un sistema de seguridad, que consiste de cortinas fotoeléctricas y un botón de paro de emergencia. Estos, le permiten suspender la operación y detener el movimiento de los ejes, en caso de que haya una situación de emergencia o una invasión del espacio de trabajo.

## 6.2 Limitaciones del sistema

Como cualquier diseño en ingeniería, a pesar de todas las ventajas y los beneficios obtenidos con la implementación del sistema, también es posible identificar ciertas limitaciones. Por lo tanto, es necesario conocerlas y entenderlas a plenitud.

En primer lugar, para poder mover cada una de las articulaciones del robot, es necesario aplicar un cambio gradual de la velocidad en el motor del eje respectivo. En general, el robot no podría moverse con aceleraciones muy por encima de las definidas en este diseño. Si se intentase mover el robot con dichos valores de aceleración, es posible que los motores a pasos no tengan el torque suficiente para dar la respuesta esperada. Como consecuencia, los mismos no habrán terminado de posicionarse en el paso correspondiente, cuando estarán ingresando nuevos pulsos de accionamiento. Sucede entonces, que algunos de los pulsos enviados por la unidad de control, comenzarían a ser ignorados y se perdería la coherencia entre la cuenta de pulsos que lleva el microcontrolador y la cantidad de pasos que en realidad ejecuta el motor.

El problema anterior, anularía la precisión de posicionamiento que caracteriza a los motores a pasos. De hecho, en cualquier máquina movida por este tipo de motor, se debe tener el cuidado de no exceder demasiado las aceleraciones estipuladas en el diseño, ya que el torque de los motores se escoge con base en estas y en la carga sobre el eje.

Otra de las limitaciones del sistema, es que la articulación que gira el barril de electrodeposición, no puede rotarse en 360°. La configuración mecánica de dicho grado de libertad, se ha diseñado exclusivamente para hacer giros de  $\pm 90^\circ$ , ya que los requerimientos del diseño, no exigían un giro mayor. Si se intentara girar el barril en 360°, habría una colisión entre la electroválvula y la estructura del eje Z, por lo que se bloquearía la movilidad del motor.

## Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- ✓ El sistema mecatrónico diseñado para la automatización del proceso de electrodeposición, cumple con los tiempos reglamentarios estipulados en las hojas de procedimiento.
- ✓ Con la implementación del equipo diseñado, se reduce la exposición del operario a sustancias químicas peligrosas.
- ✓ El eje X del sistema resiste de forma segura el peso de la masa transportada, pues su deflexión está por debajo del valor máximo permisible de 3 mm que el fabricante estipula para un módulo de movimiento lineal de 3250 mm.
- ✓ La deflexión producida en el eje Y del robot es prácticamente nula debido a la corta longitud de 861 mm en este módulo de movilidad lineal.
- ✓ El peso máximo a soportar en los ejes X y Y no supera el valor permisible de 1500 N que el fabricante define para los módulos MLR 10-80.
- ✓ Los rodamientos internos en los carritos de los tres módulos de movimiento lineal, soportan de forma segura la combinación de fuerzas y momentos torsores a los que se someten.
- ✓ Los métodos de sujeción, sistemas de ajuste, acoples y soportes mecánicos diseñados, permiten ensamblar y desensamblar el robot con facilidad.
- ✓ El aluminio AA7075 T6, seleccionado para la manufactura de las partes diseñadas, resiste los esfuerzos internos de Von Mises a los que se someten las piezas.
- ✓ La ubicación de los sensores y métodos de monitoreo, requeridos para el control del robot cartesiano, facilitan el control del equipo.

- ✓ El torque de los motores utilizados, no excede el par máximo aplicable a los módulos de movimiento lineal, que el fabricante define en las hojas técnicas.
- ✓ La reducción del torque en los motores con el aumento de la velocidad, no representa un problema para el accionamiento de los módulos, gracias a las bajas velocidades de giro requeridas.
- ✓ El sistema de control diseñado, permite crear nuevas rutinas de operación o ejecutar rutinas guardadas con anterioridad.
- ✓ El controlador STP-DRV-80100 tiene la potencia suficiente para energizar los devanados de los motores a pasos en paralelo.
- ✓ La utilización de tarjetas de circuito impreso modulares, permite hacer reparaciones o trabajos de mantenimiento parciales sin necesidad de extraer toda la unidad de control.
- ✓ Las cadenas portacable permiten organizar la instalación eléctrica de forma tal que los cables son accesibles para labores de mantenimiento.
- ✓ La secuencia de pasos a seguir para la galvanoplastia, es configurable por el usuario mediante una combinación de subrutinas preprogramadas.
- ✓ La interfaz de usuario desarrollada es intuitiva y de fácil utilización para el operario.
- ✓ El modelo tridimensional de la máquina funciona de guía para el ensamble y desensamble de las partes componentes del sistema.
- ✓ Los subsistemas electrónicos simulados cumplen las funciones específicas para las cuales fueron diseñados.
- ✓ La simulación cinemática del mecanismo comprueba que el sistema cumple con los requerimientos de movilidad definidos.

- ✓ Todas las piezas y partes componentes diseñadas, pueden manufacturarse a partir de los planos de construcción elaborados.
- ✓ Los circuitos esquemáticos hechos, brindan toda la información requerida para la implementación electrónica del sistema.
- ✓ El manual de usuario elaborado, ofrece una guía clara para la operación del equipo y la programación de nuevas rutinas.
- ✓ Con los cálculos de productividad se determina que la empresa presenta una variación y una estabilidad moderadas en sus datos, al tener un coeficiente de variación de 33,8 %.

## **7.2 Recomendaciones**

- ✓ Tener siempre presente, al diseñar un sistema mecatrónico, que el equipo debe poder desensamblarse por completo para realizar labores de mantenimiento o sustituciones de partes en caso de fallo.
- ✓ Evitar el uso de sensores o actuadores que requieran de software o controladores exclusivos del fabricante para su control, ya que esto por lo general, eleva significativamente el costo de implementación.
- ✓ Asegurarse de que los fabricantes de los componentes y partes seleccionadas tienen representantes en el país.
- ✓ Verificar que la fuente de poder utilizada entrega la potencia suficiente para alimentar a todos los sensores, actuadores y circuitos del sistema.
- ✓ Consultar las curvas torque-velocidad para verificar que la reducción del par máximo en los motores a pasos no limitará la movilidad del robot.
- ✓ Programar una fase de aceleración y desaceleración en los motores a pasos para evitar la pérdida de pasos durante el arranque o parada de los ejes.

- ✓ Considerar que al utilizar servomotores, en lugar de motores de pasos, se puede conseguir más torque a mayores velocidades pero se complica significativamente el control y aumenta de sobremanera el costo.
- ✓ Se debe recomendar a la empresa que tome datos de duración de lotes con más frecuencia.

## Capítulo 8: Bibliografía

- [1] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s.f.). Resumen de Salud Pública. USA. Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phshome.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phshome.html)
  
- [2] Álvarez, O. (2010). Diseño y cálculo de una tracción mecánica. Recuperado el 25 de Setiembre de 2014, de [http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10272/9/Annex\\_3.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10272/9/Annex_3.pdf)
  
- [3] Bosch Rexroth Corporation. (Noviembre de 2011). The Drive & Control Company. Alemania. Recuperado el 4 de Setiembre de 2014, de <http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/index>
  
- [4] Budynas, R. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9 ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado el Setiembre de 2014
  
- [5] Canto, C. (2012). Sensores de proximidad capacitivos. (UASLP, Ed.) México. Recuperado el 26 de Setiembre de 2014, de <http://es.slideshare.net/daylipocoyo/sensores-capacitivos-15157457>
  
- [6] Díaz, F. (2008). Principios de electrodeposición. (UNAM, Ed.) Cuautitlán, México. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de [olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf)
  
- [7] Direct Industry. (2014). *Inductive proximity sensor*. Obtenido de <http://www.directindustry.com/prod/norelem/inductive-proximity-sensors-7884-416706.html>
  
- [8] EMC Technology. Florida RF Labs. (s.f.). Microwave Components. USA. Recuperado el 2 de Octubre de 2014, de <http://www.emc-rflabs.com/Passive-Components/Overview>

- [9] Georgia State University. (s.f.). Solenoid. Georgia, Estados Unidos. Recuperado el 1 de Setiembre de 2014, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/solenoid.html>
- [10] Gimatic. (s.f.). MPLM. Parallel Electric Grippers. Italia. Recuperado el 3 de Octubre de 2014, de <http://www.gimatic.com/en/products/mechatronics/pinze%20elettriche%20parallele>
- [11] Grúas Thomas. (s.f.). Barcelona, España. Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de <http://thomasantenimiento.files.wordpress.com/2013/01/pont-monopoutre-posc3a9-avec-palan-c3a0-cable1.jpg>
- [12] Grupo INTERCOM. Construmática. (s.f.). Cálculo de Estructuras de Acero: Caso de las vigas. España. Recuperado el 29 de Agosto de 2014, de [http://www.construmatica.com/construpedia/C%C3%A1lculo\\_de\\_Estructuras\\_de\\_Acero:\\_Caso\\_de\\_las\\_Vigas](http://www.construmatica.com/construpedia/C%C3%A1lculo_de_Estructuras_de_Acero:_Caso_de_las_Vigas)
- [13] Hölscher, H. (s.f.). Eggenstein-Leopoldshafen, Alemania. Recuperado el 30 de Agosto de 2014, de <http://www.hoelscher-hi.de/hendrik/english/stepper.htm>
- [14] Imaz, N. (Setiembre de 2013). Aplicación de técnicas de electrodeposición mediante pulsos de corriente para la obtención de recubrimientos metálicos. (U. d. Barcelona, Ed.) Barcelona, España. Recuperado el 15 de Octubre de 2014
- [15] Instalaciones Solares SBM. (2014). Tipos de sensores de proximidad. Madrid, España. Recuperado el 1 de Setiembre de 2014, de <http://tecnologiaelectron.blogspot.com/2014/04/tipos-de-sensores-de-proximidad.html>
- [16] Instituto Politécnico Nacional. UPIICSA. (s.f.). Propiedades de los materiales. México. Recuperado el 27 de Agosto de 2014, de

[www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/Polilibros/P\\_terminados/procmanuf-p-admon-Malpica/122.htm](http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/Polilibros/P_terminados/procmanuf-p-admon-Malpica/122.htm)

- [17] LAM Technologies. (s.f.). Nema Steppers. M13430XX, M12330XX Series. Italia. Recuperado el 21 de Setiembre de 2014, de [www.lamtechnologies.com/Product.aspx?lng=EN&idp=M1343041](http://www.lamtechnologies.com/Product.aspx?lng=EN&idp=M1343041)
- [18] Macevicz, S. (7 de Abril de 1981). A Flow System for Partial Automation of Plating Efficiency Tests. *Vol. 1*. Livermore, California, USA. Recuperado el 13 de Agosto de 2014, de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cyto.990010508/pdf>
- [19] Maureira, R. (24 de Diciembre de 2010). Puente H. Recuperado el 30 de Agosto de 2014, de <http://smartdreams.cl/category/autobalanceado/>
- [20] Microchip. (2009). *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*. Obtenido de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- [21] Moncada, O. (s.f.). Limit Switch Mecánico. Recuperado el 4 de Setiembre de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/91993351/Limit-Switch-Mecanico>
- [22] National Instruments. (s.f.). Stepper Motors and Encoders. Estados Unidos. Recuperado el 30 de Agosto de 2014
- [23] New Zeland Institute of Chemistry. (2008). *New Zeland Institute of Chemistry Web site*. Obtenido de Electroplating: <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/metals/8G.pdf>
- [24] Olivier, Y. (14 de Octubre de 2009). Electroquímica. Recuperado el 23 de Setiembre de 2014, de <https://sites.google.com/site/yo22785391/in-the-news/personsnameonfacethenation>

- [25] Pepperl&Fuchs. (s.f.). Safety Light Curtain SLCS. Alemania. Recuperado el 2 de Octubre de 2014, de [www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid\\_83.htm?view=productdetails&prodid=39924&amxattrib=a\\_181/107420&amxattrib=a\\_188/110122&amxattrib=a\\_163/107502&](http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid_83.htm?view=productdetails&prodid=39924&amxattrib=a_181/107420&amxattrib=a_188/110122&amxattrib=a_163/107502&)
- [26] Plating Machines. (s.f.). Plating Machine. Yuyao, China. Recuperado el 14 de Octubre de 2014, de <http://platingmachines.com/>
- [27] Quinones, J. I. (2002). *Texas Instruments Incorporated*. Obtenido de Applying acceleration and deceleration profiles to bipolar stepper motors: <http://www.ti.com/lit/an/slyt482/slyt482.pdf>
- [28] SICK Sensor Intelligence. (s.f.). Inductive Proximity Sensors IMA12. Alemania. Recuperado el 2 de Octubre de 2014, de <https://www.mysick.com/ecat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=424&Category=Produktfinder&Selections=43803>
- [29] Smith, N. (2010). *ANSI PCB Trace Width Calculator*. Obtenido de <http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>
- [30] Sure Step stepping systems. (s.f.). *Automation Direct*. Obtenido de <http://www.automationdirect.com/static/specs/surestepdrive.pdf>
- [31] TRC Electronics, Inc. (03 de 03 de 2009). *AC/DC Power Supply, DC/DC Converter & Inverter Solutions*. Obtenido de AC/DC Single Output Power Supply, 1500W: <https://www.trcelectronics.com/ecomm/pdf/se1500.pdf>
- [32] Universidad de Guadalajara. (s.f.). Interconexionando un motor de pasos con el microcontrolador 8051. México. Recuperado el 29 de Agosto de 2014, de <http://proton.ucting.udg.mx/~cheko/micro/prac.html>
- [33] Universidad Tecnológica de Perú. (s.f.). Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a flexión. Lima, Perú. Recuperado el

28 de Agosto de 2014, de

<http://www.utp.edu.co/~gcalle/Contenidos/Flexion.htm>

[34] Vaello, J. (2014). Detectores inductivos. España. Recuperado el 3 de Setiembre de 2014, de <http://automatismoindustrial.com/417-2/>

[35] Yábar, O. (2010). Guía práctica de galvanoplastia para joyeros. Cusco, Perú. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de [www.perucam.com/presen/pdf/10.%20Gu%EDa%20pr%E1ctica%20para%20galvanoplast%EDa.pdf](http://www.perucam.com/presen/pdf/10.%20Gu%EDa%20pr%E1ctica%20para%20galvanoplast%EDa.pdf)

## Capítulo 9: Apéndices y anexos

### 9.1 Apéndices

#### 9.1.1 Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.

**AA 7075 T6:** Aleación de aluminio rica en zinc con alta resistencia mecánica y a la corrosión.

**Acoplamiento de mordaza:** Dispositivo de acople para ejes de motores que consiste de dos cubos de aluminio y un elemento elástico llamado estrella encargado de transmitir el par.

**Actuador:** Dispositivo mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico.

**Analógico:** Magnitud o valor que varía con el tiempo en forma continua.

**Ánodo:** Electrodo positivo en el cual se produce una reacción de oxidación de los elementos.

**Bobina:** Elemento formado por espiras de alambre arrollado que almacena energía en forma de campo magnético.

**Capacitor:** Elemento formado por dos placas separadas por un material dieléctrico que almacena energía en forma de campo eléctrico.

**Cátodo:** Electrodo negativo en el cual se produce una reacción de reducción de los elementos.

**Cojinete:** Pieza cilíndrica en que se apoya y gira el eje de un mecanismo con la función de disminuir el rozamiento de las superficies en contacto.

**Compresión:** Aplastamiento, acción y resultado de comprimir.

**Correa dentada:** Método de transmisión de energía mecánica en el que tanto los piñones como la correa tienen dientes para evitar el deslizamiento entre ellos.

**Cristal de oscilación:** componente electrónico que oscila a una frecuencia estable.

**Deflexión:** Aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas.

**Digital:** Cualquier señal o modo de transmisión que utiliza valores discretos en lugar de un espectro continuo de valores.

**Electrodeposición:** Procedimiento electroquímico mediante el cual se logra cubrir una pieza con una fina capa de determinado metal sumergiendo dicha pieza en una solución electrolítica que contiene los iones del metal que formará la capa.

**Electrolítico:** Que contiene aniones y cationes y es por lo tanto, capaz de conducir la corriente eléctrica.

**Electroválvula:** Válvula accionada por un electroimán, que regula el paso de un fluido.

**Esfuerzo:** Fuerzas internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo. Definido en fuerza por unidad de área.

**Estator:** Constituye la parte fija de un motor.

**Flexión:** Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido elástico por la acción de una fuerza que lo deforma.

**Galvanoplastia:** Proceso en el que por medio de la electricidad, se cubre un metal sobre otro a través de una solución de sales metálicas para mejorar sus propiedades superficiales.

**Grado de libertad:** Movimiento simple e independiente que puede tener un cuerpo o un punto material.

**Inercia:** Resistencia de los cuerpos para cambiar su estado de reposo o de movimiento sin la intervención de alguna fuerza.

**IRS:** siglas en inglés de “Interrupt-Service Routine”. Se refiere a la rutina de servicio de interrupciones presente en los microcontroladores.

**Límite elástico:** Tensión máxima que un material puede resistir sin sufrir deformaciones permanentes.

**Mecatrónica:** Disciplina que integra sinérgicamente la ingeniería mecánica, electrónica, informática y de control.

**Microcontrolador:** Circuito integrado reprogramable, capaz de ejecutar órdenes grabadas en memoria.

**Momento flector:** Momento de fuerza que resulta de una distribución de tensiones sobre la sección transversal de una viga o placa flexionada.

**Momento de inercia:** Medida de la inercia rotacional de un cuerpo que depende del eje de giro y de la geometría del cuerpo.

**Momento de torsión:** El producto de la magnitud de una fuerza por su brazo de palanca.

**Motor a pasos:** Dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos.

**NA:** Normalmente abierto / No aplica.

**NC:** Normalmente cerrado.

**NPN:** Transistor con capas internas de polaridades negativa-positiva-negativa.

**PLC:** Controlador lógico programable.

**PNP:** Transistor con capas internas de polaridades positiva-negativa-positiva.

**Productividad:** Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, tiempo o energía.

**Puente H:** Circuito electrónico que permite invertir la polaridad de un motor o devanado de este.

**PVC:** Policloruro de vinilo. Material termoplástico.

**Ripple:** Pérdida de voltaje de la salida de un dispositivo con respecto a su alimentación debido al consumo de potencia de los componentes del mismo.

**Robot cartesiano:** Robot industrial cuyos tres ejes principales de movilidad son lineales y perpendiculares entre sí.

**Rodamiento:** Cojinete que consta de dos cilindros concéntricos entre los que va colocado un juego de rodillos o bolas que pueden girar libremente.

**Rotor:** Constituye la parte giratoria de un motor.

**RPM:** Revoluciones por minuto.

**Sensor:** Dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles e interpretables de dicha magnitud.

**Sensor inductivo:** Clase especial de sensores que sirve para detectar materiales metálicos a partir de una alteración de su campo magnético ocasionada por la presencia del objeto.

**Servomotor:** Dispositivo similar a un motor de corriente directa, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

**SPS:** Siglas en inglés de "Steps Per Second". Lo cual indica la cantidad de pasos por segundo que da un motor a pasos.

**SPSPS:** Siglas en inglés de "Steps Per Second Per Second". Lo cual indica la cantidad de veces que cambia SPS por segundo

**Tensión:** Efecto de fuerzas opuestas aplicadas a un cuerpo.

**Torque-par:** Magnitud física que produce un giro sobre el cuerpo que la recibe.

**Transistor:** Dispositivo semiconductor que sirve como interruptor o como amplificador de una señal.

**UART:** Siglas en inglés de "Universal Asynchronous Receiver-Transmitter". Dispositivo cuya función es convertir datos serie a paralelo para recepción y paralelos a serie para transmisión.

**USB:** Siglas en inglés de "Universal Serial Bus". Bus universal serie.

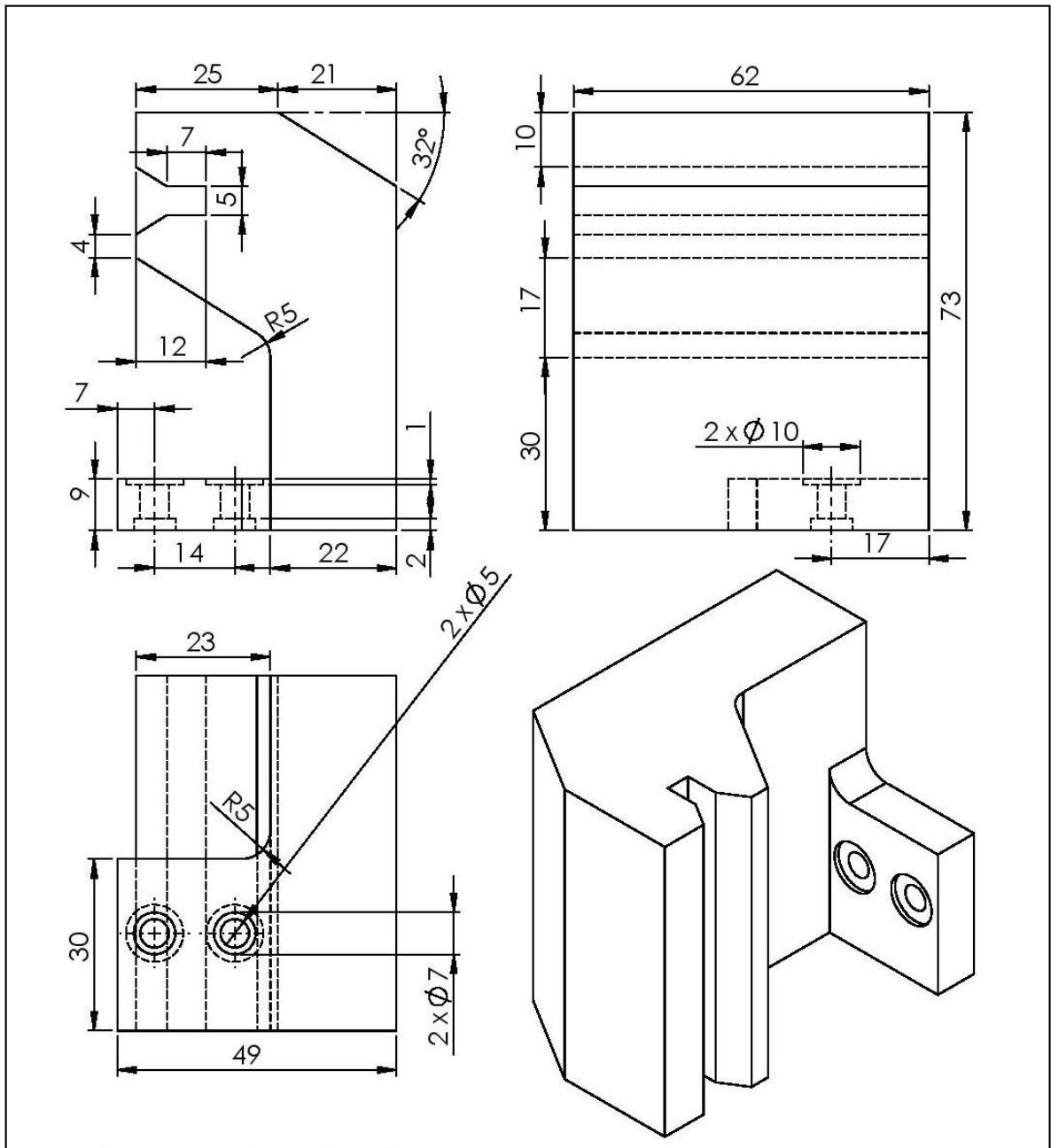
**VAC:** Voltaje en corriente alterna.

**VDC:** Voltaje en corriente directa.

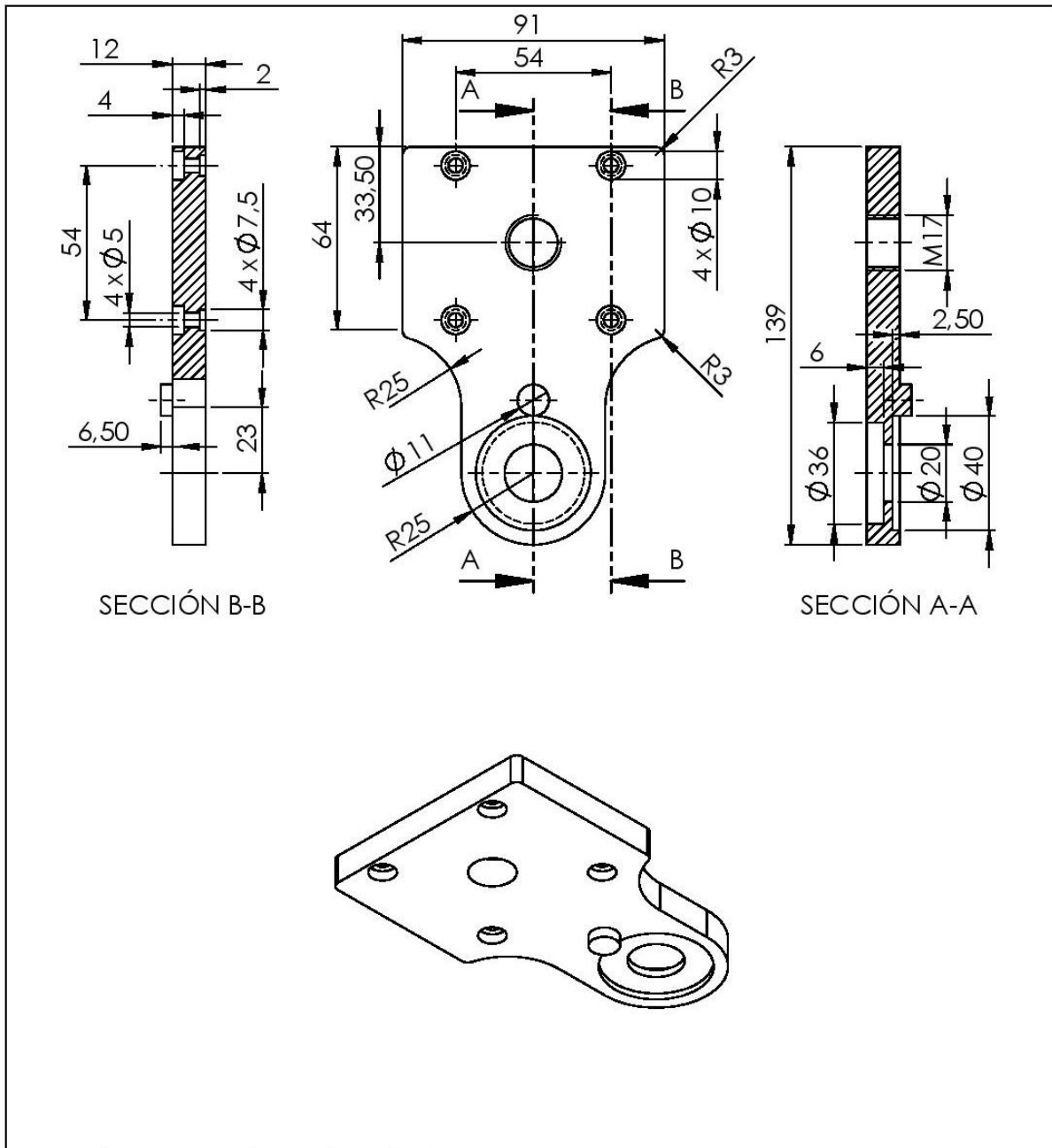
**Voladizo:** Que se prolonga horizontal o inclinadamente más allá del elemento que lo soporta.

**Von Mises:** Esfuerzo proporcional a la energía de distorsión absorbida por un material.

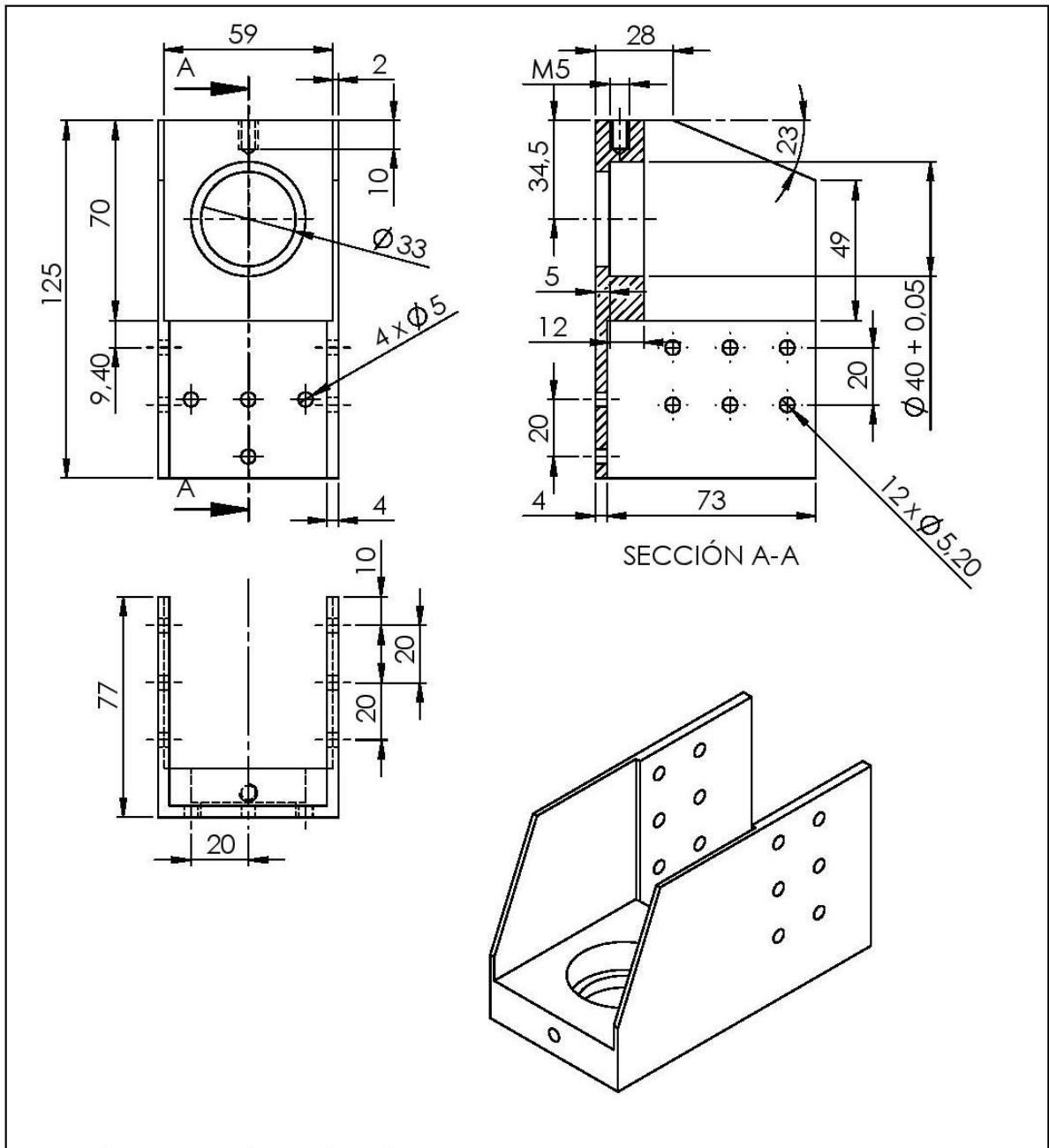




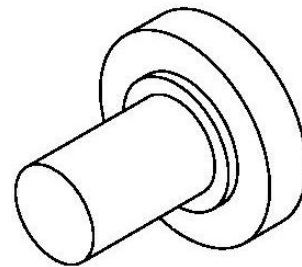
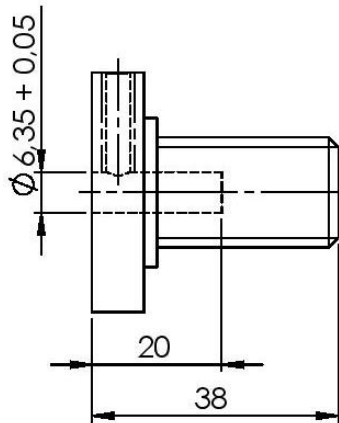
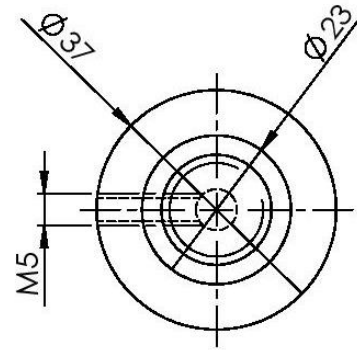
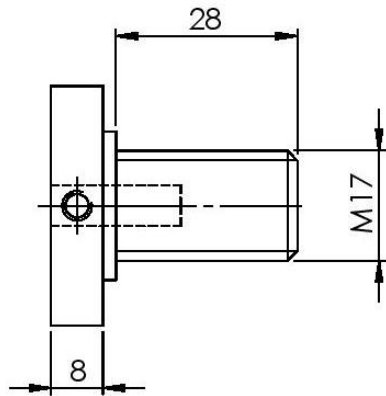
				CÓDIGO:			
				SM01.01.00.01			
				PROYECTO:			Letra
				AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY			Masa
							Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha				1:1
Diseño	F. CHAVES		9/2014				
Consultó							
Dibujó	F. CHAVES		9/2014	Hoja num: 2		Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:			INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
Acotación	MM			PINZA DE ROBOT			



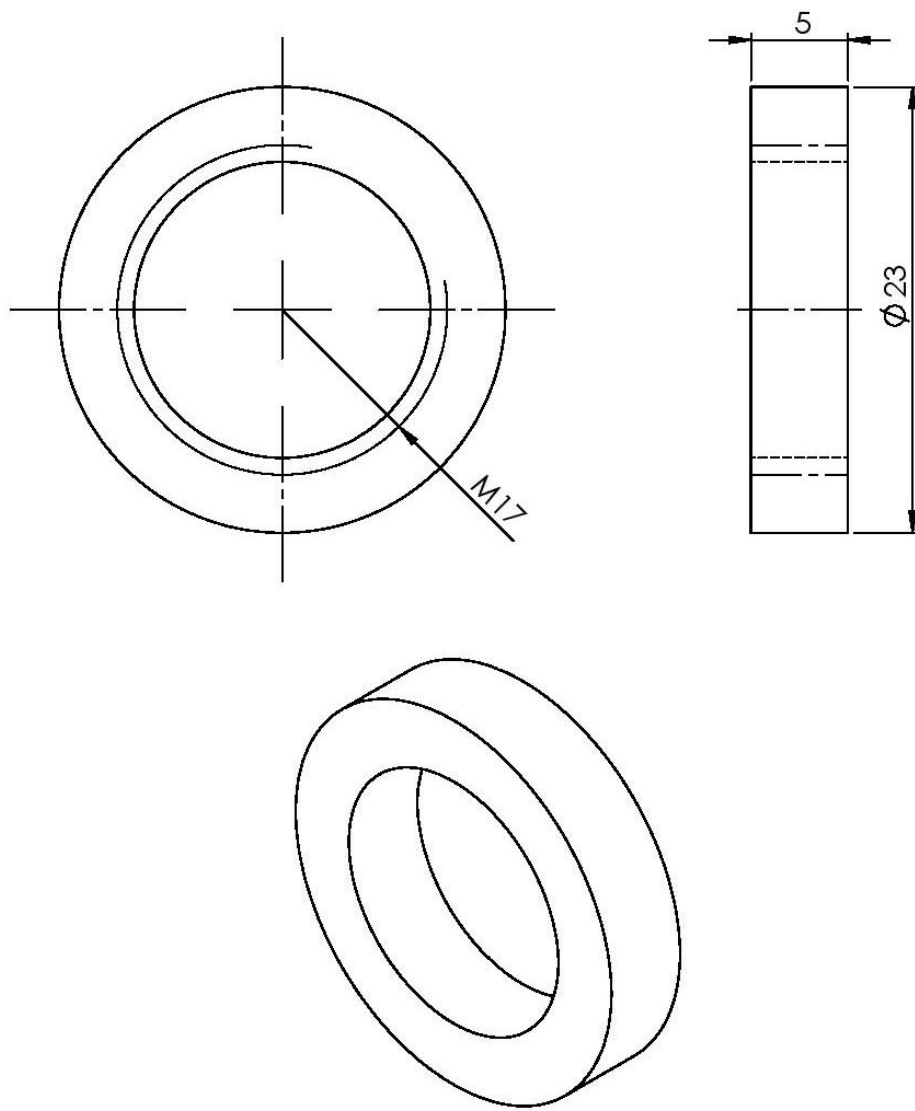
				CÓDIGO:			
				SM01.01.00.02			
				PROYECTO:	Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY			1:2
Diseño	F. CHAVES		9/2014				
Consultó							
Dibujó	F. CHAVES		9/2014		Hoja num: 3	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM			SOPORTE DE PINZA			



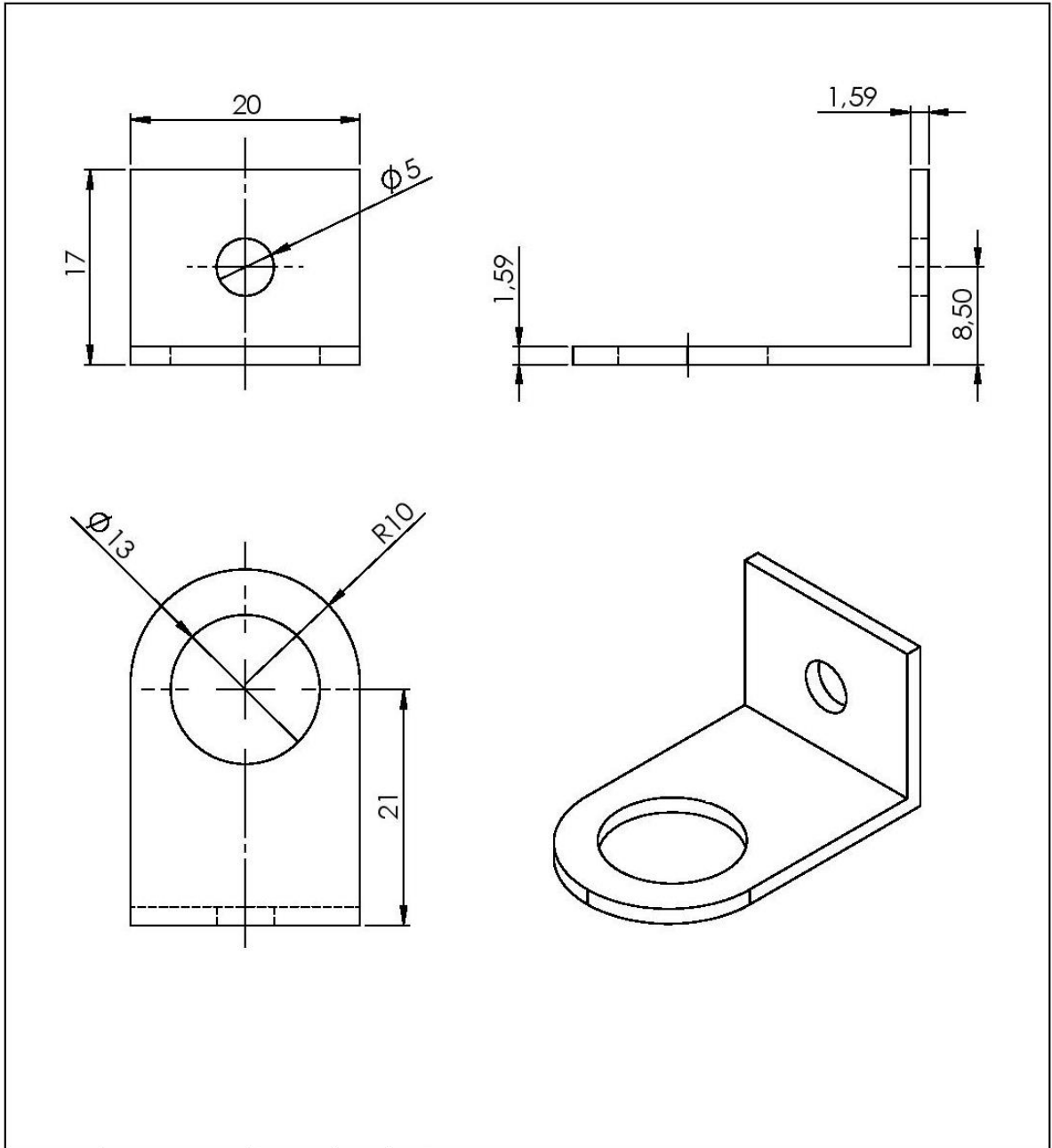
				CÓDIGO:					
				SM01.01.00.03					
				PROYECTO:			Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY					1:2
Diseño	F. CHAVES		9/2014						
Consultó									
Dibujó	F. CHAVES		9/2014				Hoja num: 4	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014						
Acotación	MM			PARTE:			INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
				ACOPLE DE PINZA					



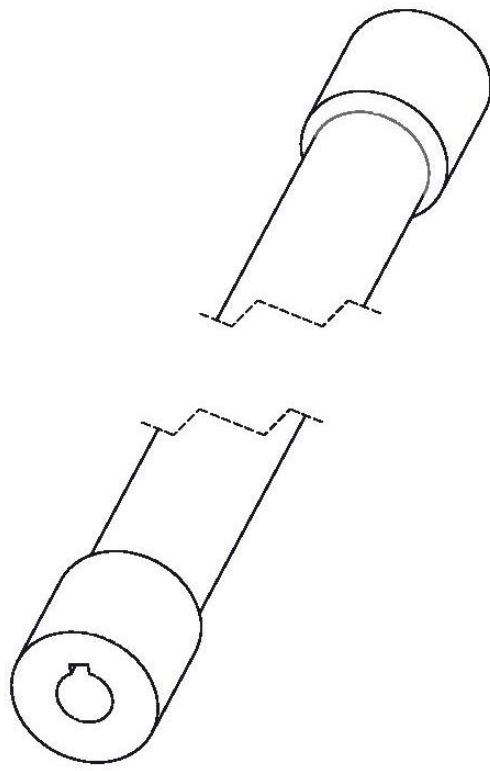
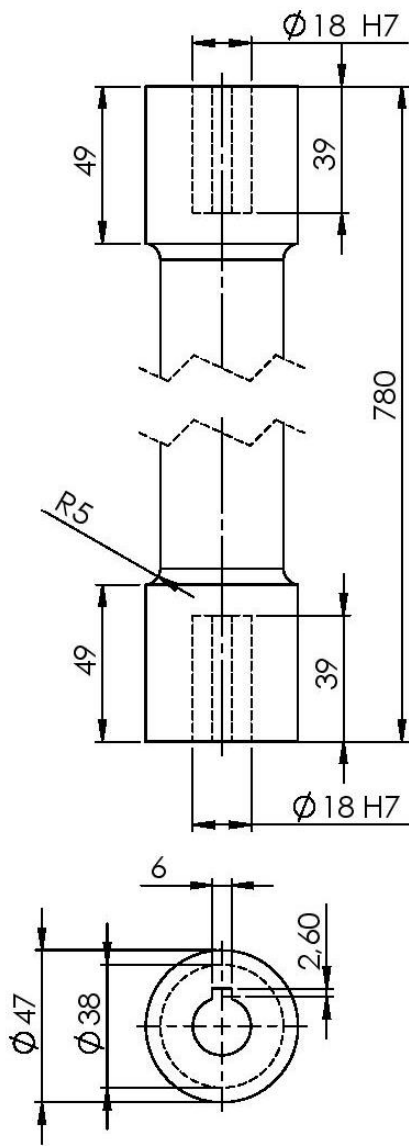
				CÓDIGO:			
				SM01.01.00.04			
				PROYECTO:	Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY			1:1
Diseño	F. CHAVES		9/2014				
Consultó							
Dibujó	F. CHAVES		9/2014				
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014				
Acotación	MM			PARTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
				TORNILLO DE SOPORTE	Hoja num: 5	Total hojas: 15	



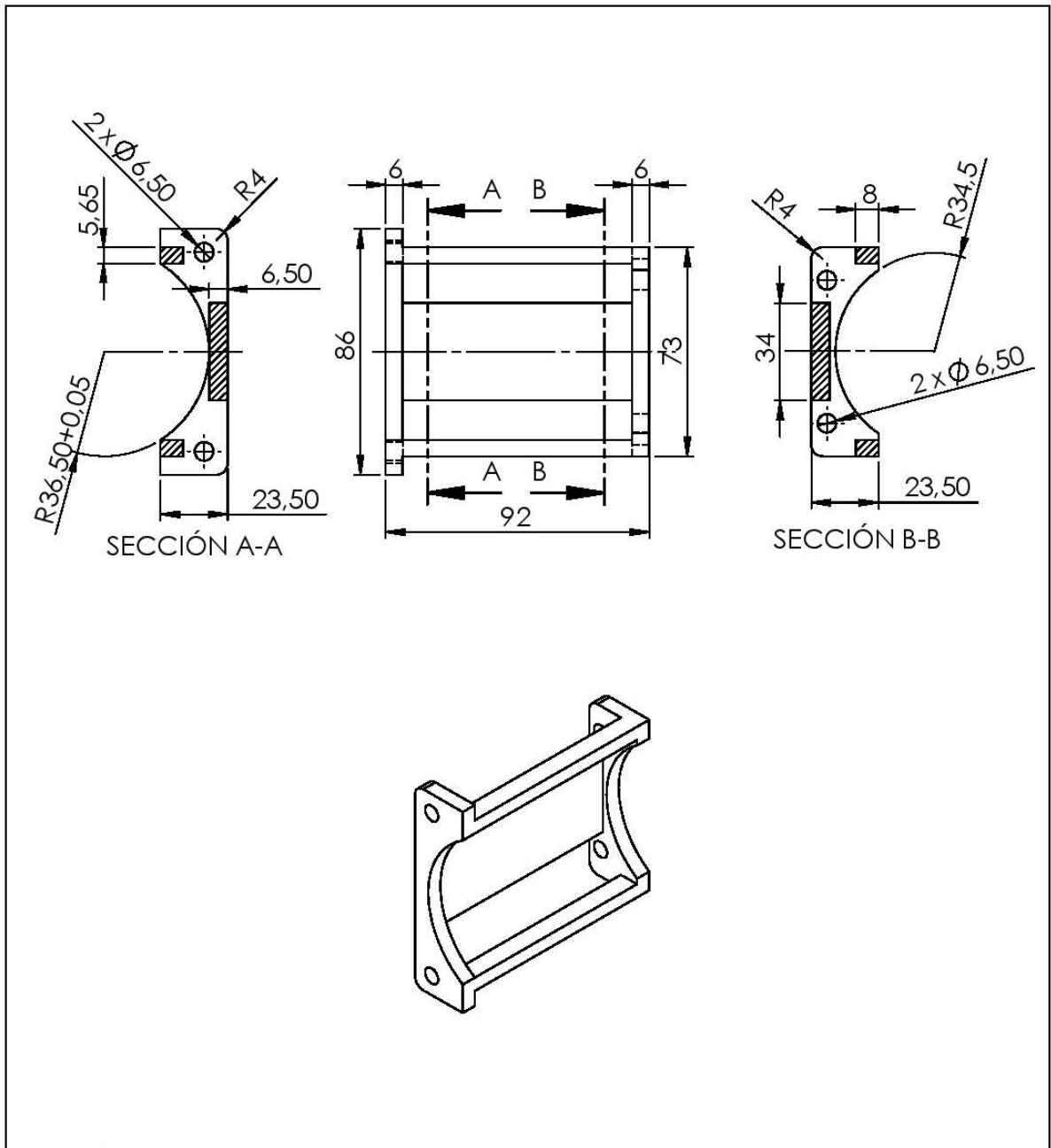
				CÓDIGO:				
				SM01.01.00.05				
				PROYECTO:		Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY				3:1
Diseñó	F. CHAVES		9/2014					
Consultó								
Dibujó	F. CHAVES		9/2014			Hoja num: 6	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:		INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM			ANILLO SUJETADOR				



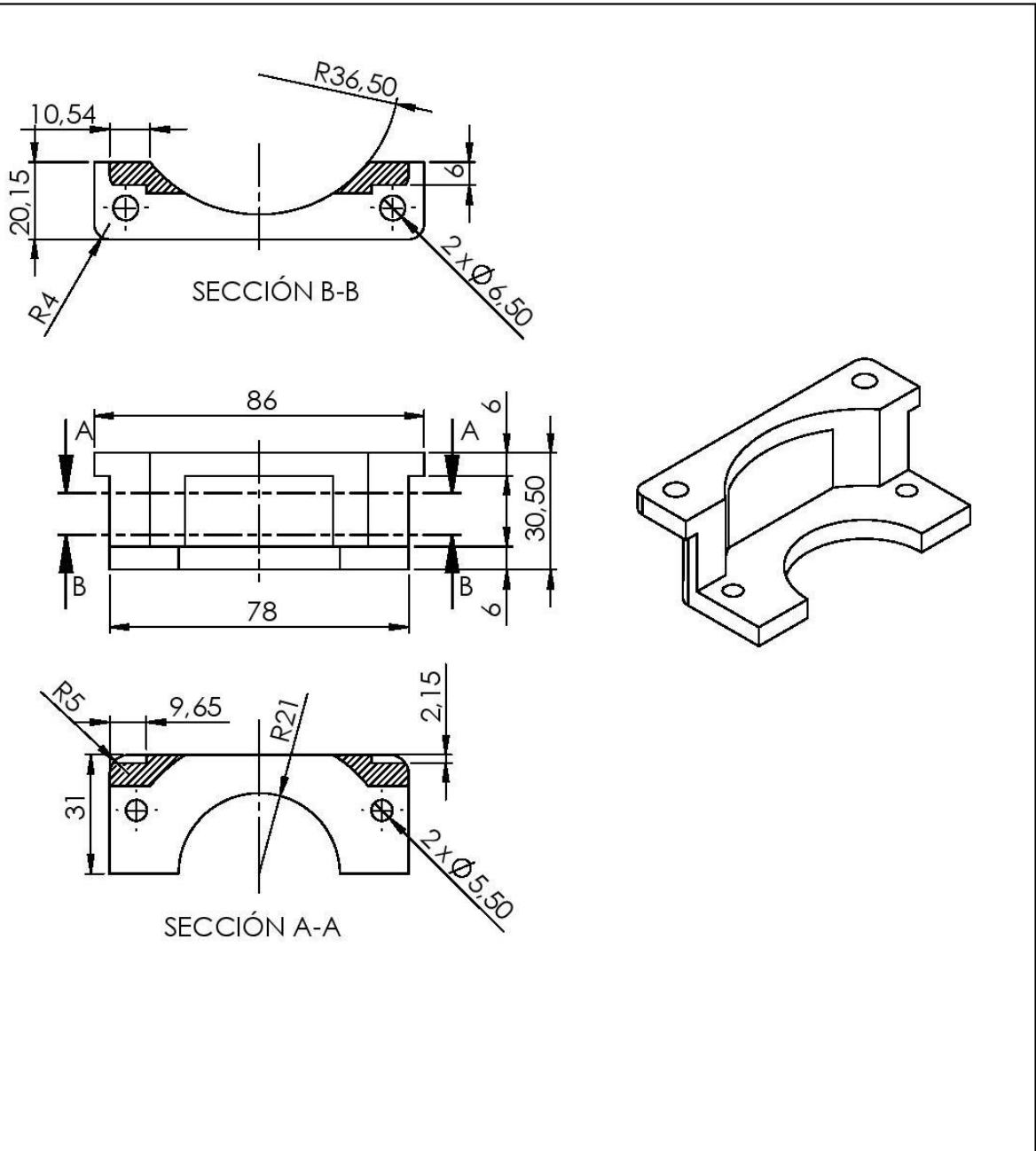
				CÓDIGO:						
				SM01.01.00.06						
				PROYECTO:			Letra	Masa	Escala	
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY					2:1	
Diseñó	F. CHAVES		9/2014							
Consultó							Hoja num: 7		Total hojas: 15	
Dibujó	F. CHAVES		9/2014							
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:			INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA			
Acotación	MM			SOPORTE DE SENSOR						



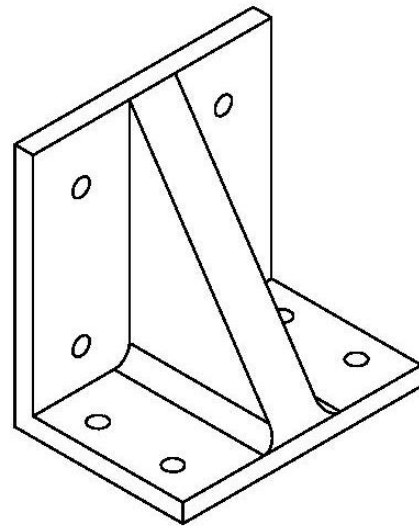
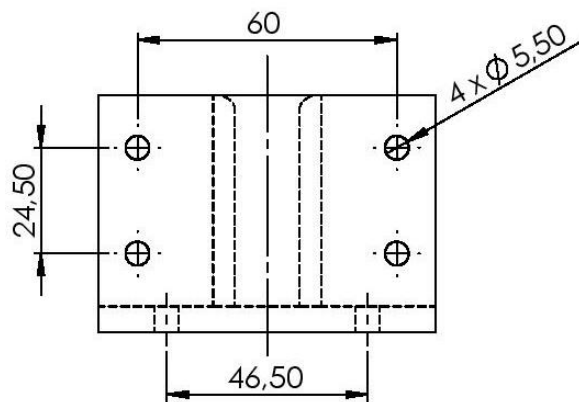
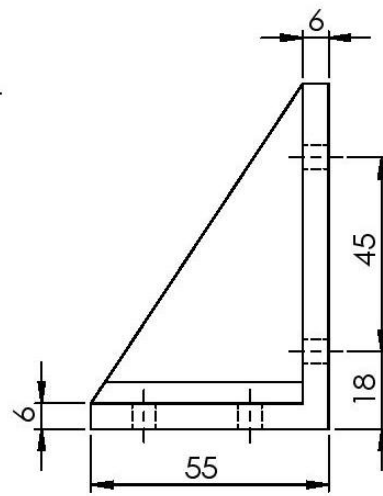
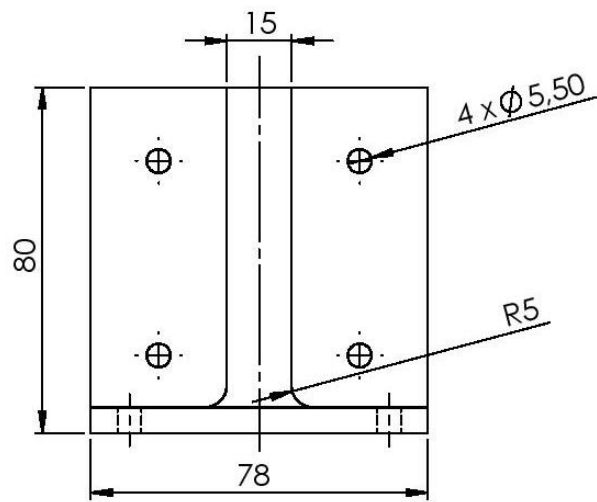
				CÓDIGO:				
				SM01.01.00.07				
				PROYECTO:		Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY		Haja num: 8	Total hojas: 15	1:2
Diseño	F. CHAVES		9/2014					
Consultó								
Dibujó	F. CHAVES		9/2014					
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:		INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM			EJE DE TRANSMISIÓN				



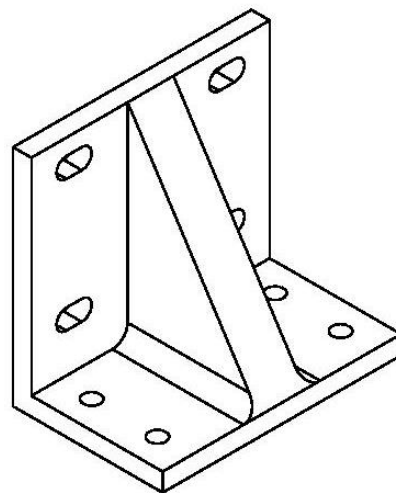
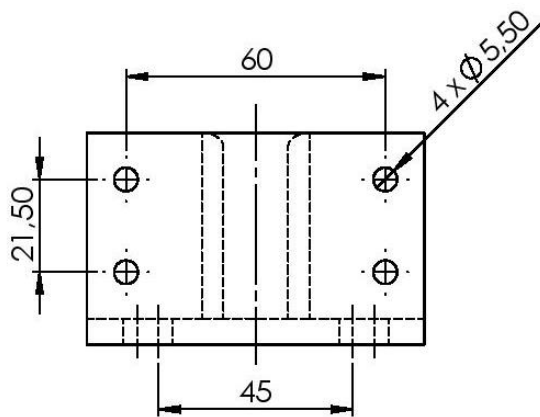
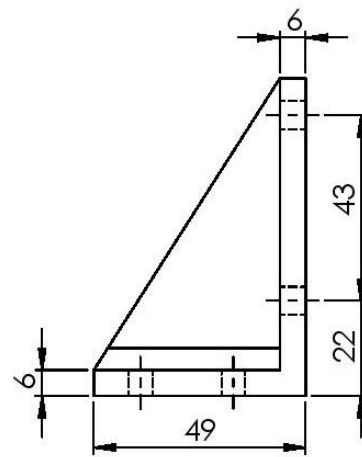
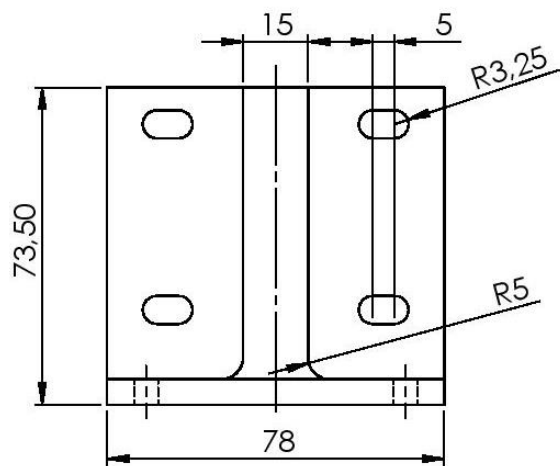
				CÓDIGO:			
				SM01.01.00.08			
				PROYECTO:	Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY			1:2
Diseñó	F. CHAVES		9/2014				
Consultó							
Dibujó	F. CHAVES		9/2014		Hoja num: 9	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM			SOPORTE DE MOTOR XY			



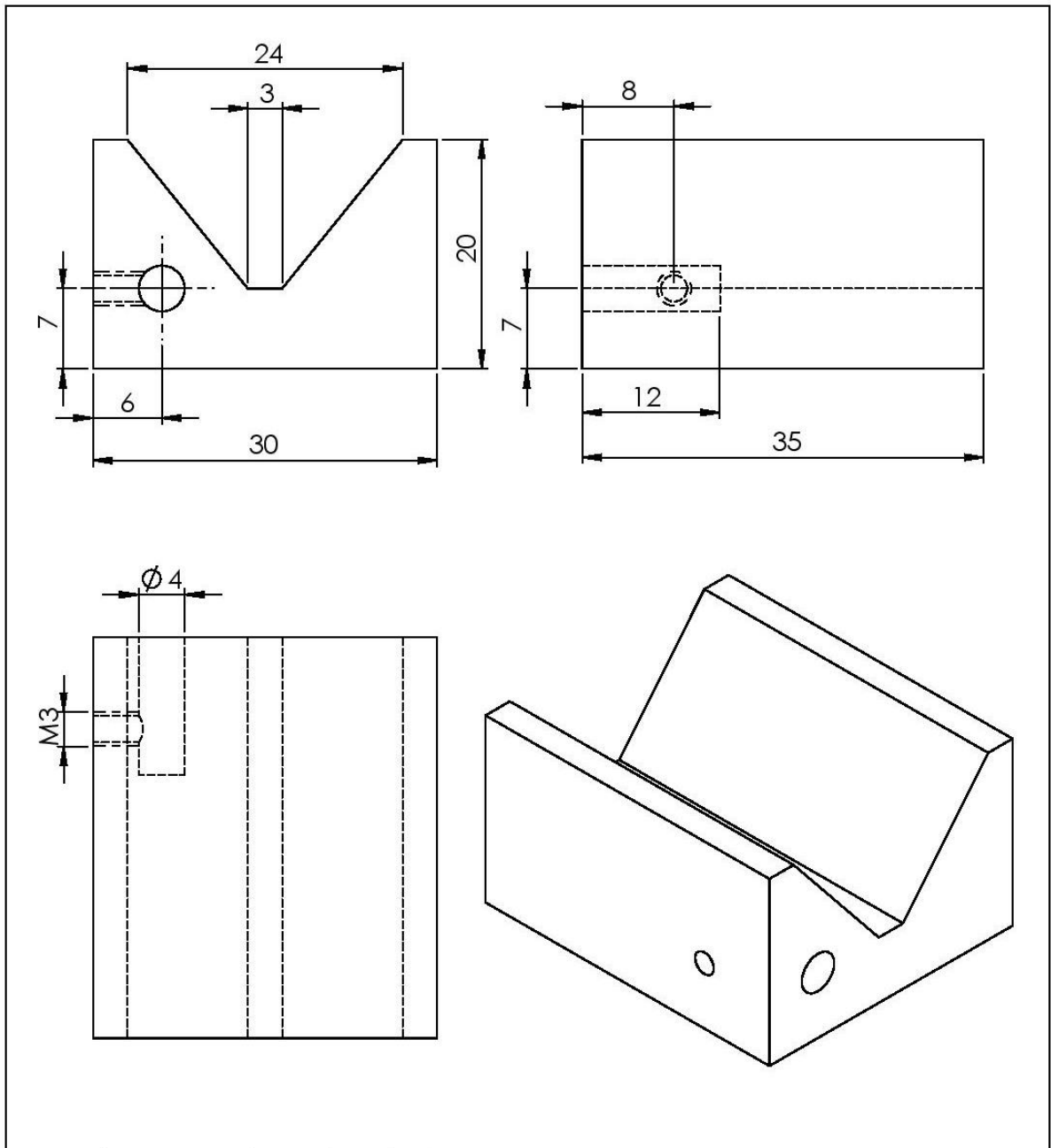
				CÓDIGO:				
				SM01.01.00.09				
				PROYECTO:		Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY				1:1,5
Diseñó	F. CHAVES		9/2014					
Consultó								
Dibujó	F. CHAVES		9/2014			Hoja num: 10	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:		INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM			SOPORTE DE MOTOR Z				



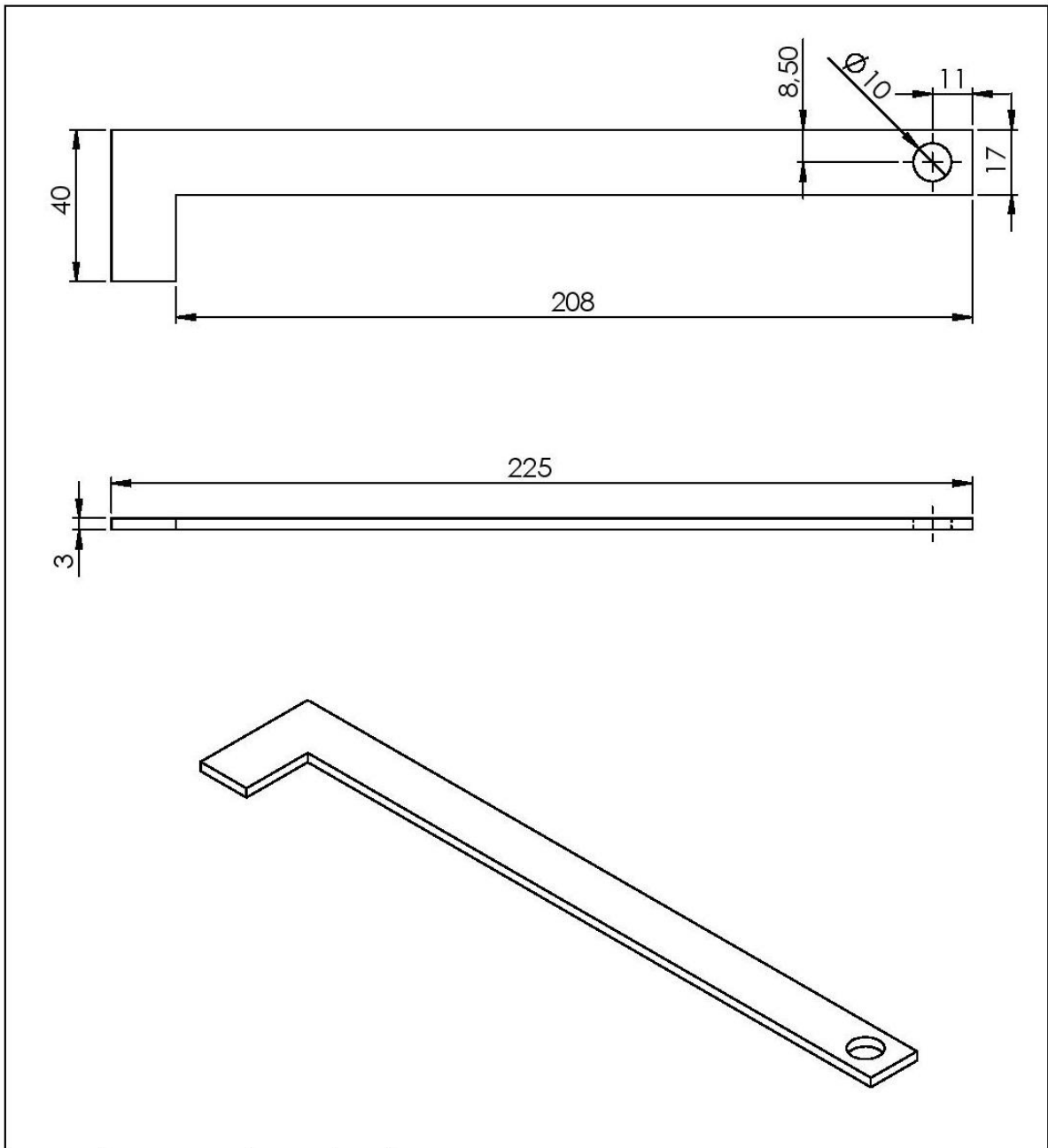
				CÓDIGO:			
				SM01.01.00.10			
				PROYECTO:	Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY			1:1,5
Diseñó	F. CHAVES		9/2014				
Consultó							
Dibujó	F. CHAVES		9/2014		Hoja num: 11	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014				
Acotación	MM			PARTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
				UNIÓN X-Y			



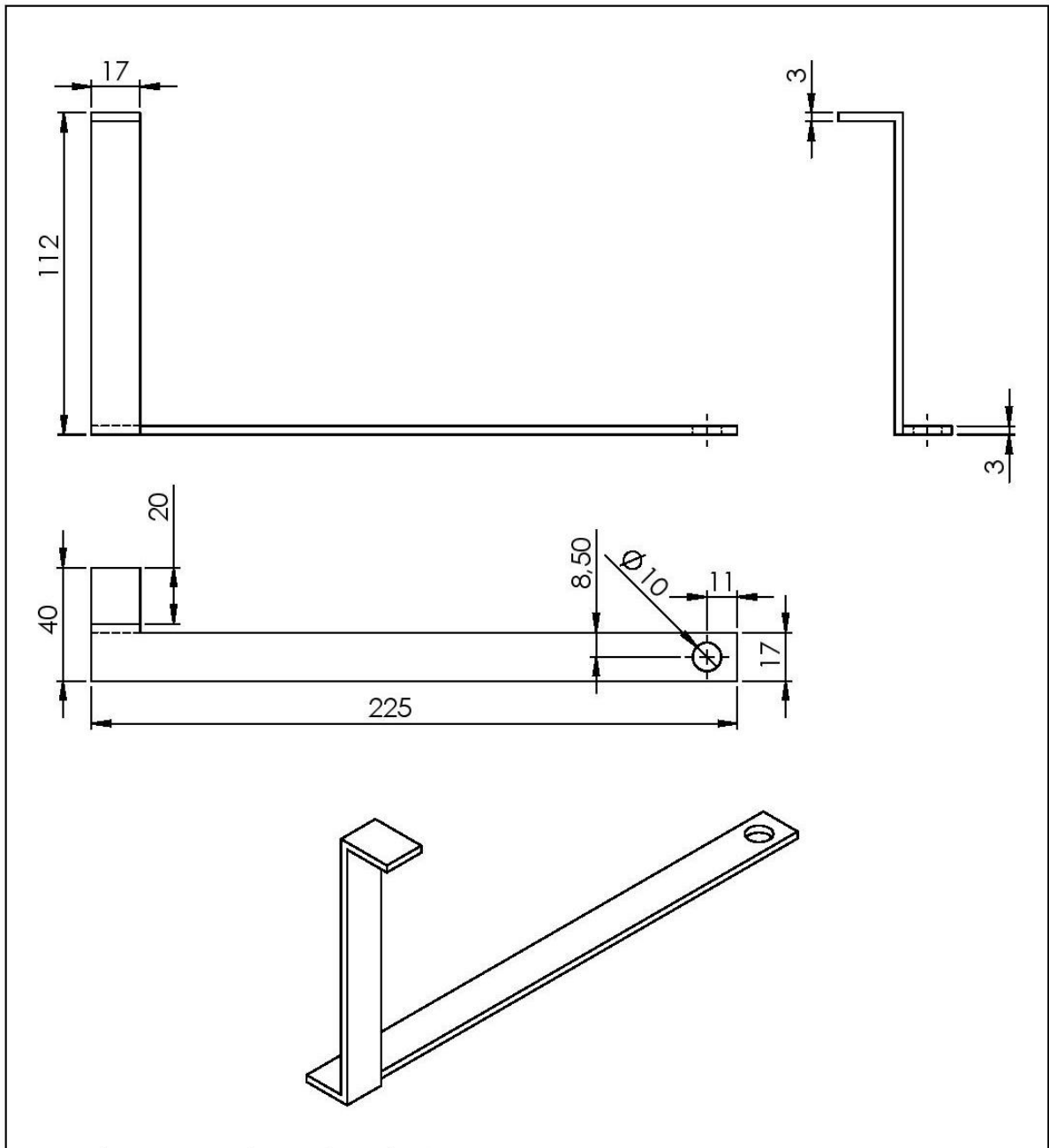
				CÓDIGO:		
				SM01.01.00.11		
				PROYECTO:		Letra
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY		Masa
Diseño	F. CHAVES		9/2014			Escala
Consultó						1:1,5
Dibujó	F. CHAVES		9/2014	Hoja num: 12		Total hojas: 15
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:		INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
Acotación	MM			UNIÓN Y-Z		



				CÓDIGO:			
				SM01.01.00.12			
				PROYECTO: AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY	Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha				2:1
Diseñó	F. CHAVES		9/2014				
Consultó							
Dibujó	F. CHAVES		9/2014		Hoja num: 13		Total hojas: 15
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE: CONTACTO DE BARRIL	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM						



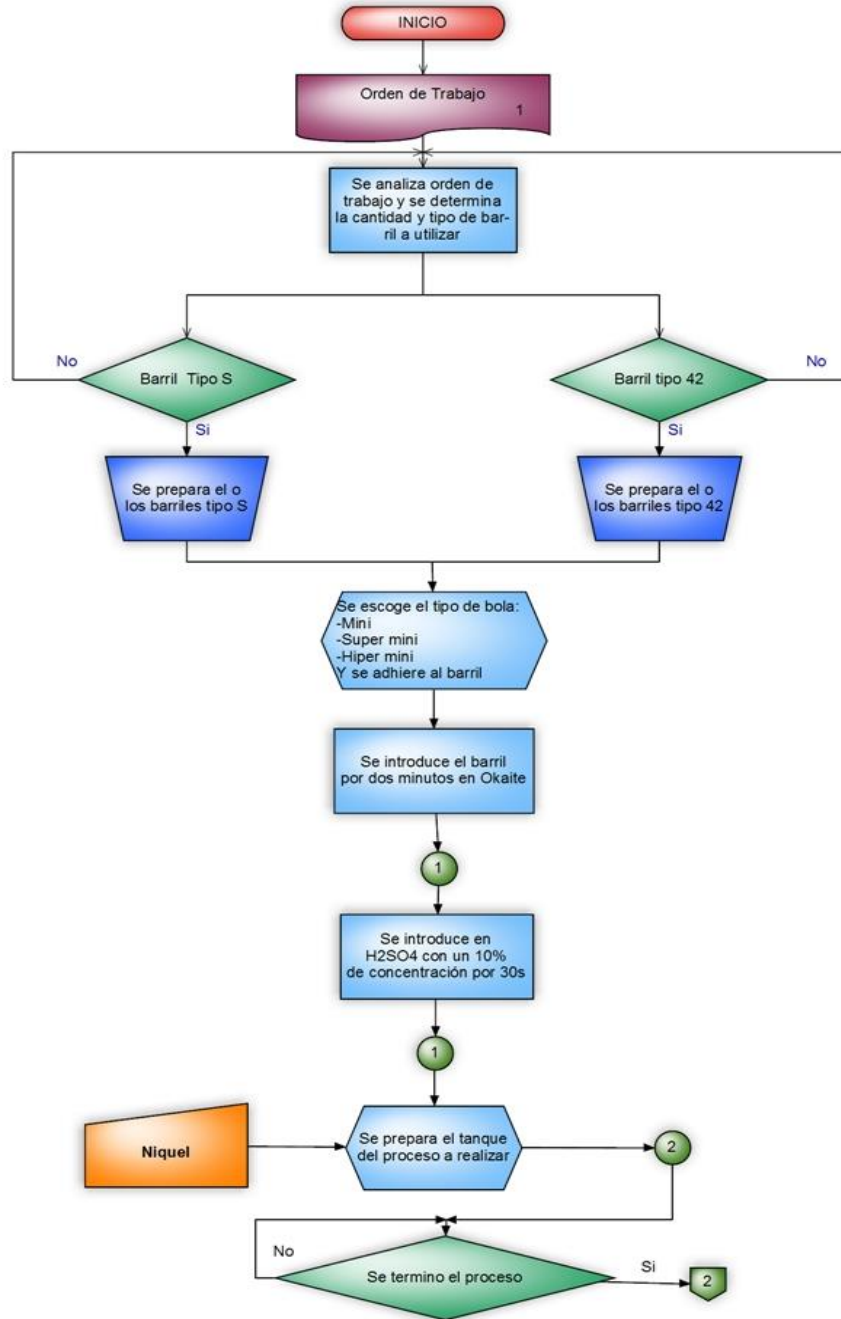
				CÓDIGO:					
				SM01.01.00.13					
				PROYECTO:			Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY					1:1,5
Diseñó	F. CHAVES		9/2014						
Consultó									
Dibujó	F. CHAVES		9/2014				Hoja num: 14	Total hojas: 15	
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:			INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		
Acotación	MM			TERMINAL LATERAL					

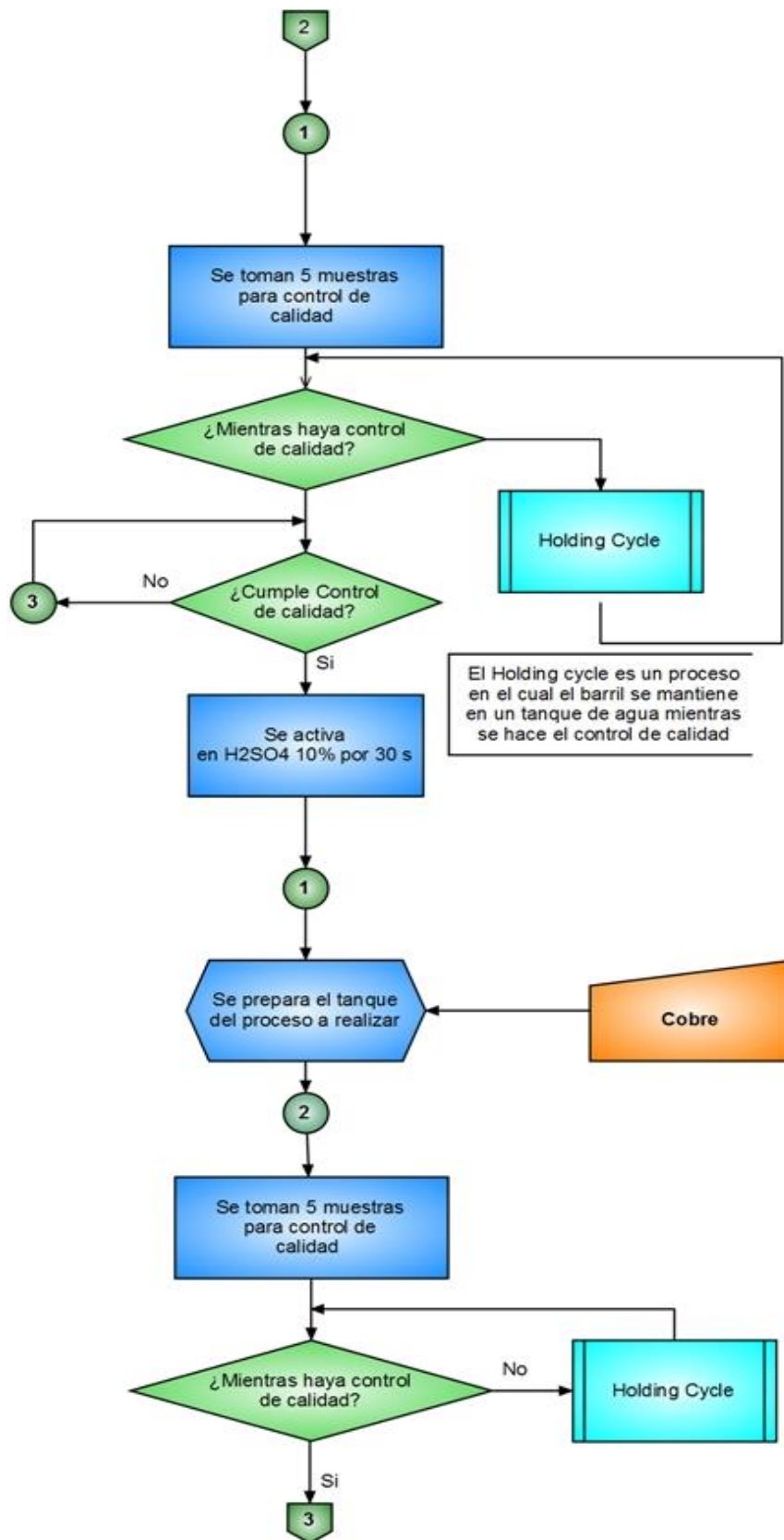


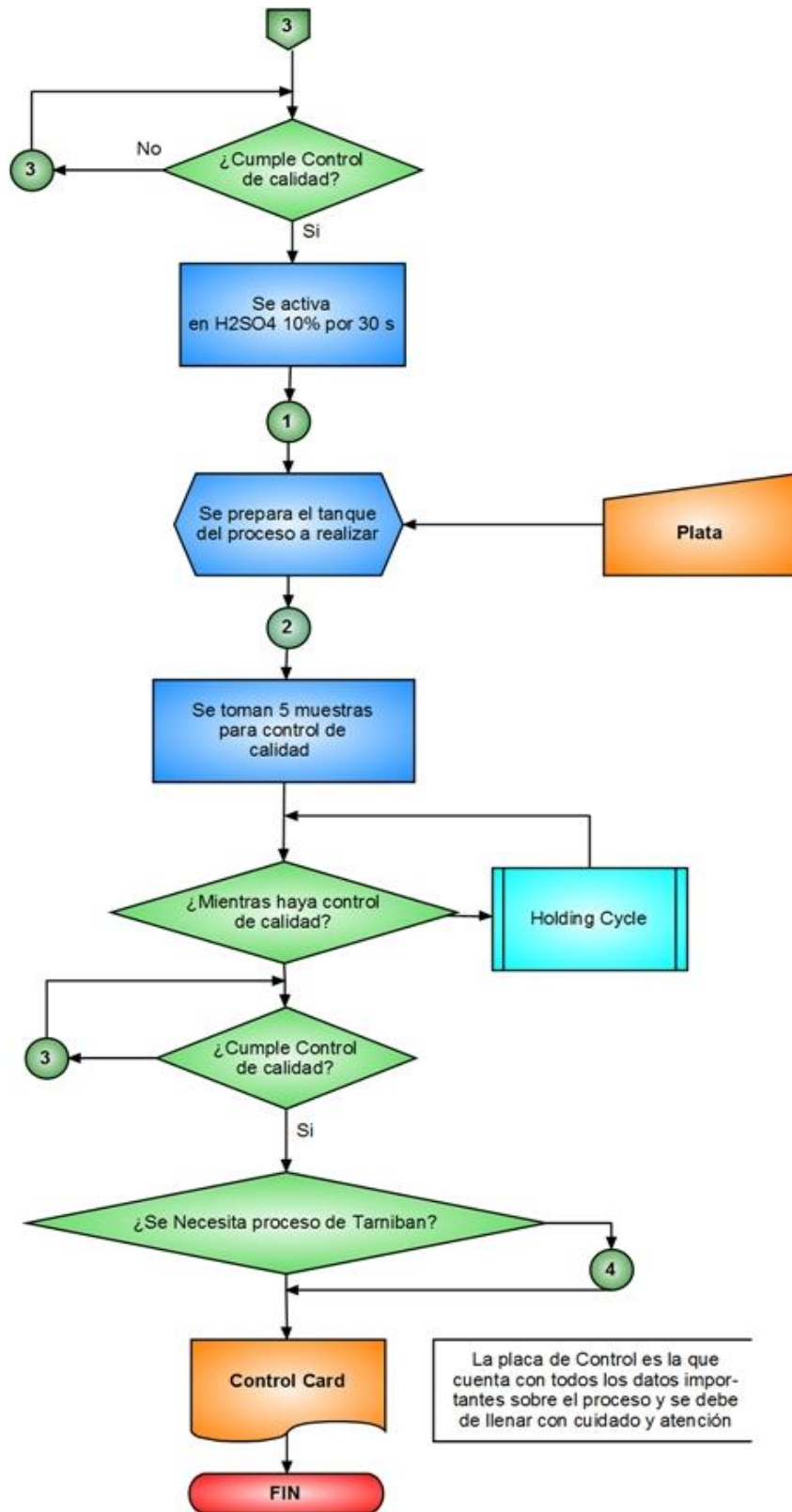
				CÓDIGO:					
				SM01.01.00.14					
				PROYECTO:			Letra	Masa	Escala
Concepto	Nombre	Firma	Fecha	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN EN EMC TECHNOLOGY					1:2
Diseño	F. CHAVES		9/2014						
Consultó									
Dibujó	F. CHAVES		9/2014						
Aprobó	C. SALAZAR		11/2014	PARTE:			Hoja num: 15		Total hojas: 15
Acotación	MM			TERMINAL CENTRAL			INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA		

### 9.1.3 Apéndice A.3 Diagrama de flujo para la electrodeposición de plata.

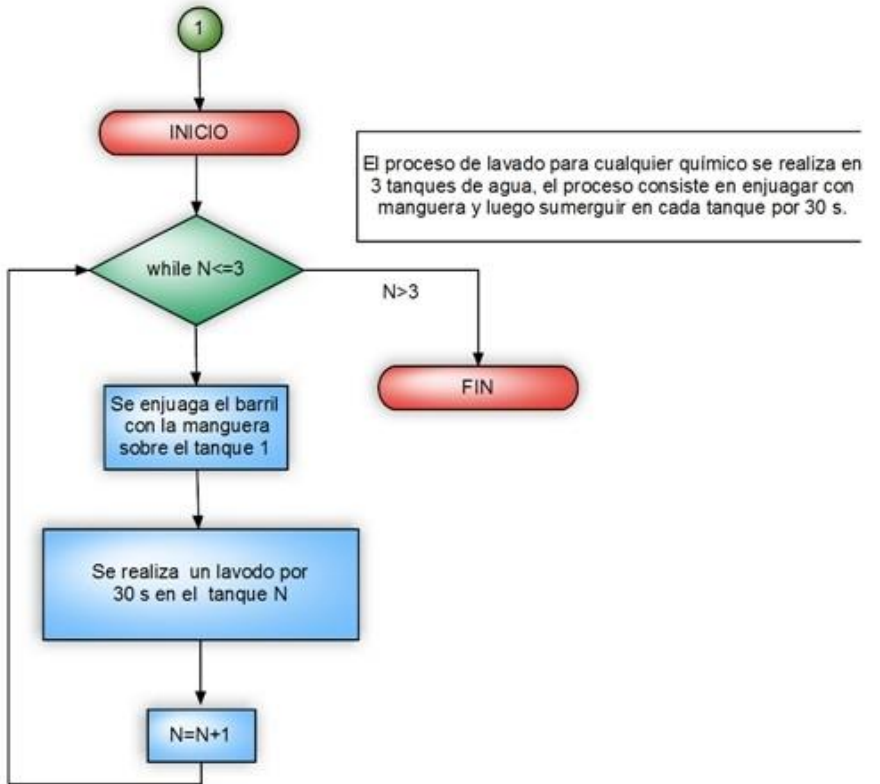
Fuente: EMC Technology. Plating Control Card for Silver Parts.

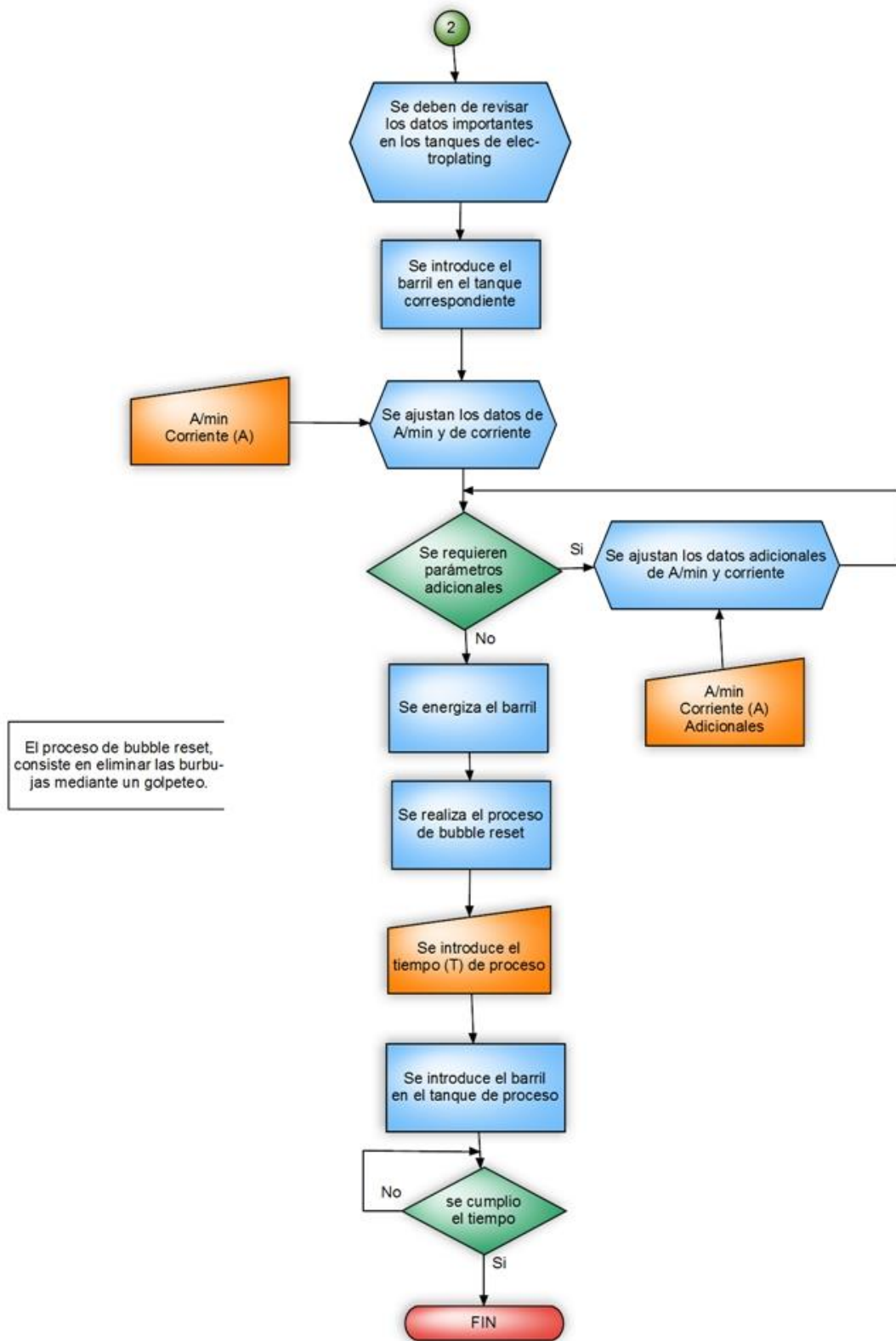


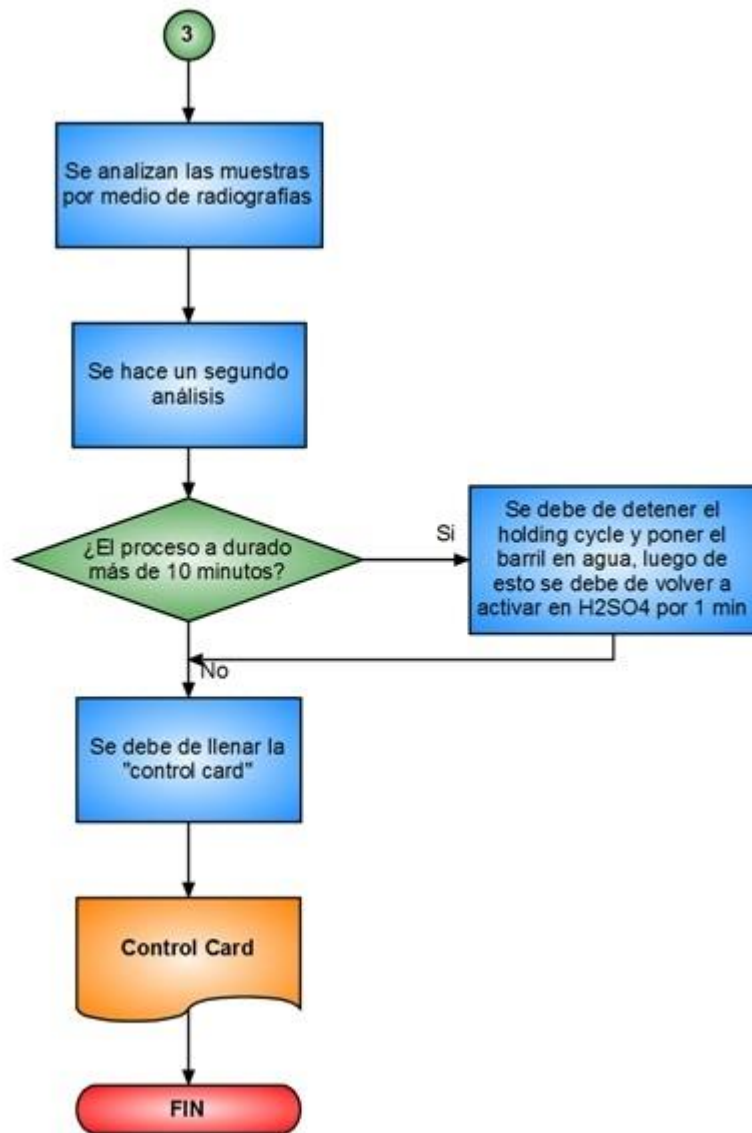


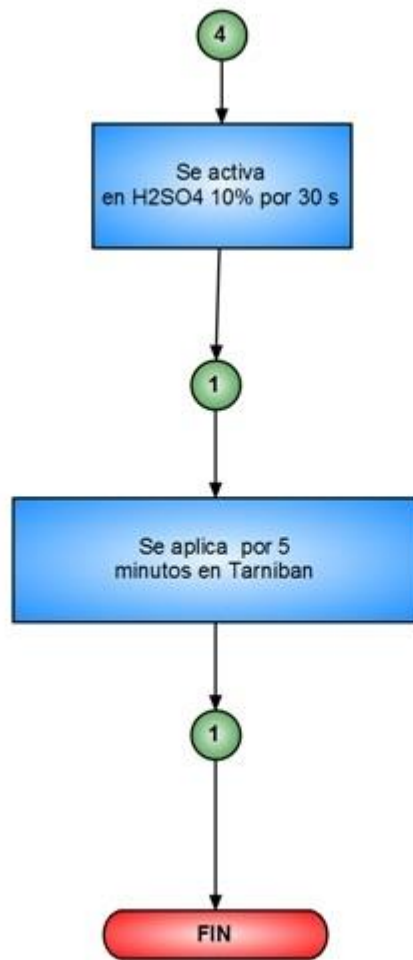


N=1

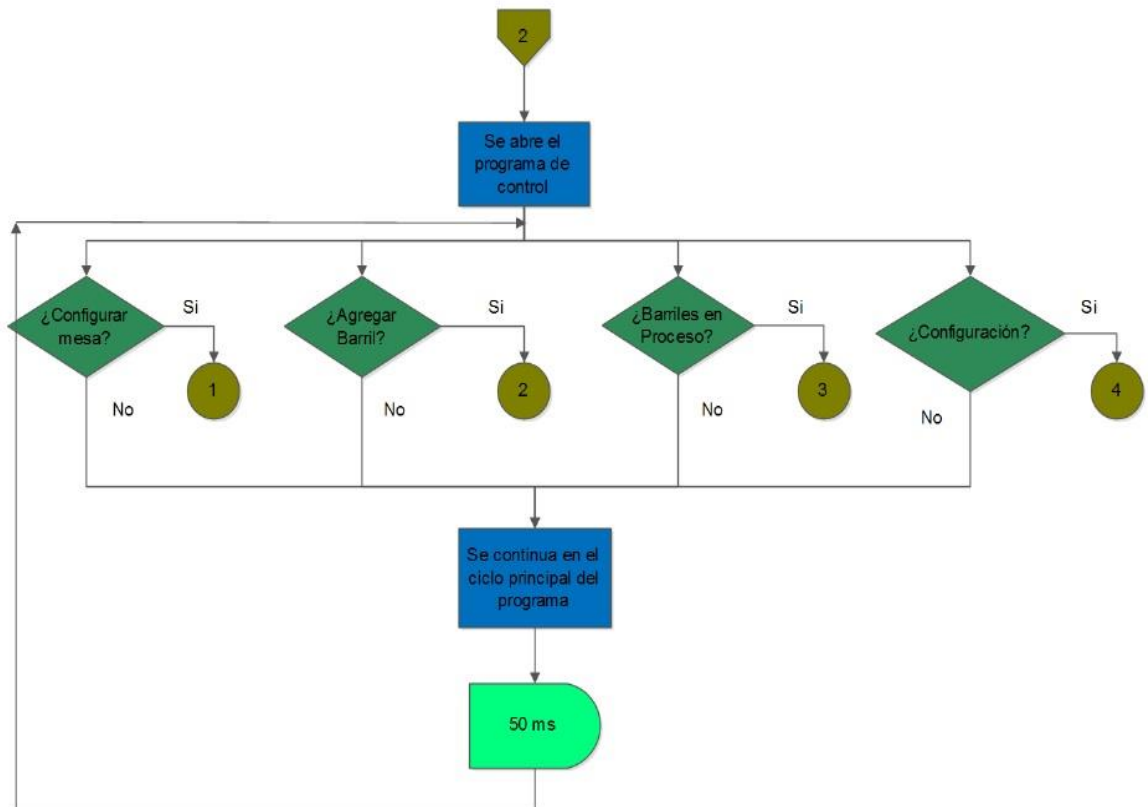
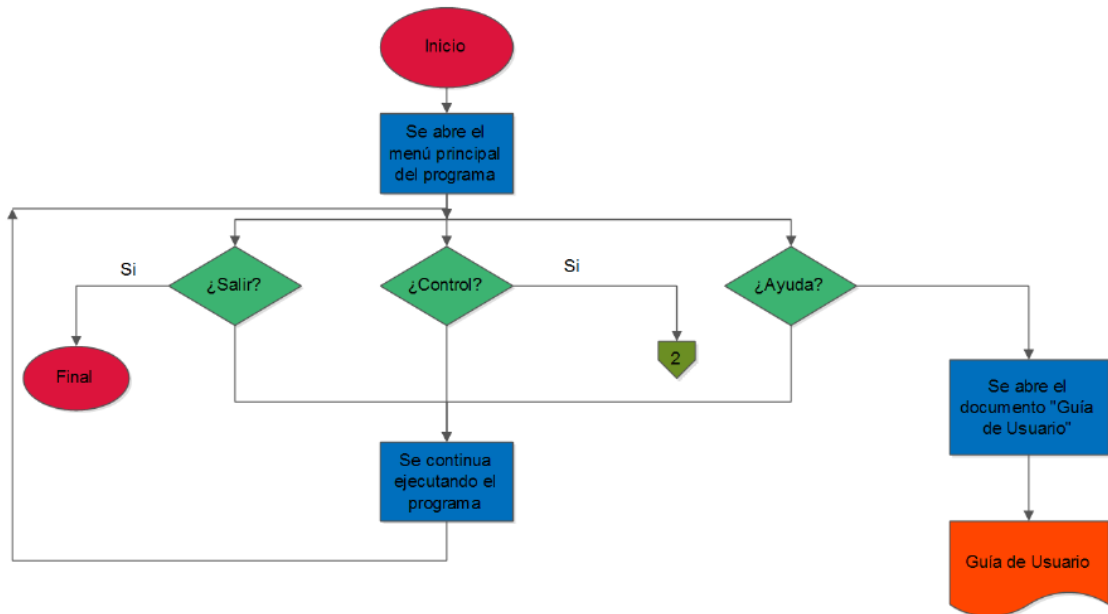


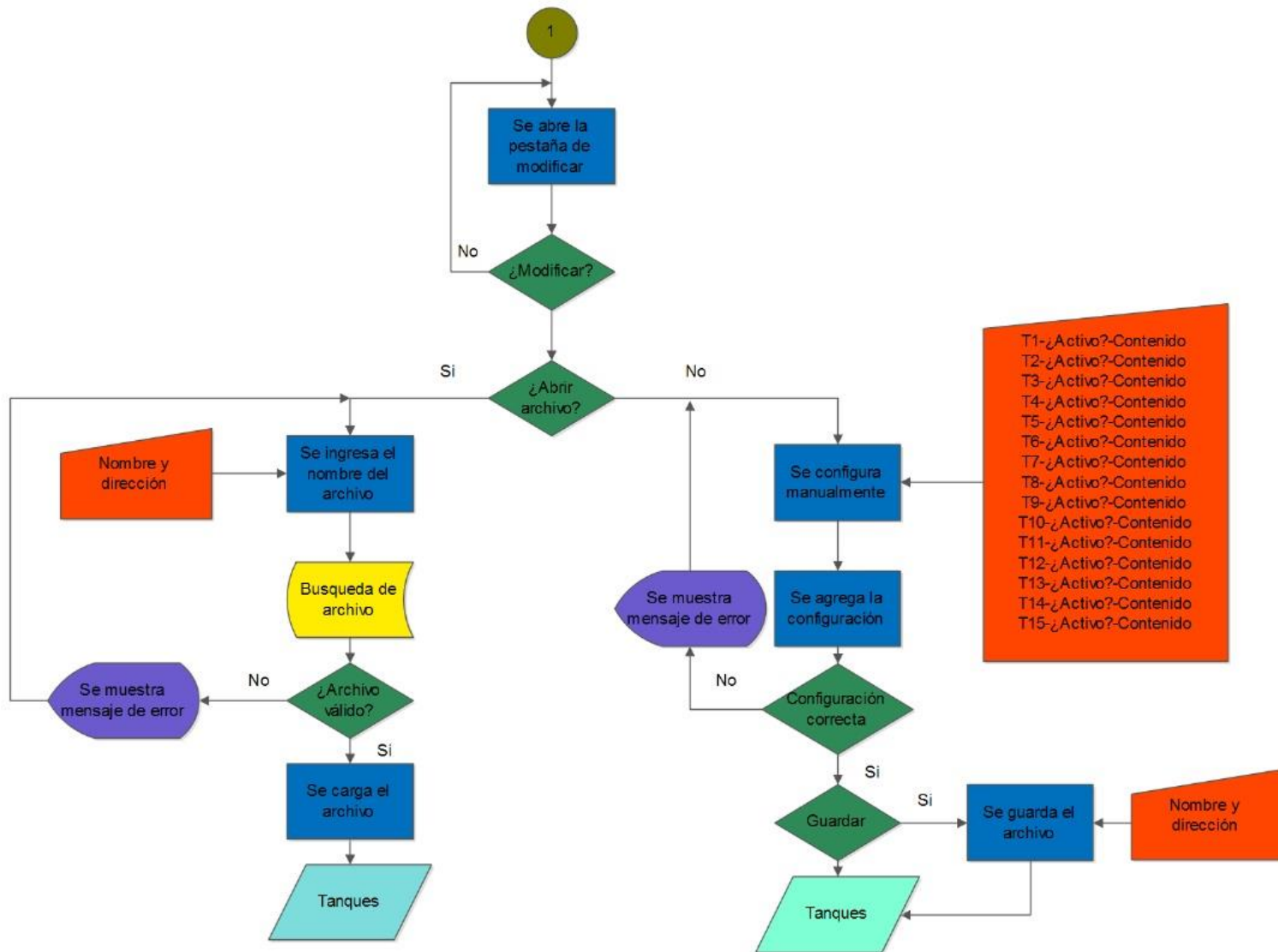


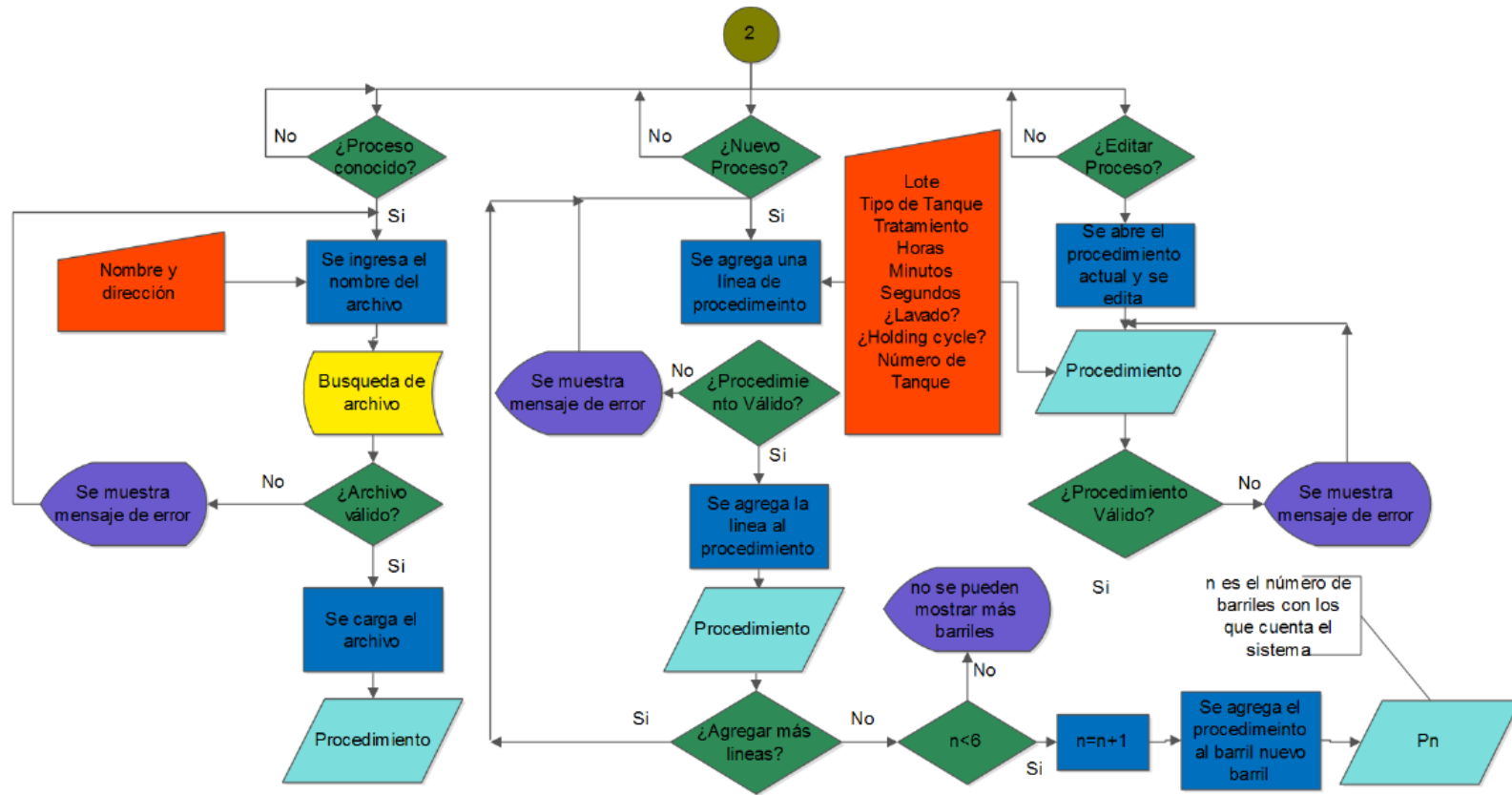


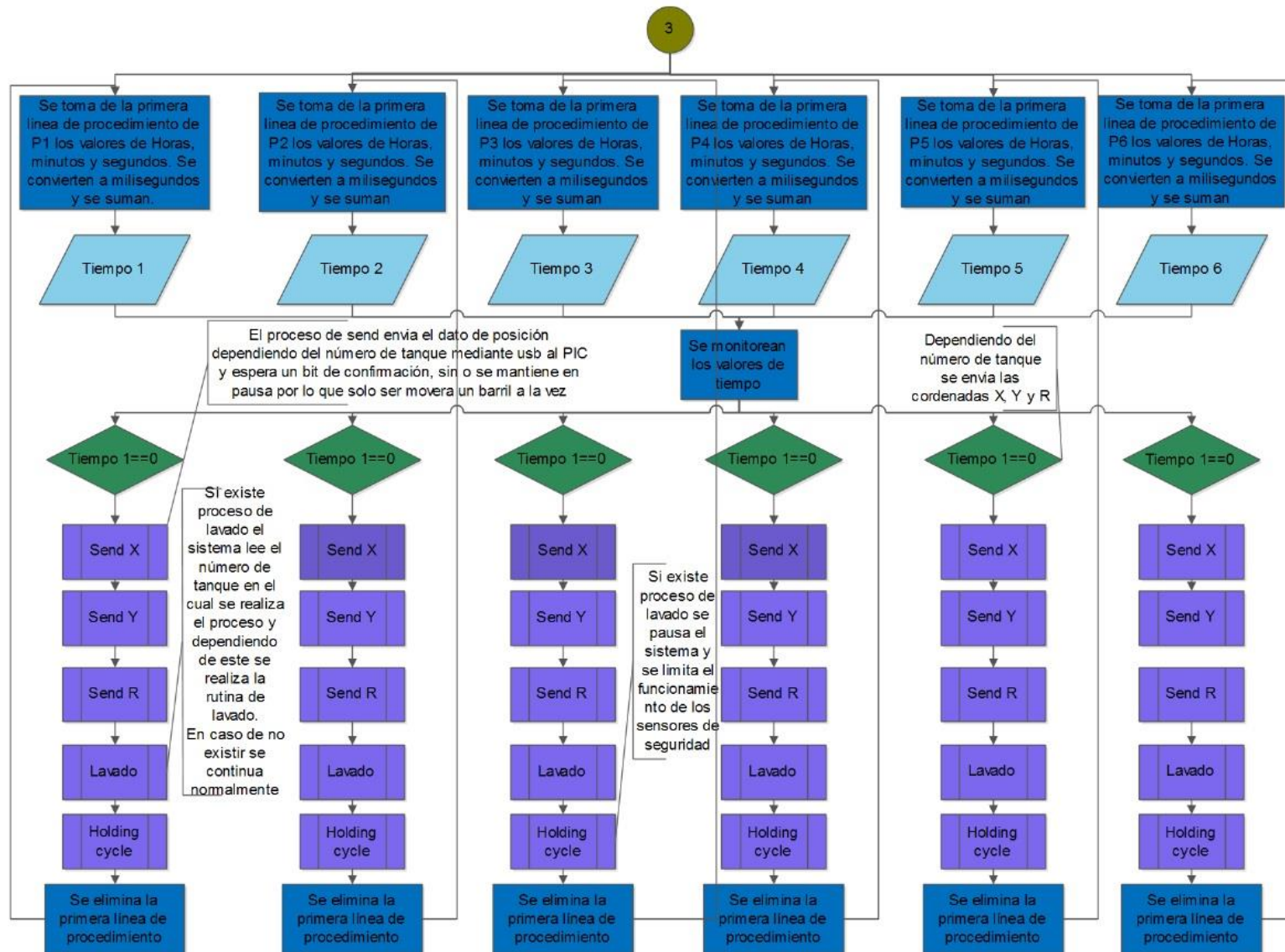


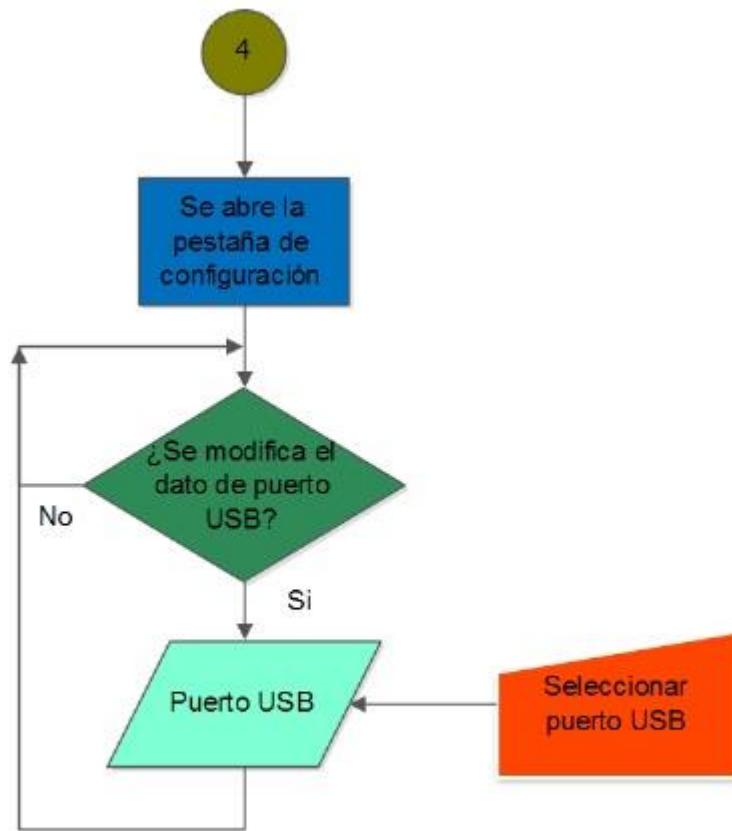
### 9.1.4 Apéndice A.4 Diagrama de flujo de la programación en LabView ®.



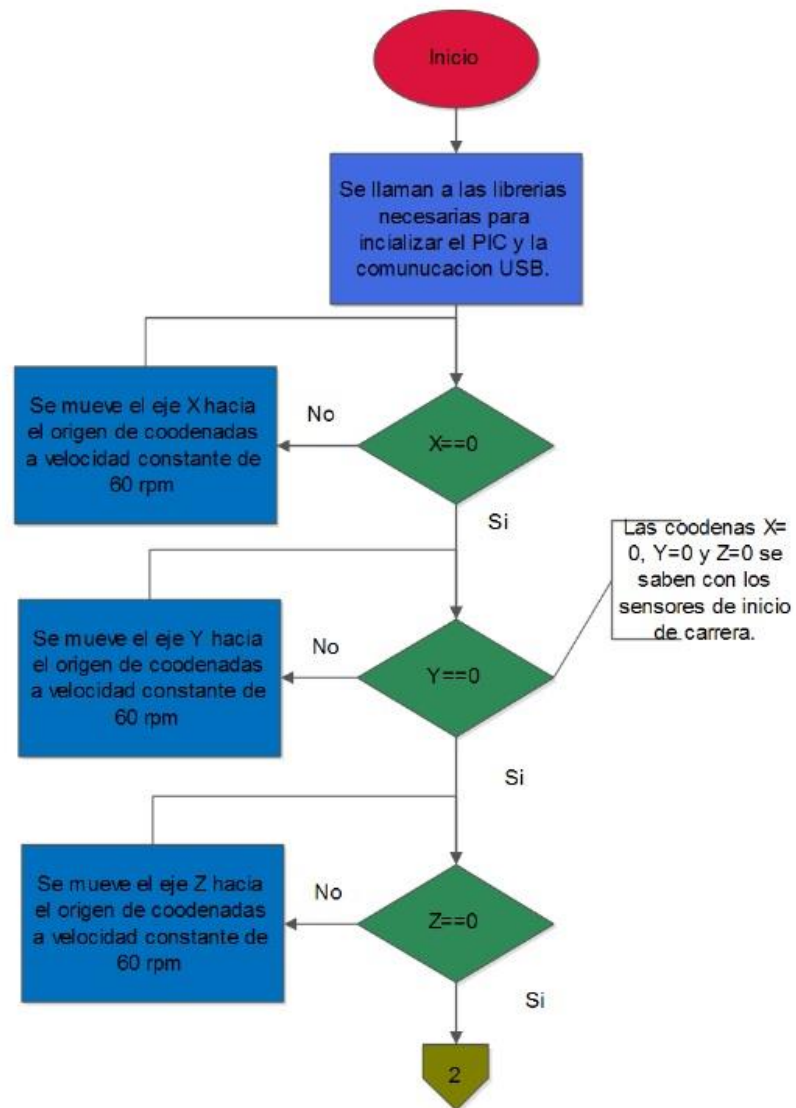


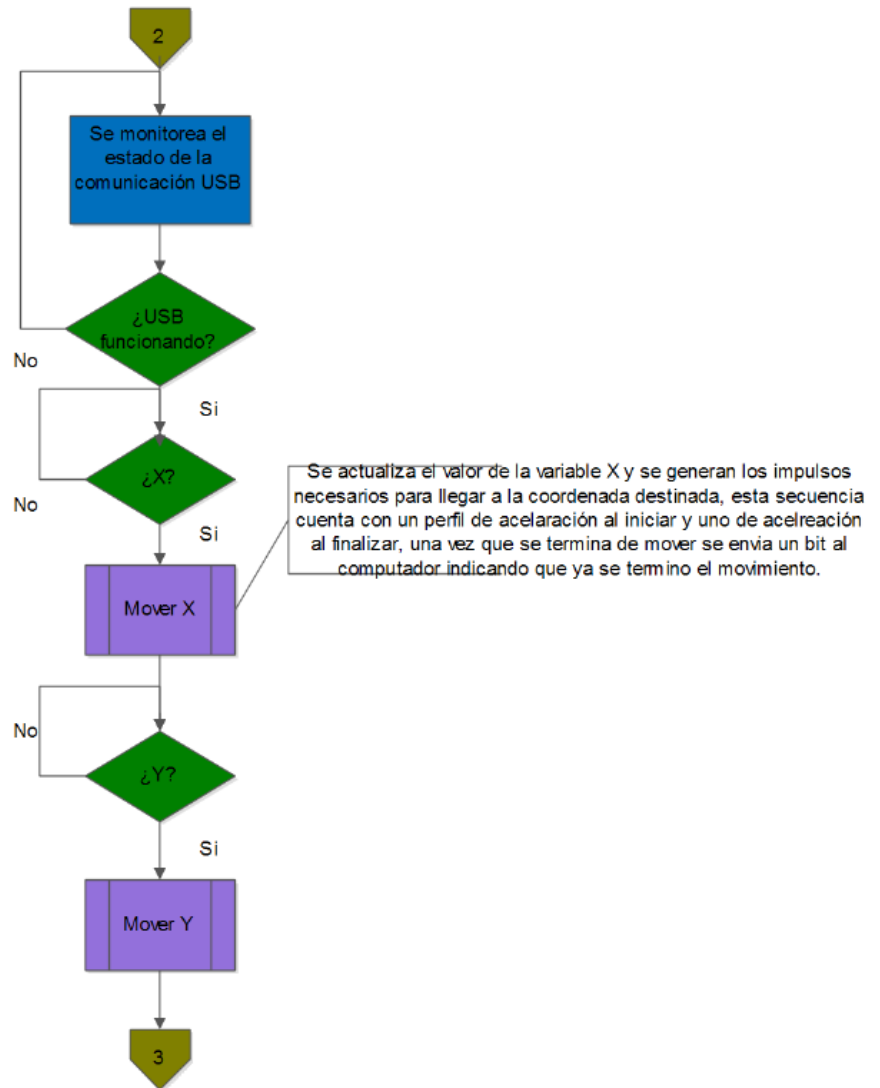


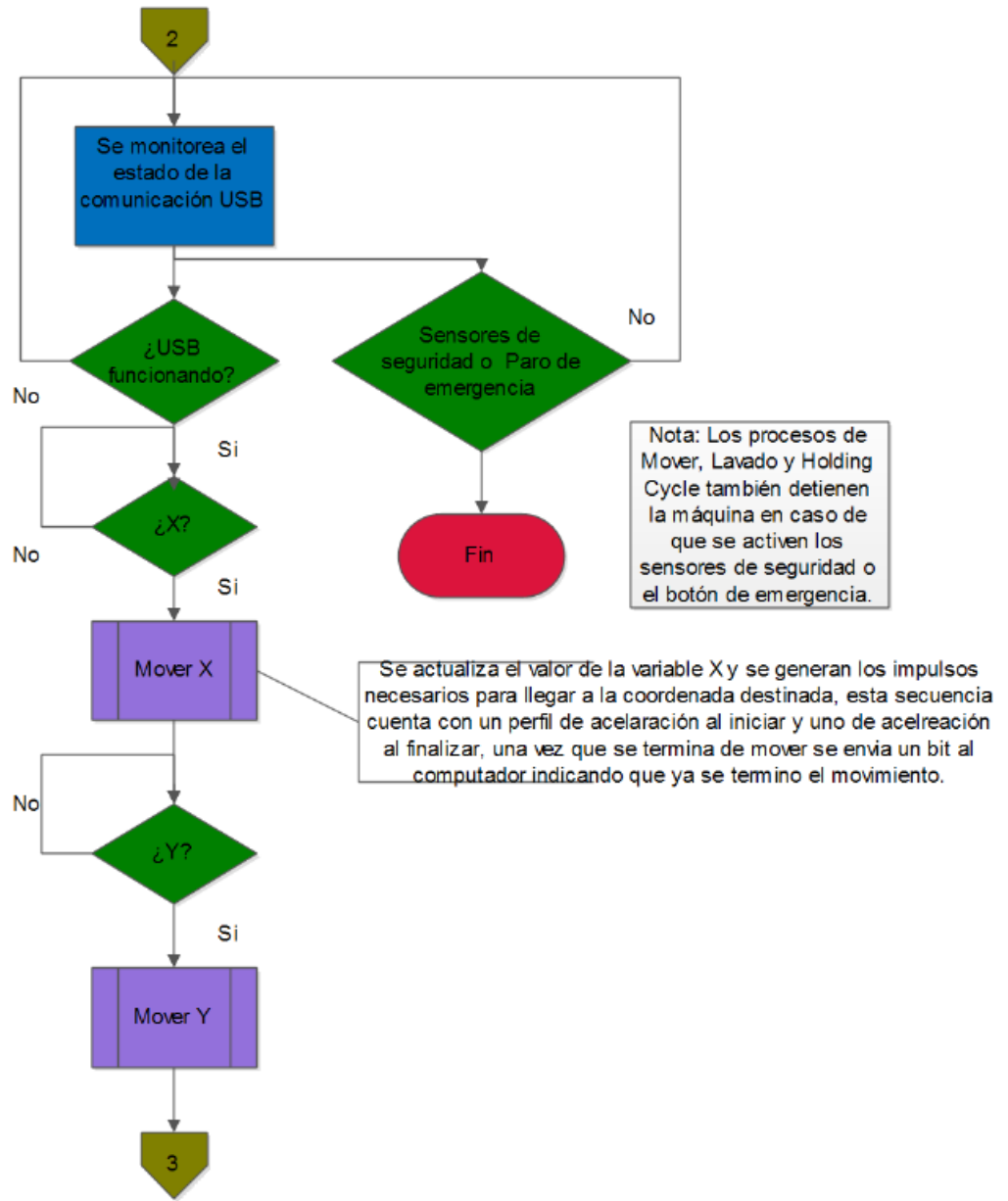


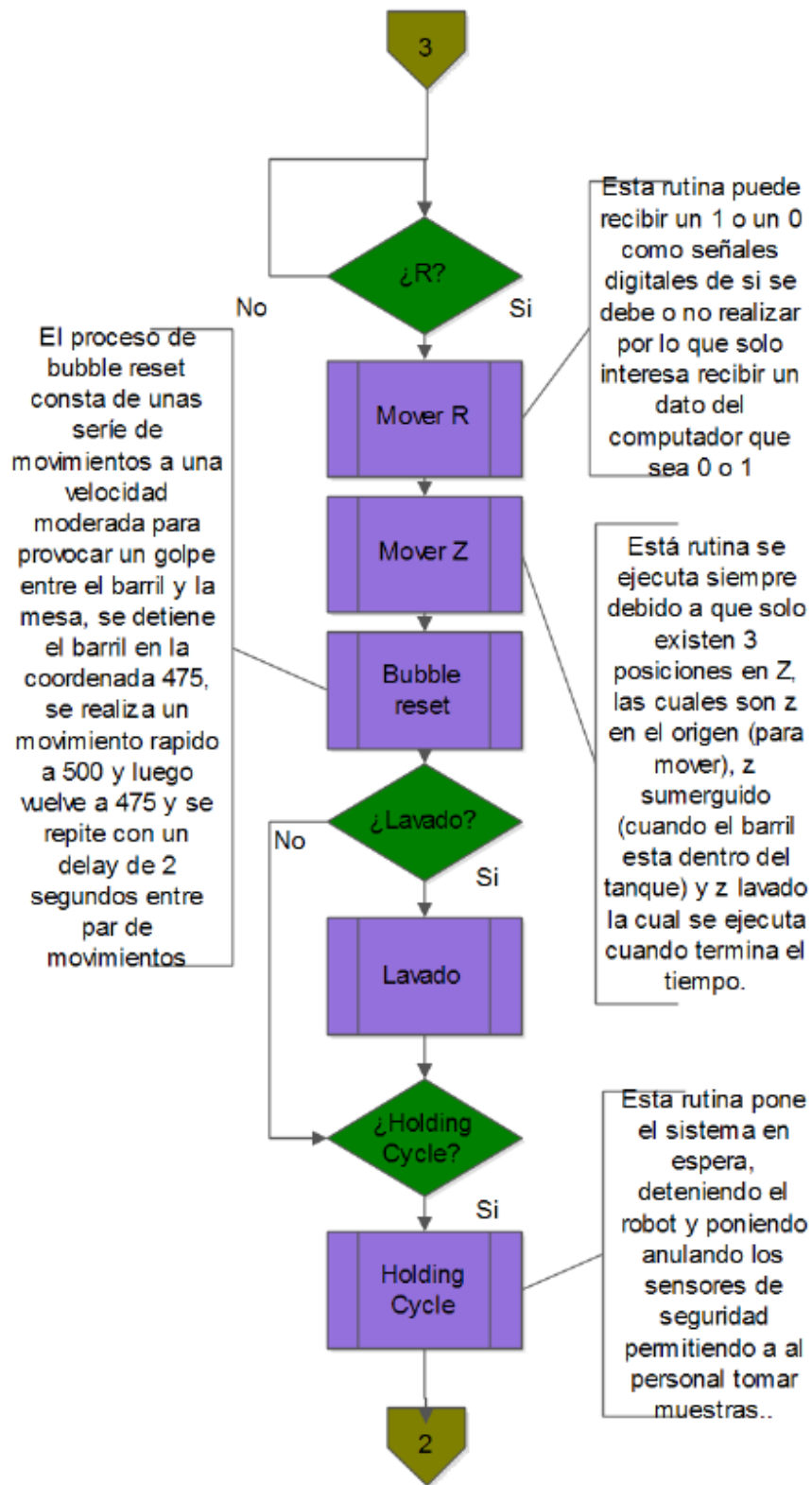


### 9.1.5 Apéndice A.5 Diagramas de flujo de la programación del PIC18F4550.









## 9.1.6 Apéndice A.6 Muestras de tiempo del proceso de electrodeposición en EMC Technology.

Datos suministrados por la Ing. Kattia Alvarado del departamento de electrodeposición.

En la figura 1, se muestran los datos de las órdenes finalizadas en el área de electrodeposición durante el segundo turno del día 15 de octubre de 2014.

ORDENES FINALIZADAS										
SHOP	NUMERO DE PARTE	CANTIDAD	# DE LOTES	OPERARIO	STATUS	ENTREGA	SCRAP	YIELD	H. INICIO	H. FINAL
593066	83A704630.00F	8019	2	1489	CLOSED	DCR	0.4	99.6	4:30PM	10:00PM
594150	TSO309W3S	27	1	1016	CLOSED	DCR	0	100	4:30PM	5:30PM
593295	SMT252503ALN2F	11713	3	1252	CLOSED	DCR	0.7	99.3	5:10 PM	11:30PM
593820	008-27-063/044	836	1	1016	CLOSED	DCR	3	97	6:00PM	10:00PM
593956	008-27-998/044	3183	1	1016	CLOSED	DCR	0.9	99.1	7:00PM	12:00AM

**Figura 1.** Ordenes finalizadas en el área de electrodeposición, II turno 15-10-2014. (Fuente: Departamento de electrodeposición EMC Technology)

En la Figura 2, se muestran las órdenes finalizadas en el área de electrodeposición, durante el primer turno del día 16 de octubre de 2014.

Shop	Numero de parte	Operario	Cantidad	# de lotes	Entregada en:	Status	Hora de inicio	Hora final	% de scrap	Yield
593296	SMT252503ALN2F	1600	11661	4	DCR	CLOSED	6:40 AM	10:00 AM	0.9	99.1
593297	SMT252503ALN2F	841	11627	4	DCR	CLOSED	6:00 AM	1:20 PM	0.9	99.1
594089	TS0503W3S	1600	58	1	DCR	CLOSED	12:00 PM	1:00PM	0.0	100.0
593593	TVA0300N07W3F	1600	583	1	DCR	CLOSED	6:40 AM	1:00PM	3.0	97.0
594072	TVA0200N07W3S	841	77	1	DCR	CLOSED	1:00 PM	1:30 PM	0.0	100.0
593727	TS0906SMTF	841	329	1	DCR	CLOSED	10:00 AM	2:30 PM	5.2	94.8
593064	83A704630.00F	1600	7763	1	DCR	CLOSED	7:50 AM	3:00PM	0.2	99.8

-Ordenes en proceso:

Shop	Numero de parte	Operario	Cantidad	Lotes	Queda en:	Shipping Date	Prioridad
592761	60230053N6	1600	20698	4	CU	14-Oct	
593940	6025375100-1	841	10457	3	CU	19-Oct	

**Figura 2.** Ordenes finalizadas por el área de electrodeposición, I turno 16-10-2014. (Fuente: Departamento de electrodeposición EMC Technology)

### 9.1.7 Apéndice A.7 Cálculos de productividad en EMC Technology.

En este apéndice, se exponen los cálculos realizados para determinar la situación actual de la productividad en el área de electrodeposición de EMC Technology.

**Tabla 1.** Tiempo del proceso de electrodeposición de los lotes tipo SMT252503ALN2F en EMC Technology.

Lote	Cantidad de Piezas	Duración real [h]	Duración teórica [h]
1	2915	3,20	3,20
2	2915	3,20	3,20
3	2915	3,20	3,20
4	2915	3,20	3,20
5	3905	6,20	3,92
6	3905	6,20	3,92
7	3905	6,20	3,92
8	2907	7,20	3,20
9	2907	7,20	3,20
10	2907	7,20	3,20
11	2907	7,20	3,20

EMC Technology [8].

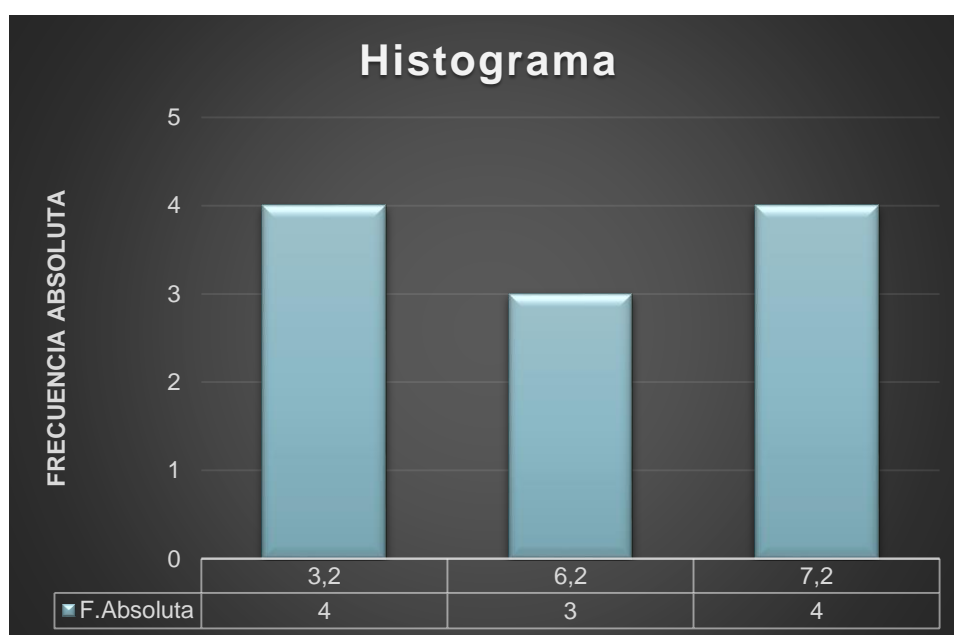
En la tabla 2, se muestra la distribución de frecuencias de los datos tomados.

**Tabla 2.** Distribución de frecuencias del tiempo de electrodeposición de lotes tipo SMT252503ALN2F en EMC Technology.

K	Clase	F.Absoluta	F.Relativa	F.Porcentual
1	3,2	4	0,36	36
2	6,2	3	0,28	28
3	7,2	4	0,36	36
<b>Total</b>		11	1	100

EMC Technology [8].

En la figura 1, se muestra el histograma de los datos expuestos en la tabla 2.



**Figura 1.** Histograma de distribución de frecuencias del tiempo de electrodeposición de lotes tipo SMT252503ALN2F en EMC Technology. Fuente: Tabla 2.

Con base en los datos de tiempo, se realiza el cálculo de medidas de tendencia central utilizando datos no agrupados como se muestra a continuación.

**Media:**

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{4x(3,2) + 4x(7,2) + 3x(6,2)}{11} \quad (1)$$

Con  $n=11$ ,

$$\bar{X} = 5,473$$

**Mediana:** Debido a que  $n$  es impar, se utiliza la ecuación 2.

$$m_e = \frac{n + 1}{2} = \frac{11 + 1}{2} = 6 \quad (2)$$

Por lo tanto, la mediana toma el valor de 6,2.

**Moda:** En este caso la muestra es bimodal, por lo tanto:

$$Moda_1 = 3,2$$

$$Moda_2 = 7,2$$

**Varianza:**

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{4x(3,2 - 5,473)^2 + 3x(6,2 - 5,473)^2 + 4x(7,2 - 5,473)^2}{11 - 1} \quad (3)$$

$$s^2 = 3,42$$

**Desviación Estándar:**

$$\sqrt{s^2} = s = 1,85 \quad (4)$$

**Coficiente de Variación:**

$$C.V. = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{1,85}{5,473} = 0,338 \quad (5)$$

**Error estándar de la media:**

$$EE(\bar{X}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{1,85}{\sqrt{11}} = 0,558 \quad (6)$$

**Sesgo:**

$$sesgo = \frac{3x(\bar{X} - m_e)}{s} = \frac{3x(5,473 - 6,2)}{1,85} = -1,18 \quad (7)$$

**Tabla 3.** Resultado de análisis estadístico de la muestra de duraciones en el área de electrodeposición de EMC Technology.

Dato	Resultado
Media	5,473
Mediana	6,2
Moda(s)	3,2      7,2
Varianza	3,42
Desviación estándar	1,85
Coefficiente de variación	0,338
Error estándar de la media	0,558
Sesgo	-1,18

9.1.8 Apéndice A.8 Manual de usuario del software de control en LabView ®.



# Manual de Usuario: Módulo 3 Electroplating EMC Technology



Randy Steven Céspedes Dleiyore  
Franklín Andrés Chavez Zuñiga

## DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

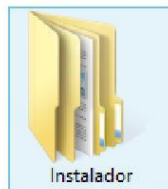
Este programa se utiliza para controlar el módulo de Electroplating de la empresa EMC Technology, indica la forma correcta de usar el programa y los cuidados que se deben de tener al usarlo. El programa solo debe de ser usado después de realizar la lectura de este manual y solamente debe operarlo personal autorizado.

## INSTALACIÓN

- Lo primero que se debe de hacer es realizar la instalación del programa siguiendo los siguientes pasos:

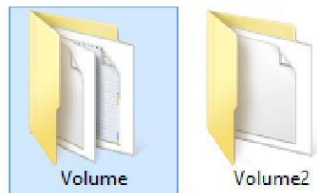
## ABRIR CONTENIDO

- ✚ Se debe de abrir la carpeta con el nombre instalador como se observa en la figura 1.



**Figura 1.** Carpeta con contenido de instalación.

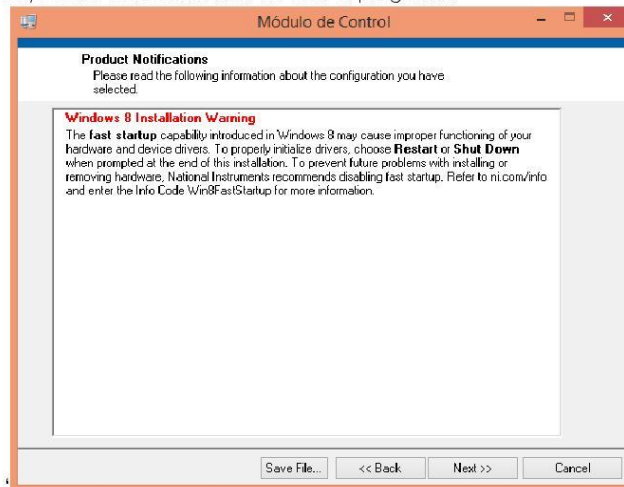
- ✚ Una vez abierta se encontraran dos carpetas con los nombres de: Volume y Volumen 2. Se debe de abrir la primera carpeta, como se aprecia en la figura 2.



**Figura 2.** Carpetas con archivos de instalación.

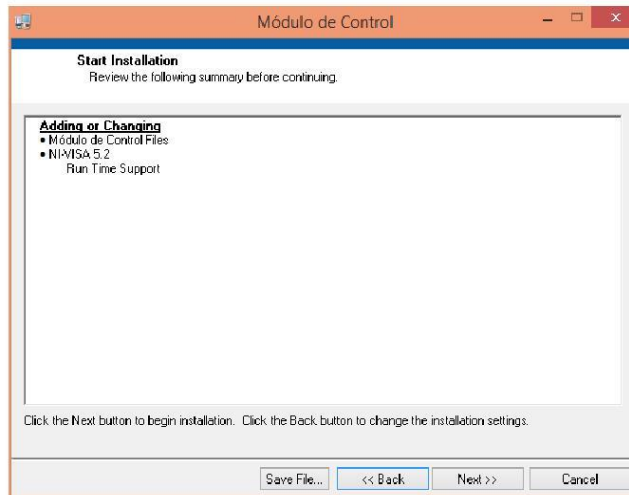
- ✚ En la carpeta Volume se encuentra el archivo "setup.exe", a este se le debe dar con el click derecho y seleccionar ejecutar como administrador. Ver figura 3.

- En caso de tener windows 8 o superior se mostrará la notificación, cuyo caso se recomienda no usar el programa.



**Figura 5.** Notificación de problemas de compatibilidad de windows 8 con drivers.

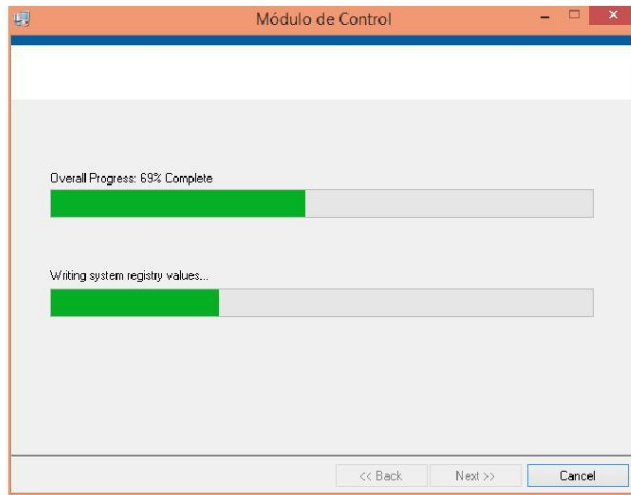
- Se debe de seleccionar Next.



**Figura 6.** Resumen de instalación

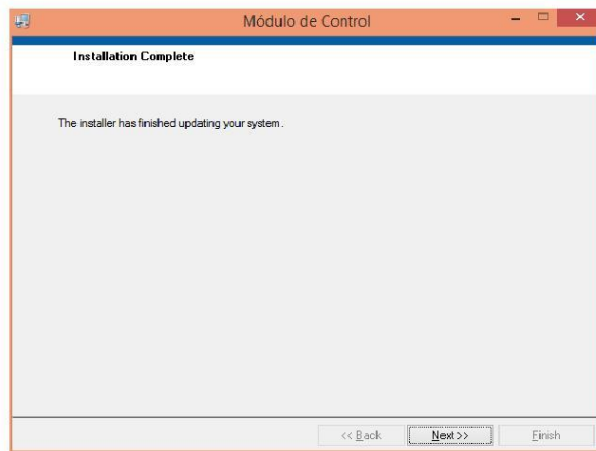
- En caso de estar bien la instalación se debe de dar Next.

✚ Se deberá esperar a que se termine el proceso de instalación



**Figura 7.** Proceso de Instalación

✚ Una vez finalizada la instalación se deberá dar Next



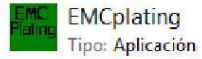
**Figura 8.** Proceso de Instalación completado

✚ Una vez finalida la instalación se ejecutara el programa.

## USO DEL PROGRAMA

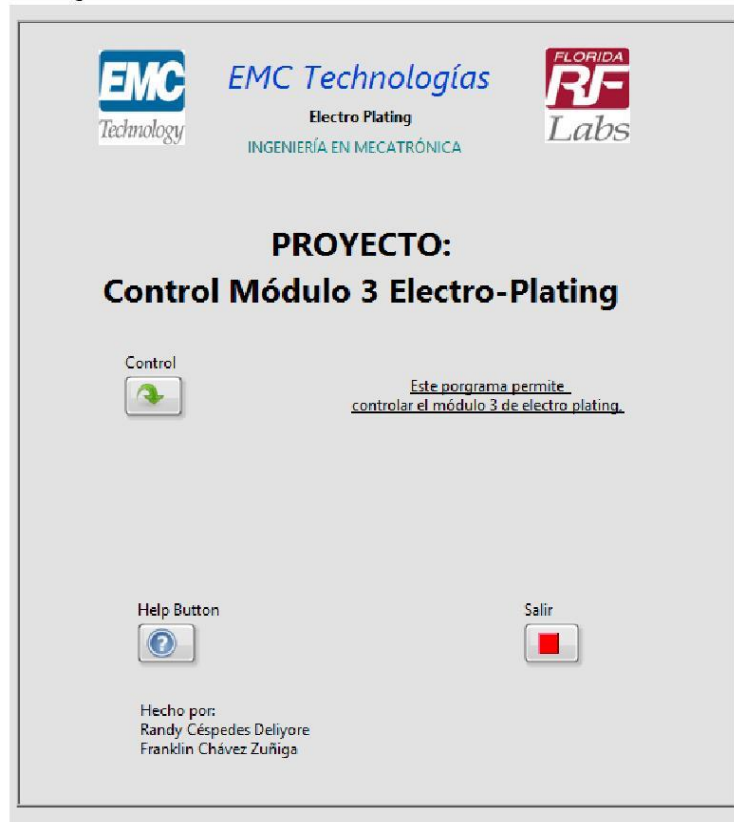
En esta sección se indicara la forma correcta de como usr el programa

- ✚ El programa se debe de abrir utilizando el ejecutable presente en la figura 9.



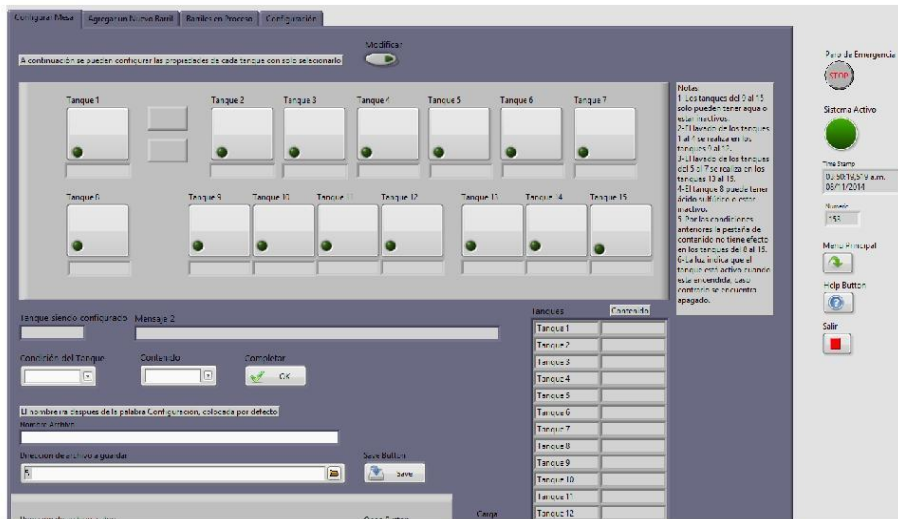
**Figura 9.** Ícono de Aplicación

- ✚ Una vez abierto se ingresara al menú principal el cual se observa en la figura 10...



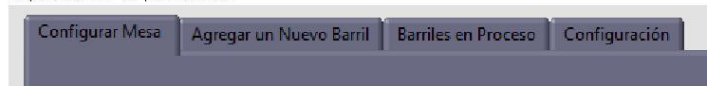
**Figura 10.** Menú principa del programa.

- ✚ En el menú principal se cuenta con 3 posibilidades:
  - ❖ Cerrar el programa con el botón salir.
  - ❖ Abrir este archivo como guía del programa con el botón de ayuda.
  - ❖ Abrir el programa de control por medio del botón de control.
- ✚ Una vez que se abre el programa de control se observara la siguiente interfaz.



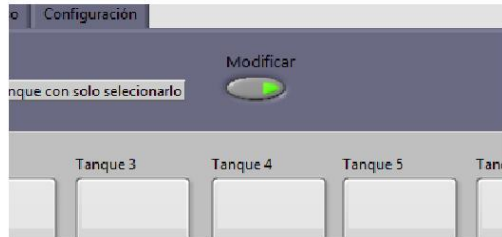
**Figura 11.** Interfaz sistema de control.

- ✚ -Se cuenta con cuatro menús principales presentes en la parte superior de la pantalla.



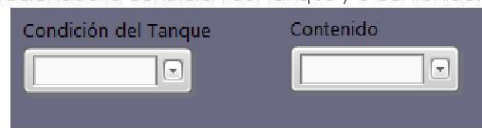
**Figura 12.** Menús principales

- ✚ En la parte de configuración mesa se puede configurar la mesa de 2 formas.
  - ❖ Manualmente: En el caso de que se desee realizar configuración de forma manual se deberá ativar el boton de modificar.



**Figura 13.** Botón modificar.

La forma de configurar los tanques se realiza solamente seleccionando la condición del tanque y el contenido.

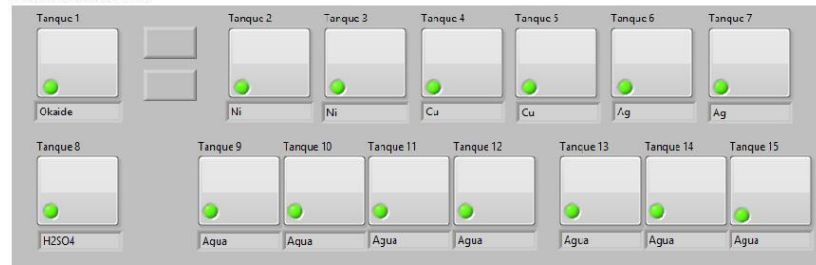


**Figura 14.** Pestañas de contenido y condición del tanque para su configuración.

Una vez que se ha seleccionado la condición del tanque (Activo o Inactivo), se deberán de tocar los tanques que se desee que contengan esta configuración.

Los tanques del 8 al 15 cuentan con restricciones de contenido las cuales se explican en la interfaz de usuario.

El tanque 8 solo puede contener H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o estar inactivo y los tanques del 9-15 solo pueden tener agua o estar inactivos.



**Figura 15.** Configuración de tanques

Una vez que se seleccionan los tanques, se activará un led y habrá un indicador debajo de cada uno indicando su contenido.

En caso de que exista un tanque inactivo se mostrará como se observa en la figura 16.



**Figura 16.** Tanques inactivos.

Una vez terminada la configuración se deberá usar el botón completar el cual inicializara la configuración.

Tanques	Contenido
Tanque 1	Okaide
Tanque 2	Ni
Tanque 3	Ni
Tanque 4	Cu
Tanque 5	Cu
Tanque 6	Ag
Tanque 7	Ag
Tanque 8	Inactivo
Tanque 9	Inactivo
Tanque 10	Inactivo
Tanque 11	Agua
Tanque 12	Agua
Tanque 13	Agua
Tanque 14	Agua
Tanque 15	Agua

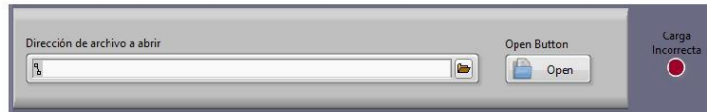
**Figura 17.** Estado de tanques configurados.

En caso de querer guardar el archivo solo se deberá incluir el nombre deseado para el mismo y apretar el botón de guardar.



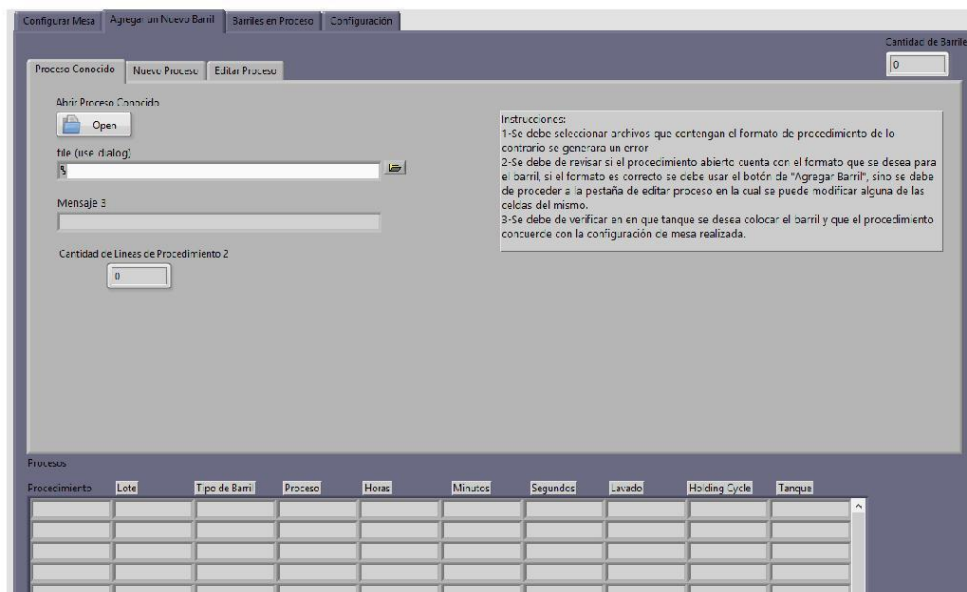
**Figura 18.** Guardar archivos de configuración.

- ❖ Abrir un archivo: En caso de querer abrir un archivo solamente se debe de seleccionar un archivo por medio de la opción de carga. Una vez que se tenga el nombre del archivo se deberá usar el botón de cargar. En caso de que el archivo no corresponda a un archivo de configuración se mostrará una señal de error y un mensaje.



**Figura 18.** Cargar archivos de configuración.

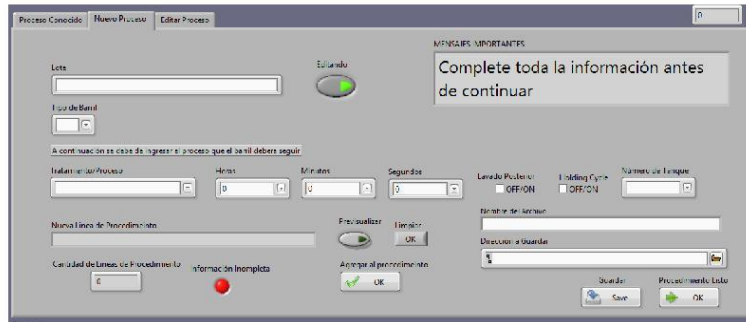
- ✚ La segunda pestaña es la de configuración de barriles y procedimientos.



**Figura 19.** Pestaña de agregar un nuevo barril.

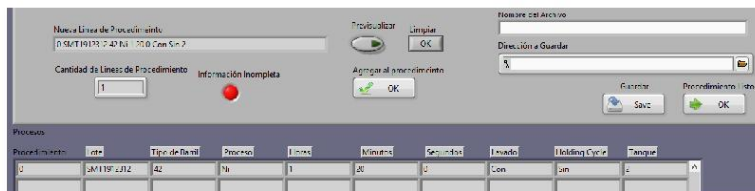
- ✚ En esta pestaña es posible agregar un procedimiento para un barril en cuyo caso existen 2 opciones:
  - ❖ Cargar un archivo: Para esto solo se debe de seleccionar un archivo con la casilla de diálogo apretar el botón de open.

- ❖ En caso de querer agregar un nuevo proceso se debeá realizar de la siguiente manera.



**Figura 20.** Agregar un nuevo procedimiento

- ❖ Se debe indicar los datos importantes como el número de lote, el tiempo de barril, el tratamiento, su duración en horas minutos y segundos, si existe un lavado posterior o un holding cycle y el número de tanque en el que se desea realizar el procedimiento.
- ❖ Una vez que se tiene lista la línea de procedimiento se debe previsualizar con el boton de previsualizado. En caso de no estar completa se mostara el mensaje que indica que hace falta completar información.
- ❖ Cuando la línea esta lista se debe precionar agregar al procedimiento



**Figura 21.** Línea de procedimiento agregada.

- ❖ Una vez que el procedimiento que sea agregado manualmente o se haya cargado de un archivo se previsualizara en la parte inferior de la pestaña.
- ❖ Es posible guardar el archivo si se selecciona guardar y se indica que el procedimiento esta listo.
- ❖ Se puede modificar las líneas de procedimiento ya sea un cargado o agregado manualmente.

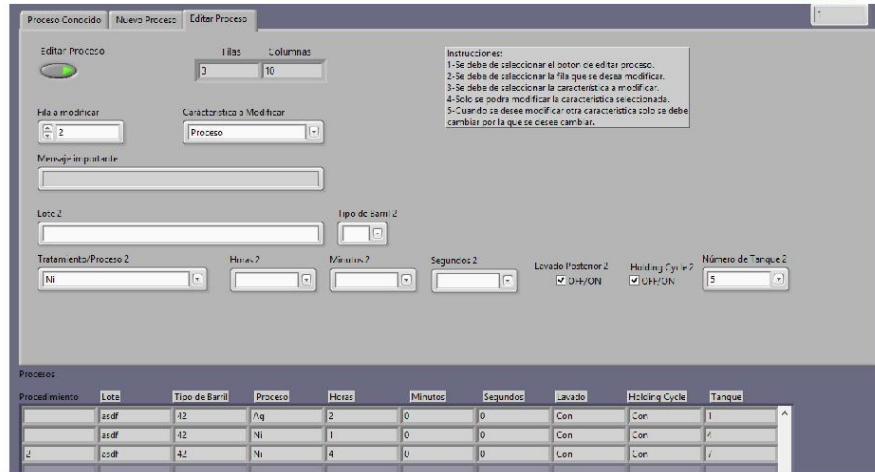


Figura 5.22. Editar un proceso

- ❖ La modificación se hace de forma sencilla seleccionando la fila que se desea modificar y usando la casilla dependiendo del procedimiento.
- ❖ Cuando el procedimiento del barril este listo este se puede agregar con el boton de la figura 23.

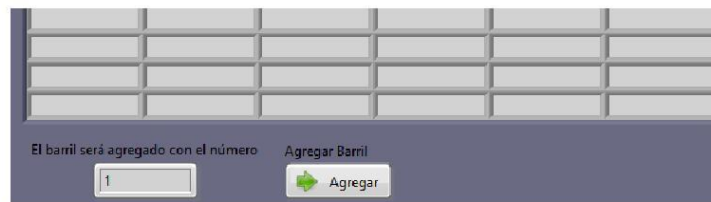
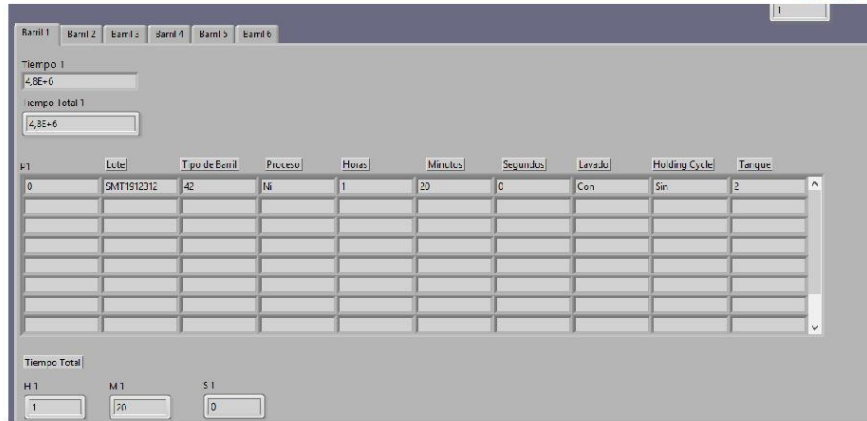


Figura 23. Botón de agregar barril

- ❖ Una vez que se agregan barriles se puede ingresar a la pestaña de barriles en proceso para ver el estado de los mismos.
- ❖ En la pestaña de barriles en proceso se utiliza para ver datos importantes como tiempos y variables que utiliza el programa .



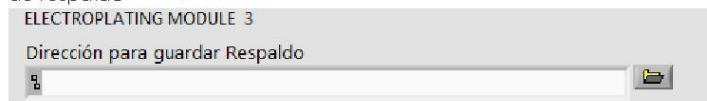
**Figura 24.** Estado de barriles en proceso.

- ✚ Por último en la pestaña de configuración se puede modificar el puerto que se este usando para la comunicación con el circuito de control y también es posible seleccionar donde se guardaría los datos de respaldo en caso de un cierre inesperado.



**Figura 25.** Pestaña de configuración

- ✚ Se puede también observar los datos que están siendo transmitidos.
- ✚ En la figura 5.26 se indica donde se debe de guardar los archivos de respaldo



**Figura 26.** Dirección para guardar respaldo

- ✚ El sistema también cuenta con un paro de emergencia y controles básicos como salir, ayuda y volver al menu principal.

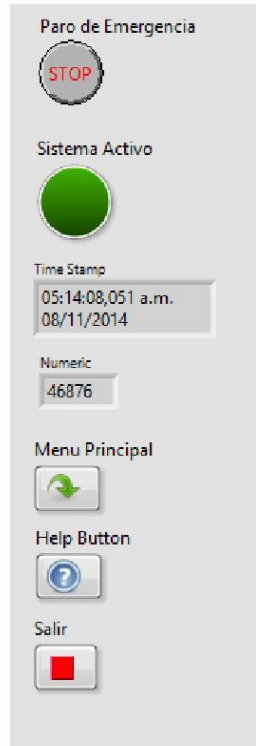


Figura 27. Controles y estado del programa de control.

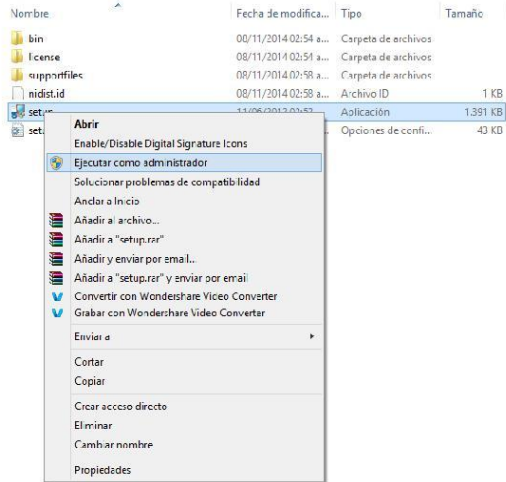


Figura 3. Ejecutar como administrador.

- ✚ En caso de mostrarse una notificación deberá seleccionar la opción de sí ejecutar.
- ✚ Se mostrará la ventana de la figura 4 en la cual se deberán seleccionar los directorios en los cuales se quiere guardar los archivos.

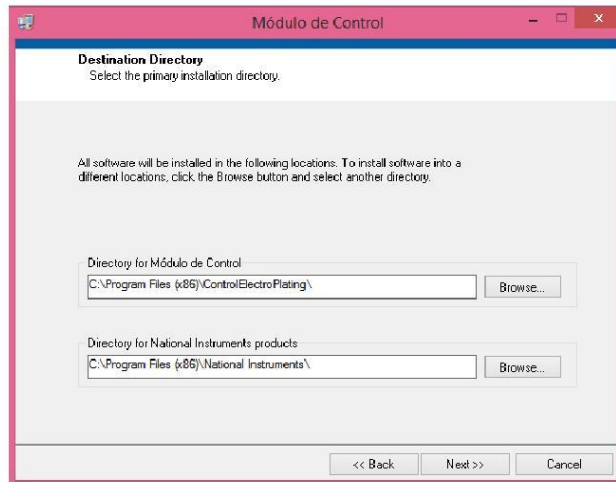


Figura 4. Selección de destino de instalación

## 9.2 Anexos

### 9.2.1 Anexo B.1 Módulo lineal MLR 10-80 de Bosch Rexroth [3].

92 Bosch Rexroth Corporation

Linear Modules | R310A 2402 (2011.11)

Linear Modules MLR

## Product Description

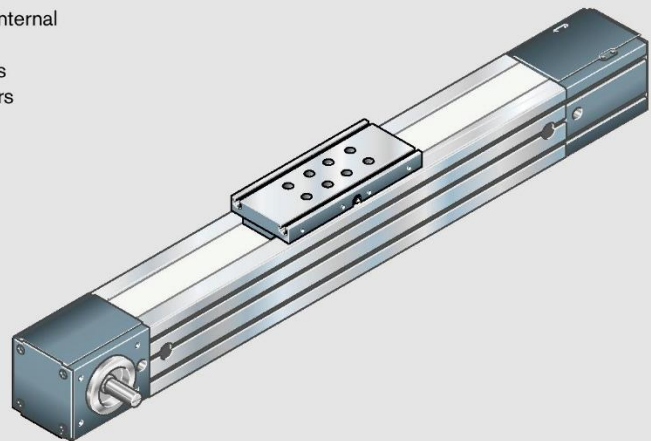
### Characteristic features

MLR...: Linear Modules with Cam Roller Guide and Toothed Belt Drive for high-speed applications (up to 10 m/s)

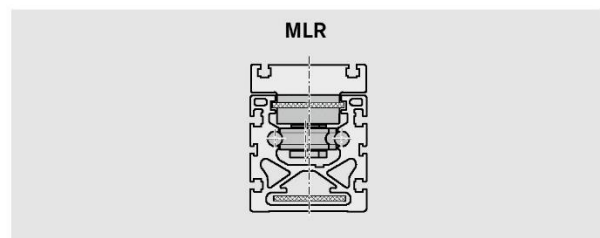
 **Linear Modules with Cam Roller Guide to be lubricated with oil only!**

The MLR... Linear Modules comprise:

- a compact, anodized aluminum profile frame
- the integrated Rexroth Cam Roller Guide system with internal cam rollers
- cam rollers, clearance-free adjusted via eccentric shafts
- a carriage with one-point oil lubrication for all cam rollers
- the pre-tensioned toothed belt
- mountable switches
- an AC servo motor with control units
- gear unit
- a cover provided by the toothed belt



For mounting and maintenance, see the relevant Instructions.



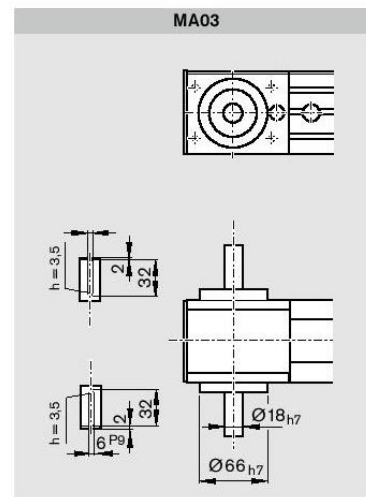
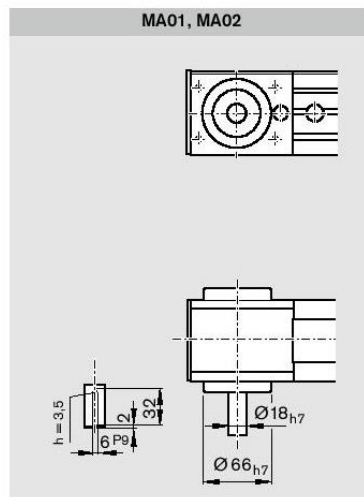
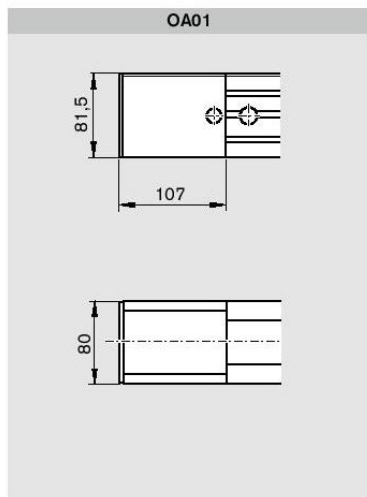
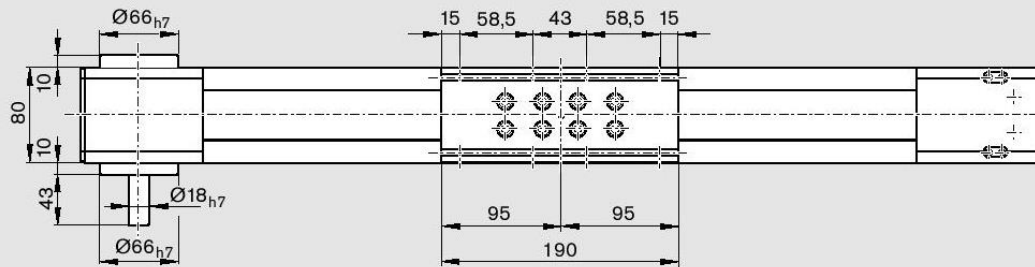
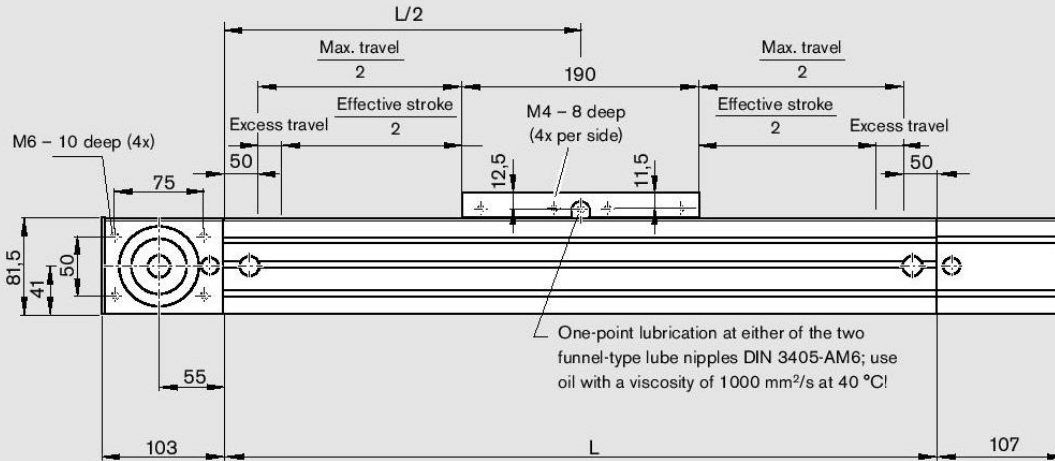
**Linear Module with Cam Roller Guide and Toothed Belt Drive**  
The special design of the integrated zero-clearance Rexroth Cam Roller Guide makes it ideal for very high speeds (up to 10 m/s).

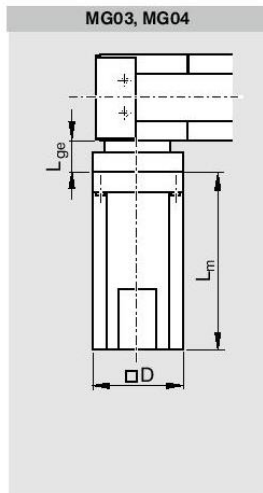
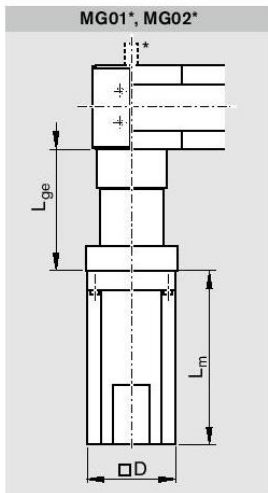
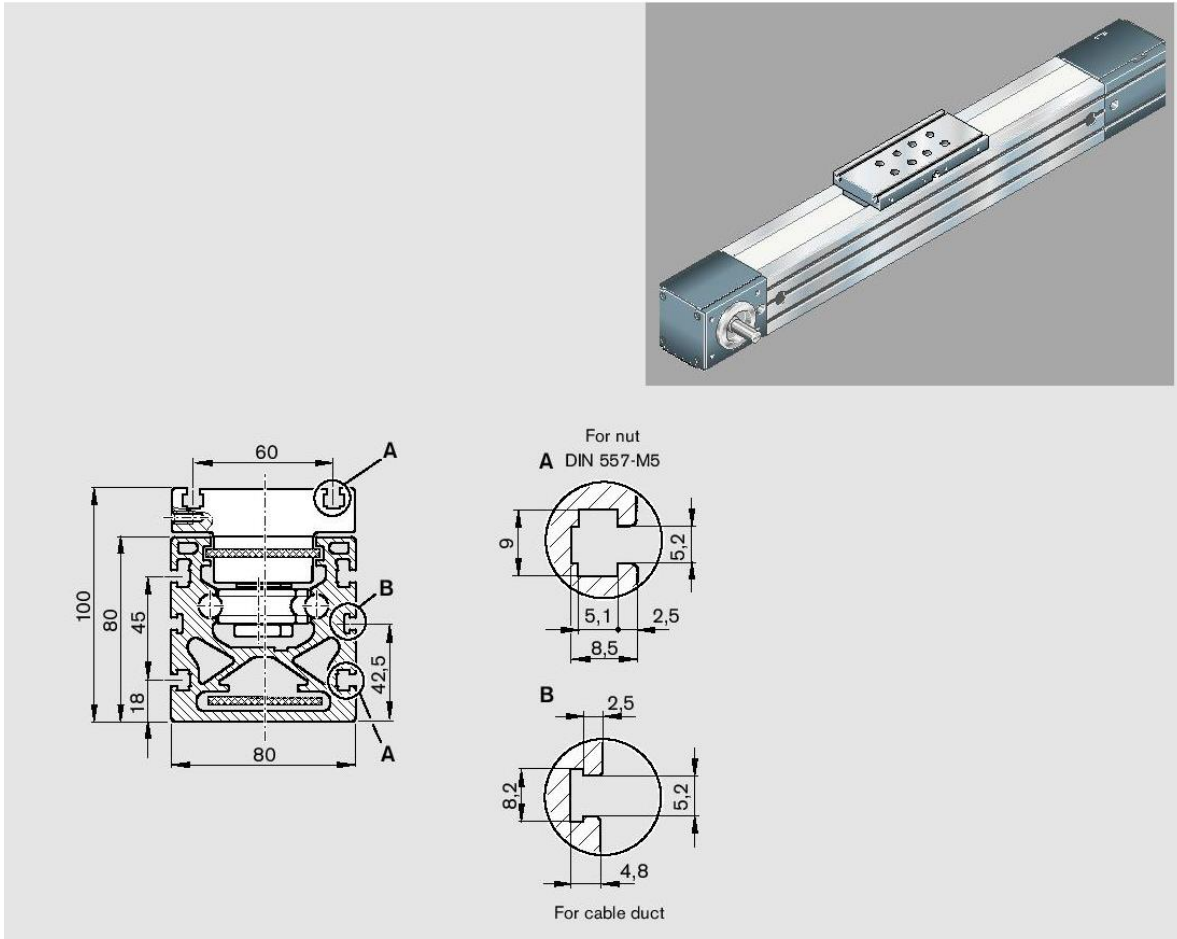
Linear Modules MLR

Linear Modules MLR 10-80

Dimensions

All dimensions in mm  
Drawings not to scale





Motor	Dimensions (mm)		Motor		
	Gear unit		D	without brake	L <sub>m</sub> with brake
	MG01	MG03			
	MG02	MG04			
MSK 040C	135	41	82	185.5	215.5
MSK 050C	145	51	98	203.0	233.0
MSM 041B	140	46	80	112.0	149.0

\* For drive unit Option 11: second journal Ø18 x 43

CAD configurator available on the Internet at [www.boschrexroth.com/dcl](http://www.boschrexroth.com/dcl)

## 9.2.2 Anexo B.2 Módulo lineal OBB 55 de Bosch Rexroth [3].

6 Bosch Rexroth AG

Omega Modules OBB | R310EN 2407 (2011-09)

EasyHandling Basic

### Product Description

Omega Modules (OBB) with ball rail systems and toothed belt drive for travel speeds up to 5.0 m/s. Omega Modules are ready-to-install linear axes for any desired mounting orientation in freely configurable lengths up to 5500 mm.

Because of their low travelling system mass, Omega Modules are ideally suited for operation as vertical axes, as the drive can be mounted as a stationary unit while the module frame executes the vertical motion.

#### Omega Modules consist of:

- A compact, anodized aluminum profile frame
- The integrated zero-clearance Rexroth Profiled Rail System. With its high load capacities and high rigidity this enables optimal travel performance when moving large loads at high speed.
- A carriage with one-point lubrication
- Easy-2-Combine interface in the carriage and on the end plates
- The pre-tensioned toothed belt
- Mountable switches
- Available complete with motor, controller and control unit
- Straight or angled gear reducer for attachment of motor
- Pneumatic clamping units (optional)
- Extensive range of accessories available

#### Sectors:

- Handling and assembly
- Electronics and semiconductor industry
- Automotive suppliers and OEMs
- Robotics and automation
- Special-purpose machines
- Packaging technology
- Building services
- Plastics processing
- Textile industry

#### Application areas:

- Pick and place
- Handling systems
- Component assembly systems, palletizers
- Feed units for machine tools
- Testing and analysis systems
- Feed units in transfer lines
- Load shifters

For mounting, maintenance and start-up, see the Instructions.

### Attachment examples



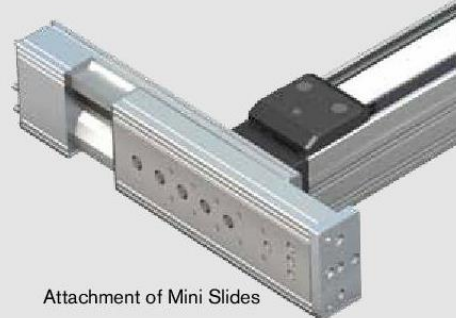
Versatile attachment mounting options are provided by the threads and locating holes on the two end plates of the frame.



Precise fastening thanks to locating holes on the carriage



Attachment of Grippers or Rotary Compact Modules

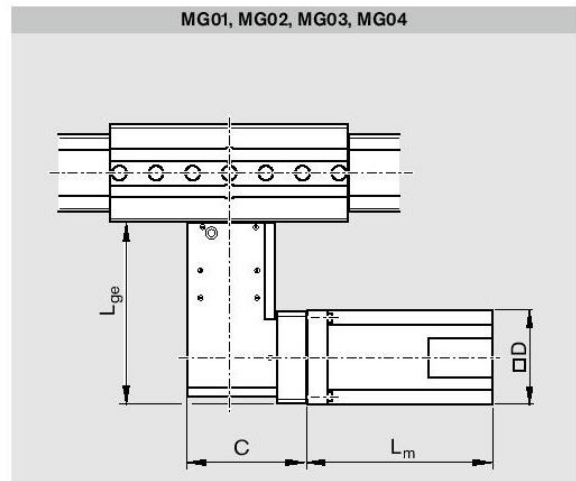
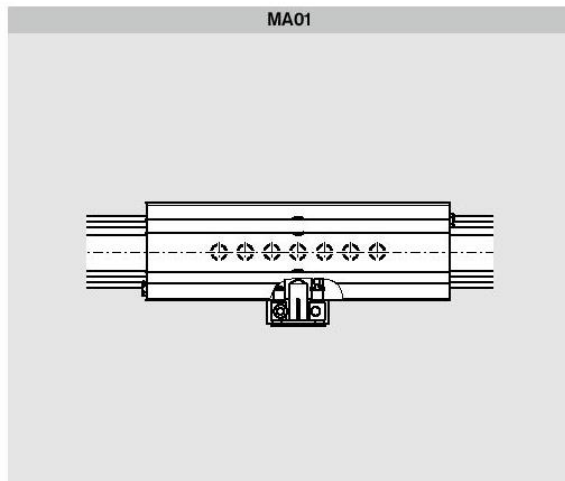
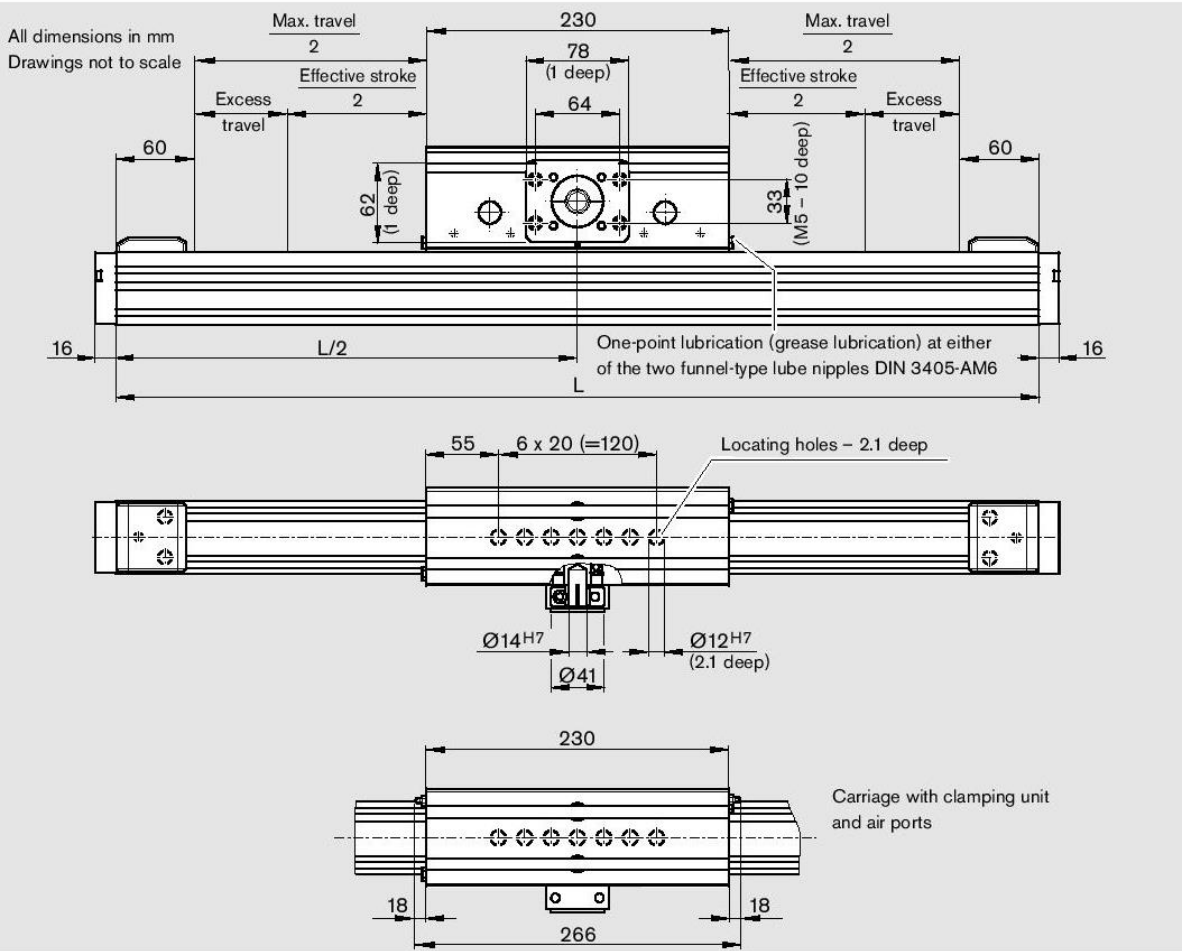


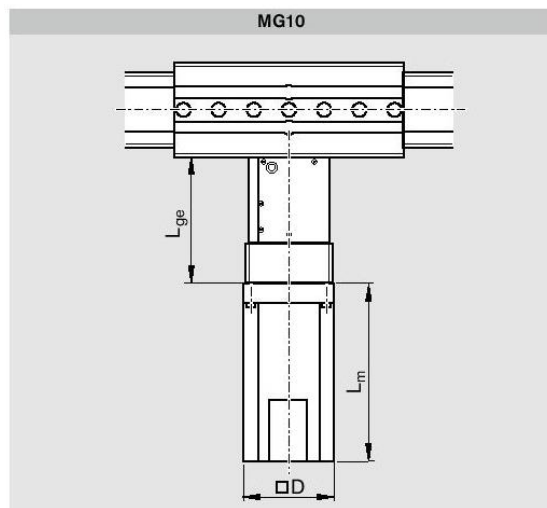
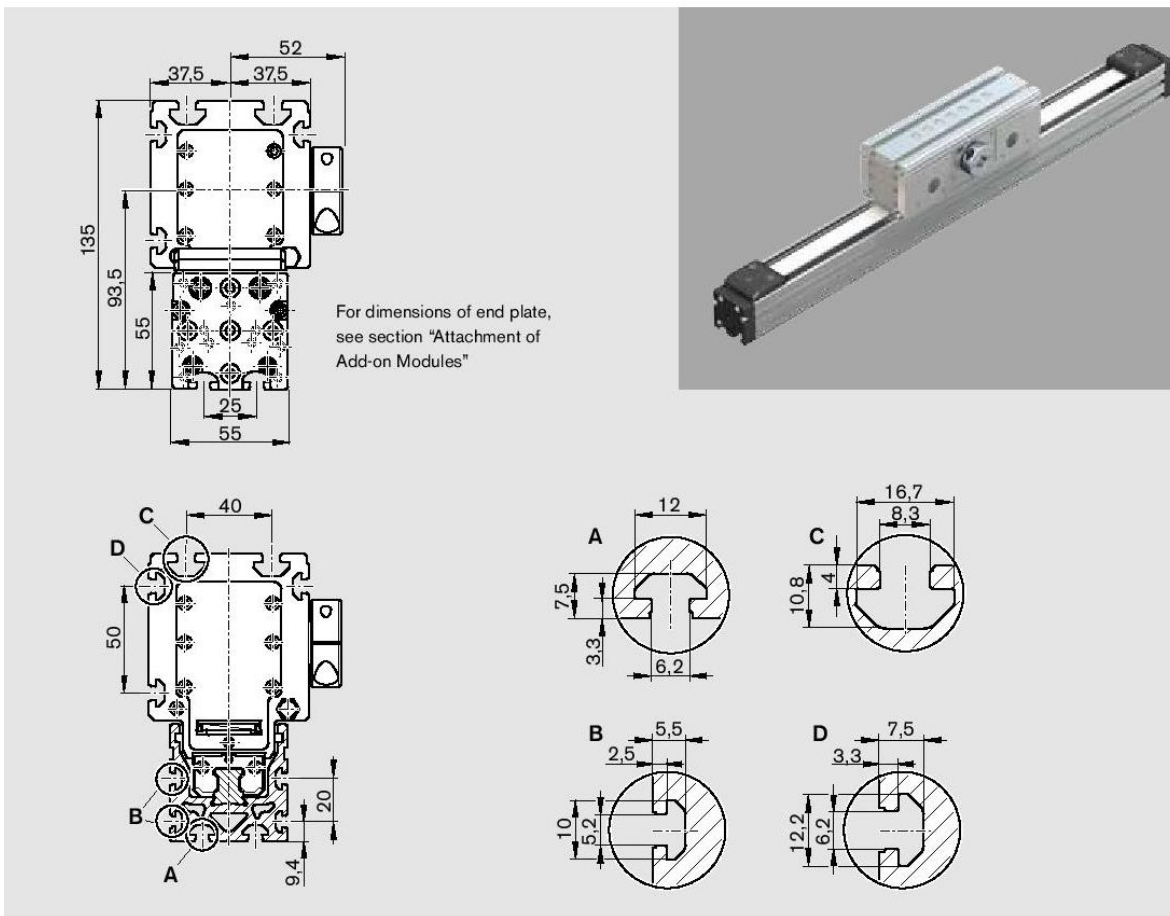
Attachment of Mini Slides

EasyHandling Basic

# OBB 55

# Dimensions





Motor	Dimensions (mm)					
	Gear unit			Motor		
	L <sub>ge</sub>	C	L <sub>ge</sub>	D	without brake	L <sub>m</sub> with brake
MSK 040C	150.5	97.5	111.5	82	185.5	215.5
MSM 031C	135.5	97.5	111.5	60	98.5	135

## 9.2.3 Anexo B.3 Pinza paralela MPLM de Gimatic [4].

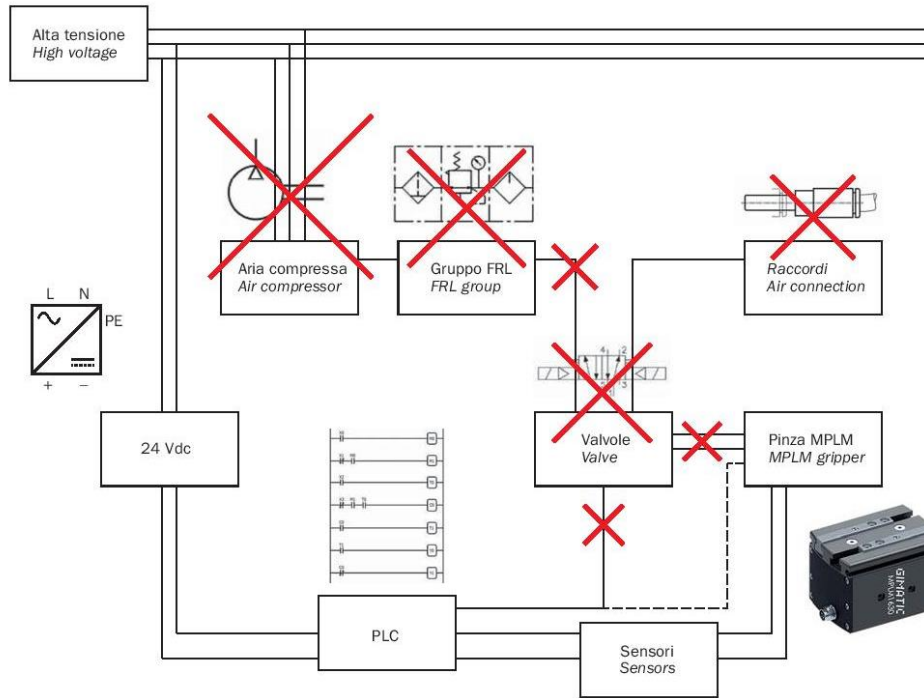
### MPLM

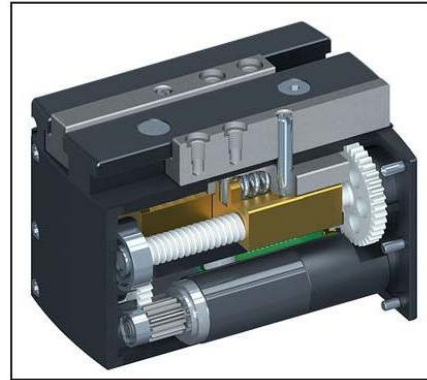
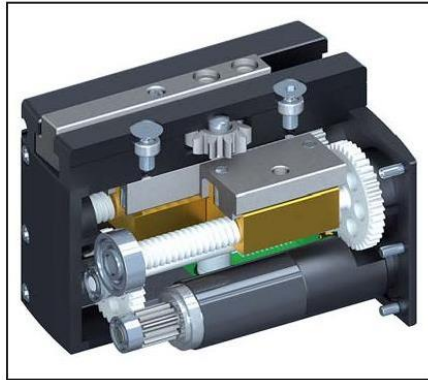
#### Pinza elettrica parallela corsa lunga 2 griffe autocentrante

- Semplice azionamento Plug&Play.
- Nessun consumo elettrico quando la pinza è in presa.
- Nessuna programmazione richiesta.
- Tenuta pezzo garantita in caso di interruzione d'energia.
- Si adatta ad ogni dimensione di pezzo entro griffe.
- Motore senza spazzole a lunga vita elettrica (Brushless DC).
- Azionamento motore integrato nella pinza.
- Alimentazione in bassa tensione 24 Vdc.
- Connessione M8x1, 3 poli standard.
- Controllabile con segnale PLC come una Valvola Pneumatica.
- Meccanismo di autocentraggio esclusivo.
- Sistema di riduzione in fibra di carbonio.
- Esente da manutenzione per 10 milioni di cicli.
- Griffe a T per carichi elevati.
- Miglior compromesso peso-dimensioni-forza.
- Compatibile con attuatori rotanti.
- Sensori magnetici opzionali.

#### Self-centering 2-jaw electric parallel gripper with long stroke

- Plug & play user friendly gripper.
- No electricity consumption when gripper is engaged.
- No programming required.
- Gripper retention guaranteed in event of blackout.
- Self Adapting jaws part.
- Long life Brushless motor (Brushless DC).
- Built-in motor driver.
- 24 Vdc Low Voltage Power Supply.
- M8x1, 3 poles standard connection.
- Controllable by PLC as a pneumatic valve.
- Exclusive self-centering system.
- Fiber-carbon gear reduction.
- 10 million cycle maintenance-free.
- Tslot style jaws for heavy loads.
- Weight-dimensions-force best trade off.
- Rotary actuator fitting compatible.
- Optional magnetic sensors.



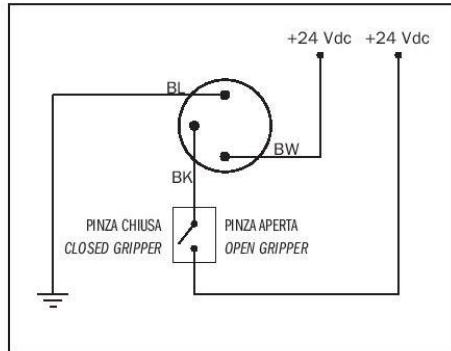


	MPLM1630	MPLM2535	MPLM3240
Forza di serraggio totale <i>Total gripping force</i>	60 N	95 N	210 N
Corsa <i>Stroke</i>	2x15 mm	2x17.5 mm	2x20 mm
Frequenza <i>Frequency</i>	0.61 Hz	0.93 Hz	0.75 Hz
Tempo chiusura griffe <i>Jaw closing time</i>	0.37 s	0.42 s	0.50 s
Tempo di lavoro pinza <i>Working gripper time</i>	0.52 s	0.53 s	0.53 s
Ciclo di lavoro <i>Duty cycle</i>	63%	100%	79%
Tensione d'alimentazione <i>Power supply</i>	24 Vdc ±10%	24 Vdc ±10%	24 Vdc ±10%
Corrente di picco <i>Peak current</i>	0.9 Apk	1.2 Apk	3.8 Apk
Corrente nominale <i>Nominal current</i>	0.3 Arms	0.4 Arms	0.8 Arms
Potenza motore brushless <i>Brushless motor power</i>	6 W	11 W	23 W
Connessione <i>Connection</i>	M8 - 3 poli <i>M8 - 3 poles</i>	M8 - 3 poli <i>M8 - 3 poles</i>	M8 - 3 poli <i>M8 - 3 poles</i>
Segnale d'ingresso apertura/chiusura <i>Open/closed input signal</i>	PNP open collector	PNP open collector	PNP open collector
Ripetibilità <i>Repetition accuracy</i>	0.02 mm	0.02 mm	0.02 mm
Temperatura di esercizio <i>Operating temperature</i>	5° + 60°C	5° + 60°C	5° + 60°C
Grado di protezione <i>Environmental Degree</i>	IP54	IP54	IP54
Rumorosità <i>Noise level</i>	< 70 dB	< 70 dB	< 70 dB
Peso (motore incluso) <i>Weight (motor included)</i>	263 g	500 g	844 g
Certificazione Camera Bianca IPA <i>IPA Clean Room Certification</i>	-	-	-
Normative di riferimento <i>Reference standards</i>	EN 61000-6-2 + EC + IS1; EN 61000-6-3 + A1		

### Connessione elettrica

La pinza è dotata di connettore M8 a 3 poli per l'alimentazione a 24 Vdc e per il segnale di chiusura/apertura (ON/OFF).

Non è necessaria un'ulteriore elettronica di comando esterna.



### Electrical connection

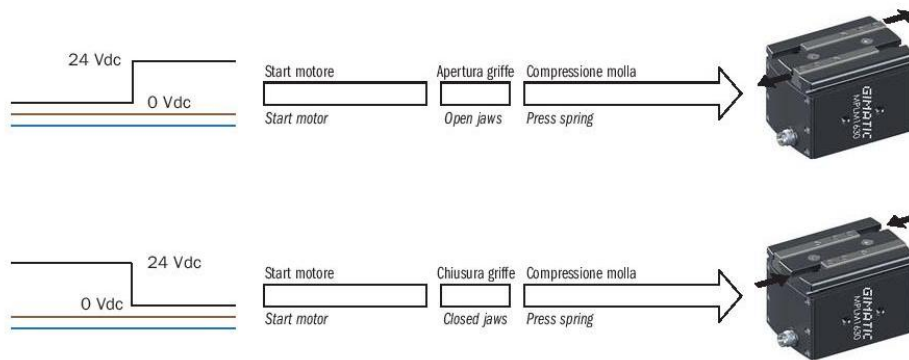
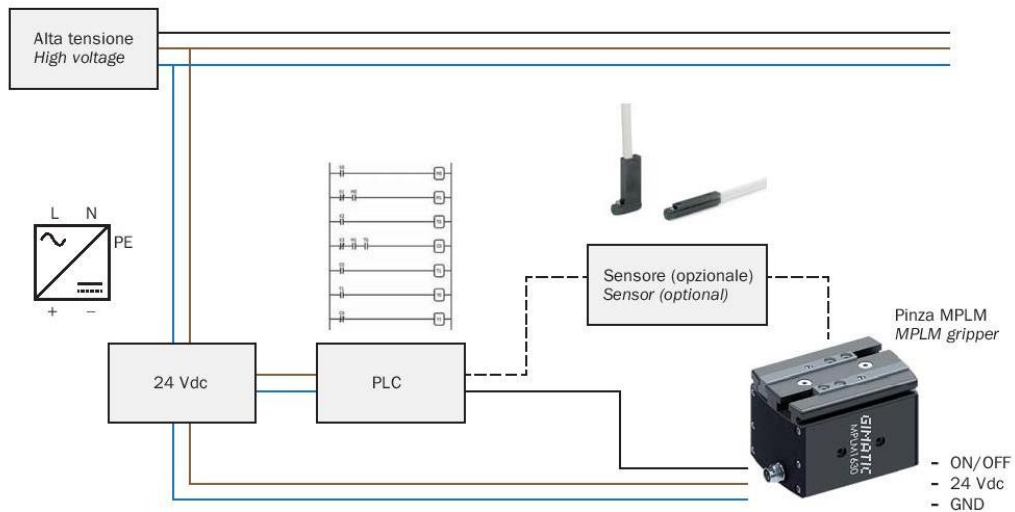
It is possible to provide the power supply at 24Vdc and the closing/opening signal (ON/OFF) by the M8 standard connector with 3 poles.

No further electronics is necessary to drive the gripper.

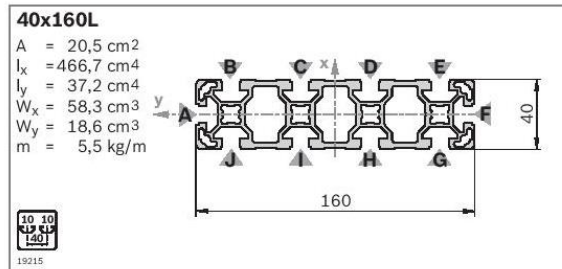


Connettore femmina standard M8x1 opzionale.  
Codice Gimatic: CFGM800325P / CFGM890325P.

Optional M8x1 standard female connector.  
Gimatic code: CFGM800325P / CFGM890325P.



## 9.2.4 Anexo B.4 Perfil de aluminio MGE 13.0 80X80L de Bosch Rexroth [3].



Cap	Color	ESD	No.
40x80 (2x)	Light gray	20	3 842 536 436
40x80 (2x)	Black	20	3 842 529 036

40x160L	L (mm)	No.
1 pc	50 ... 6000	3 842 993 143/L
1 pc M12	60 ... 6000	3 842 993 144/L
1 pc M12 M12	110 ... 6000	3 842 993 145/L
1 pc D17 D17	80 ... 6000	3 842 993 146/L
6 pcs	6070	3 842 529 345

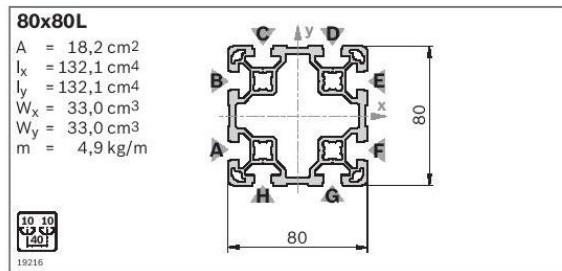
Profile finishes: M12: in all core holes  
D17: in slots B/J, C/I, D/H, E/G

**Quick & Easy** (p. 2-8; see fold-out section)

40x160L	No.
40x160L	3 842 993 717/...
Length L (mm)	80 ... 6000
Standard profile finishes	M12/D9.8 (B,C,D,E,G,H, I,J) <sup>1)</sup> /D17 (B,C,D,E,G,H, I,J) <sup>1)</sup> /DB17/F1 (A,F) <sup>1)</sup>
Individual profile finishes (L <sub>max</sub> = 5400 mm)	DI/DIS/MT/MTS/MI/MIS/DG <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> For the specified slots

<sup>2)</sup> DG<sub>max</sub> = 45°; L<sub>min1</sub>/L<sub>min2</sub> = 439/578 mm



Cap	Color	ESD	No.
80x80 (1x)	Black	20	3 842 529 039

80x80L	L (mm)	No.
1 pc	50 ... 6000	3 842 993 133/L
1 pc M12	60 ... 6000	3 842 993 134/L
1 pc M12 M12	110 ... 6000	3 842 993 147/L
1 pc M12 D17	90 ... 6000	3 842 993 148/L
1 pc D17	60 ... 6000	3 842 993 149/L
1 pc D17 D17	80 ... 6000	3 842 993 150/L
1 pc D17 D17V	80 ... 6000	3 842 993 151/L
6 pcs	6070	3 842 529 347

Profile finishes: M12: in all core holes  
D17: in slots A/F, B/E  
D17V: in slots C/H, D/G

**Quick & Easy** (p. 2-8; see fold-out section)

80x80L	No.
80x80L	3 842 993 674/...
Length L (mm)	50 ... 6000
Standard profile finishes	M12/D9.8/D17/DB17/F1
Individual profile finishes (L <sub>max</sub> = 5400 mm)	DI/DIS/MT/MTS/MI/MIS/DG <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> DG<sub>max</sub> = 45°; L<sub>min1</sub>/L<sub>min2</sub> = 439/578 mm

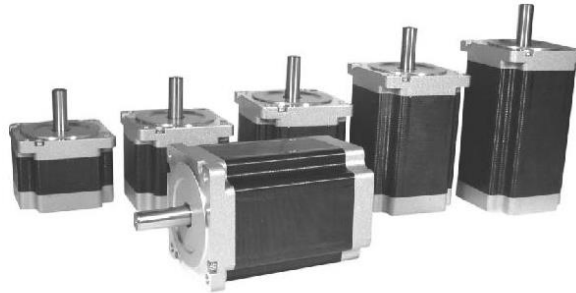
## 9.2.5 Anexo B.5 Motor a pasos Nema 34 de LAM Technologies [17].



**M13430xx**  
**SERIES**

### Nema 34

2 phase 1.8° step angle  
hybrid stepping motor

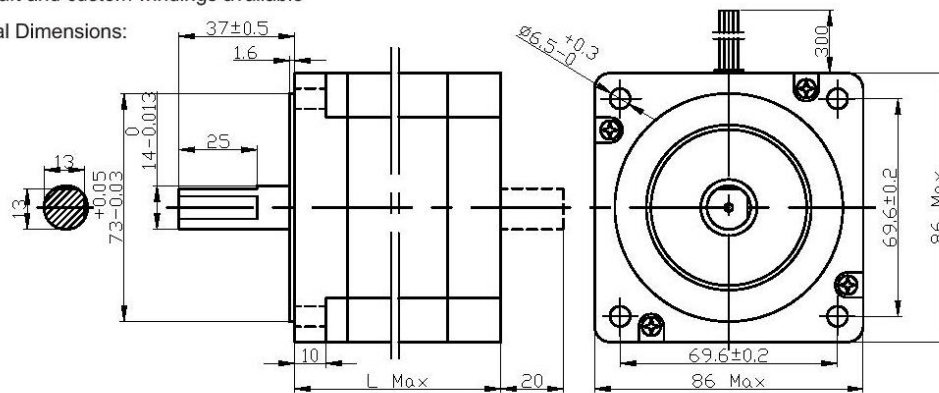


Specifications:

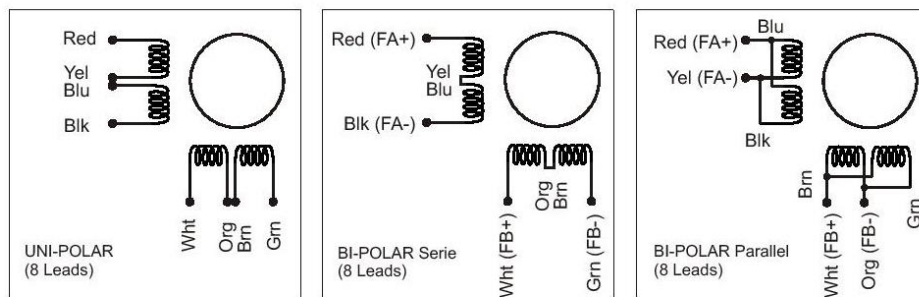
Model	Holding Torque (Nm)	Phase current (A)	Rotor Inertia (g/cm <sup>2</sup> )	Motor Length L max (mm)	Detent Torque (Nm)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Lead Wire (No)	Motor Weight (Kg)	Note
<b>M1343011</b>	3.1	5.6	850	66	0.055	0.26	1.5	8	1.9	Bip. parallel
<b>M1343020</b>	4.4	5.6	1050	78	0.065	0.35	2.8	8	2.3	Bip. parallel
<b>M1343021</b>	4.4	7.1	1050	78	0.065	0.21	1.6	8	2.3	Bip. Parallel
<b>M1343031</b>	6.8	7.1	1550	98	0.095	0.26	2.2	8	3	Bip. Parallel
<b>M1343041</b>	8.1	7.1	1800	114	0.13	0.38	3.2	8	3.8	Bip. parallel
<b>M1343050</b>	9.2	7.1	2200	126	0.19	0.43	3.4	8	4.1	Bip. parallel
<b>M1343051</b>	9.2	10	2200	126	0.19	0.18	1.6	8	4.1	Bip. Parallel
<b>M1343060</b>	12.1	10	2500	150	0.25	0.21	2.2	8	5	Bip. Parallel
<b>M1343061</b>	12.1	12	2500	150	0.25	0.17	1.8	8	5	Bip. parallel

Double shaft and custom windings available

Mechanical Dimensions:  
Unit: mm



Wiring Diagram:



LAM Technologies

[www.lamtechnologies.com](http://www.lamtechnologies.com)

Viale Ludovico Ariosto, 492/D  
50019 Sesto Fiorentino FIRENZE  
Tel. 055-4207746 Fax 055-4207651

[info@lamtechnologies.com](mailto:info@lamtechnologies.com)

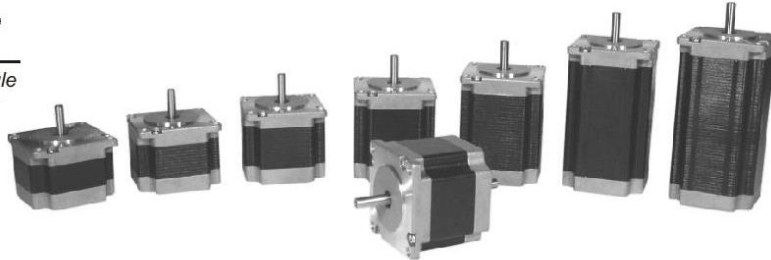
## 9.2.6 Anexo B.6 Motor a pasos Nema 23 de LAM Technologies [17].



**M12330xx**  
**SERIES**

### Nema 23

2 phase 1.8° step angle  
hybrid stepping motor



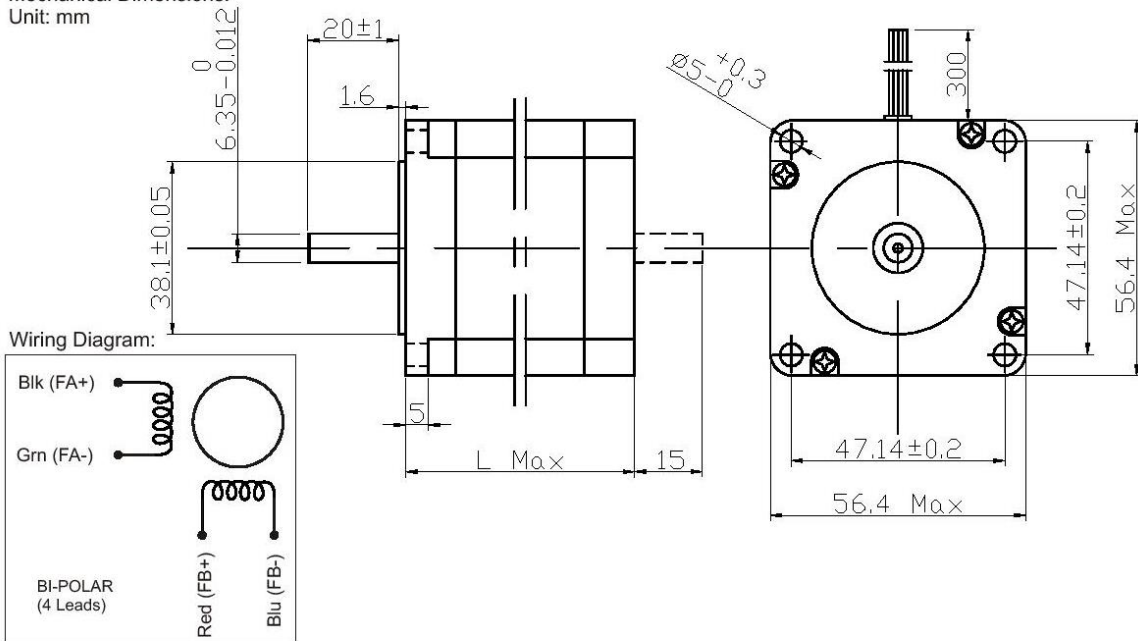
Specifications:

Model	Holding Torque (Nm)	Phase current (A)	Rotor Inertia (g/cm <sup>2</sup> )	Motor Length L max (mm)	Detent Torque (Nm)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Lead Wire (No)	Motor Weight (Kg)	Note
<b>M1233011</b>	0.55	0.62	150	41	0.025	13	34	4	0.47	
<b>M1233012</b>	0.55	2.0	150	41	0.025	1.2	3.20	4	0.47	
<b>M1233021</b>	0.80	0.62	190	45	0.028	12	29	4	0.52	
<b>M1233022</b>	0.80	2.5	190	45	0.028	1.0	2.2	4	0.52	
<b>M1233031</b>	1.00	0.62	190	51	0.028	13.4	33	4	0.62	
<b>M1233032</b>	1.10	2.5	190	51	0.028	1.15	3.3	4	0.62	
<b>M1233041</b>	1.10	4.2	280	56	0.035	0.4	1.2	4	0.68	
<b>M1233051</b>	1.40	3.0	380	64	0.05	0.8	2.4	4	0.85	8 mm shaft available
<b>M1233061</b>	1.80	3.0	440	76	0.06	1.0	3.54	4	1.05	
<b>M1233062</b>	1.80	4.2	440	76	0.06	0.55	1.8	4	1.05	
<b>M1233064</b>	1.80	6.0	440	76	0.06	0.3	1	4	1.05	
<b>M1233070</b>	3.00	4.2	680	100	0.1	0.8	3.0	4	1.5	
<b>M1233071</b>	3.00	6.0	680	100	0.1	0.4	1.5	4	1.5	
<b>M1233081</b>	3.40	6.0	800	112	0.12	0.44	1.9	4	1.7	

Double shaft and custom windings available

Mechanical Dimensions:

Unit: mm



**LAM Technologies**

[www.lamtechnologies.com](http://www.lamtechnologies.com)

Viale Ludovico Ariosto, 492/D  
50019 Sesto Fiorentino FIRENZE  
Tel. 055-4207746 Fax 055-4207651

[info@lamtechnologies.com](mailto:info@lamtechnologies.com)

rev. 1.23 20/02/13

## 9.2.7 Anexo B.7 Cortina fotoeléctrica de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs

[25].

Safety Light Curtain SLCS  
Product Description

### 4.2 Displays and controls

The transmitter unit has two LEDs to display its operating status.

The receiver unit has five LEDs to display its operating status.

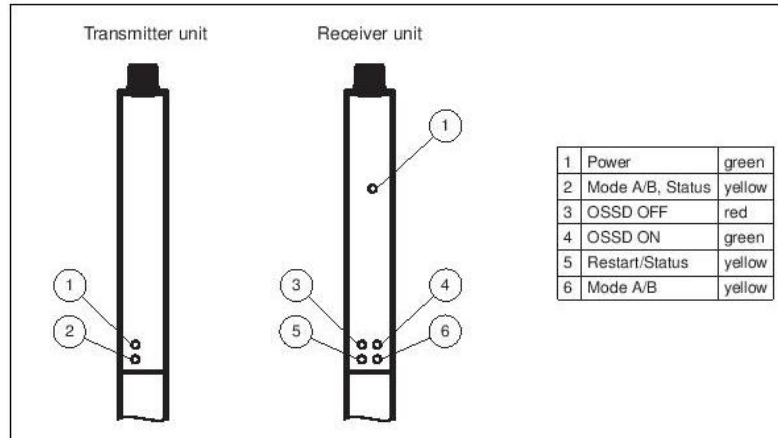


Figure 4.2 Displays from the transmitter unit and receiver unit

#### Description of the LED indicators

No.	Designation	LED color	Meaning
1	Power	Green	Transmitter and receiver operating
2	A/B mode, status	Yellow	Off: Mode A On: Mode B  Indicator flashes with 1 Hz: Test time exceeded or A/B mode input level change Indicator flashes with 5 Hz: Internal fault
3	OSSD OFF	Red	OSSDs switched off
4	OSSD ON	Green	OSSDs switched on
5	Restart/status	Yellow	On: Protection field clear; system ready to start Indicator flashes with 1 Hz: External fault Indicator flashes with 2.5 Hz: Below weak signal strength level Indicator flashes with 5 Hz: Internal error
6	Mode A/B	Yellow	Off: Mode A On: Mode B

207484 2014-03

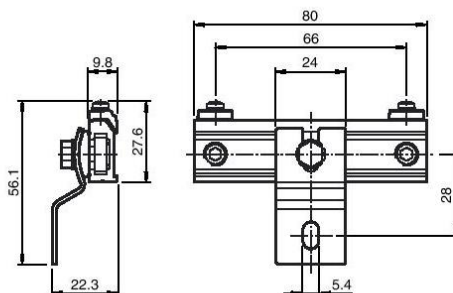
## 9.2.8 Anexo B.8 Accesorio de montaje para cortina Pepperl&Fuchs [25].

Accesorios

OMH-SLCT-03



### Dimensiones



### Referencia de pedido

OMH-SLCT-03

Ángulo de fijación completo con ajuste

### Características

- Kit de fijación
- Montaje fácil y rápido

### Datos técnicos

#### Datos generales

Ajuste del ángulo  $\pm 7^\circ$

#### Datos mecánicos

Material Aluminio

Masa aprox. 70 g

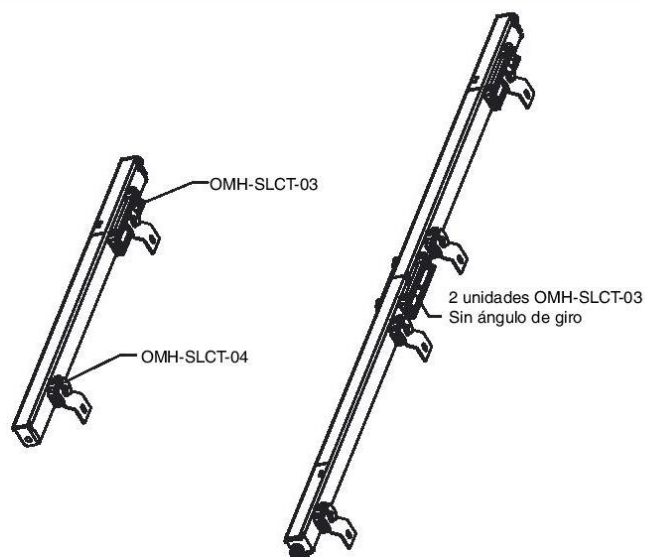
#### Información general

Volumen de suministro Ángulo de fijación ; 1 Placa ranurada ; 4 Tacos guiados ; Juego de tornillos ; Destornillador

#### Series adecuada

Safety Serie SLCT  
SLCS

### Instrucciones de montaje



### Ayuda de montaje de la placa ranurada

Cada paquete incluye una placa ranurada.

Para evitar que los tacos guiados se encajen en el orificio superior, tape el orificio con la placa ranurada.

## 9.2.9 Anexo B.9 Sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales [3].

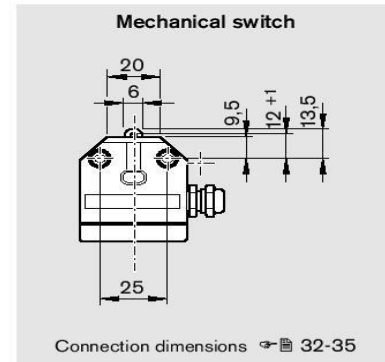
EasyHandling Basic

### Switches, Socket-Plug, Cable Duct

#### Switches

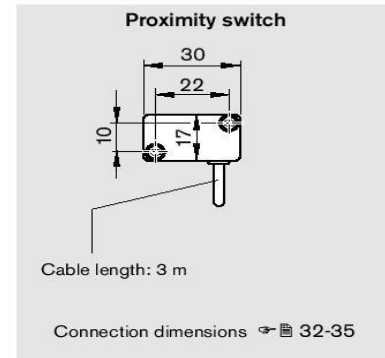
##### Mechanical switches

Mechanical switch	
Technical data	
Repeatability	± 0.05 mm
Permissible ambient temperature	-5 °C to +80 °C
Protection class	DIN 40050 IP 67
Bounce time	< 2 ms
Insulation class	Group C as per VDE 0110
Rated voltage	250 V AC
Continuous current	5 A
Switching capacity at 220 V, 40–60 Hz	cos φ = 0.8 at 2 A
Contact resistance when new	< 240 mΩ
Connection type	Screw connector
Contact system	Single-pole changeover
Switching system	Snap-action
B <sub>10d</sub> as per EN ISO 13849-1	1 000 000 switching cycles



##### Proximity switches

Proximity switch with potted cable (3 x 0.14 mm <sup>2</sup> Unitronic)	
Technical data	
Housing form	NO
Minisensor	Form A DIN 41635
Operating voltage	10 ... 30 V DC
Residual ripple	≤ 10%
Load	200 mA
No-load current	≤ 20 mA
Switching frequency	max. 1500 Hz
Temperature-related shift in make point	≤ 4 μm/K
Output signal steepness	≥ 1V/μs
Repeatability of make point per EN 50008	≤ 0.1 mm
Cable length	3 m
MTTF <sub>d</sub> as per EN ISO 13849-1	30 – 100 years



## 9.2.10 Anexo B.10 Diagrama de conexiones y características eléctricas de cortina fotoeléctrica de seguridad SLCS Pepperl&Fuchs [25].

### Safety Light Curtain SLCS Product Description

#### 4.3 Interfaces and connections

The electrical connections of the safety light curtain are made using M12 connectors. The transmitter has a 4-pin connector and the receiver an 8-pin connector.

Connect the power supply and the test signal to the transmitter unit. In addition, the mode can be selected via the A/B mode input.

Connect the fail-safe outputs (OSSD), the status/select output and the inputs for the startup enable, relay monitor and A/B mode to the receiver unit.

The housing profile is connected internally to +24 V and 0 V with approx. 2.3 MOhm// 33 nF. Internal varistors limit any surges that occur at approx. 85 V. A separate grounding or connection between the housing and functional ground is not required.

##### Transmitter:

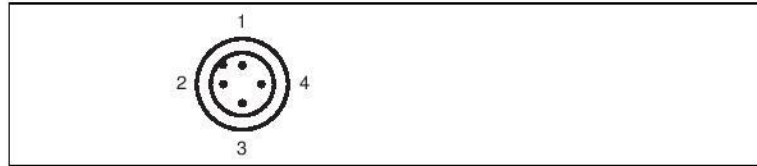


Figure 4.3 Pin assignment transmitter unit

- 1 24 V DC
- 2 Mode A/B
- 3 0 V DC
- 4 Test

##### Receiver:



Figure 4.4 Pin assignment receiver unit

- 1 Restart Interlock (RI)
- 2 24 V DC
- 3 Relaismonitor (RM)
- 4 Status / Select RI-RM
- 5 OSSD 1
- 6 OSSD 2
- 7 0 V DC
- 8 Mode A/B



## 9 Appendix

### 9.1 Technical data

#### General specifications

Effective detection range	0.4 ... 8 m
Light source	IREL
Light type	modulated infrared light , 850 nm
Approvals	TÜV, cULus
Tests	EN IEC 61496, IEC 61508 part 1,2,3,4, EN ISO 13849, EN 50178, EN 60870-5-1, EN 61000-6-3 The list of standards related to the current edition.
Safety type according to IEC/EN 61496	4
Safety Integrity Level (SIL)	PL e (EN ISO 13849-1)
Marking	CE (2006/42/EG)
Protection field height	
Operating mode	Startup/restart disable, deactivateable
Detectable obstacle size (resolution)	SLCS14: 14 mm; SLCS30: 30 mm; SLCS60: 60 mm; SLCS90: 90 mm
Angle of divergence	5 °
Ambient light limit	Not sensitive to ambient light in accordance with EN 61496-2

#### Functional safety related parameters

Safety Integrity Level (SIL)	SIL 3
Performance level (PL)	PL e
Category	Cat. 4
Mission Time (T <sub>M</sub> )	20 a

#### Indicators/operating means

Operating display	green: Power on
Function display	Green: OSSD ON , Red: OSSD OFF
Status indication	Emitter unit: LED yellow: Mode, test or error Receiver: LED yellow: Start readiness, function reserve or error

207484 2014-03



### Outputs on the receiver unit

OSSD output	
Output format	pnp-semiconductor, monitored for short and cross circuits
Switching voltage	ON: $U_B - 2\text{ V}$ OFF: $< 1\text{ V}$
Switching current (max.)	ON: max. 0.1 A OFF: $< 5\text{ }\mu\text{A}$
Load inductance (max.)	1,0 H
Load capacity (max.)	220 nF
Note	The outputs are permanently monitored by short 120 $\mu\text{s}$ sampling pulses. You must ensure that this has no effect on the following circuit.

### Message output

Output format	pnp-semiconductor, short-circuit protected
Switching current	0,1 A

### Ambient conditions

Ambient temperature	-30 ... 60 °C (-22 ... 140 °F)
Storage temperature	-30 ... 70 °C (-22 ... 158 °F)
Relative humidity	max. 95 %, not condensing

### Mechanical specifications

Housing length L	See chapter 9.3
Protection degree	IP65 , For indoor use only
Connection	Emitter unit: connector M12 x 1, 4-pin Receiver: 8-pin, M12 x 1 connector Cable cross section min. 0.25 mm <sup>2</sup> Max. cable length 50 m
Material	
Housing	extruded aluminum section , gold anodized
Optical face	Plastic pane , Transparent polycarbonate
Mass	

207484 2014-03

## 9.2.11 Anexo B.11 Driver de motor a pasos STP-DVR-80100 [30]

# SureStep® Stepping Systems

## SureStep® Microstepping Drives Overview

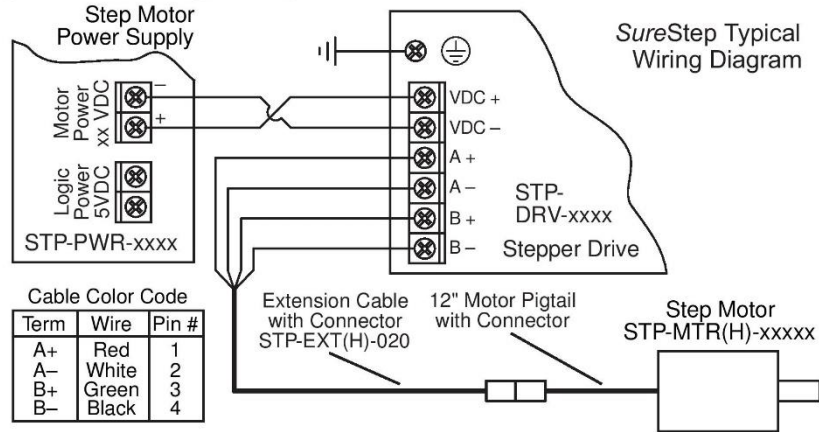
SureStep Series – Microstepping Drives Features Comparison				
Drive Model	Standard Microstepping Drives		Advanced Microstepping Drives	
	STP-DRV-6575	STP-DRV-4035	STP-DRV-4850	STP-DRV-80100
Price	<-->	<-->	<-->	<-->
Drive Type	Microstepping drive with pulse input		Advanced microstepping drive with pulse or analog input, serial communication; includes programming/communication cable STP-232RJ11-CBL	
	enclosed	open-frame	enclosed	
Output Current	1.0–7.5 A/phase	0.4–3.5 A/phase	0.1–5 A/phase	0.1–10 A/phase
Input Voltage	nominal: 24–65 VDC range: 20–75 VDC	nominal: 12–32 VDC range: 12–42 VDC	nominal: 24–48 VDC range: 18–53 VDC	nominal: 24–80 VDC range: 18–88 VDC
Configuration Method	rotary dial, dip switches, jumpers	dip switches	SureStep Pro software (included)	
Amplifier Type	MOSFET, dual H-bridge, 4-quadrant	MOSFET, dual H-bridge, bipolar chopper	MOSFET, dual H-bridge, 4-quadrant	
Current Control	4-state PWM @ 20 kHz	4-state PWM 20 kHz	4-state PWM @ 20 kHz	4-state PWM @ 20 kHz
Microstep Resolution	dipswitch selectable	dipswitch selectable	software selectable	software selectable
	200 to 20,000 steps/rev	400 to 10,000 steps/rev	200 to 51200 steps/rev	
Modes of Operation	Step & Dir	YES	YES	YES
	CW/CCW	YES	n/a	YES
	A/B Quad	n/a	n/a	YES
	Oscillator	n/a	n/a	YES
	Serial Indexing	n/a	n/a	YES
Digital Input Signals	Step/Pulse	step & direction, CW/CCW step	step & direction	step & direction, CW/CCW step, A/B quadrature, run/stop & direction, jog CW/CCW, CW/CCW limits
	Direction			
	Enable	motor disable	motor disable	motor enable, alarm reset, speed select (oscillator mode)
Analog Input	n/a	n/a	speed control	
Output Signal	fault	n/a	fault, motion, tach	
Communication Interface	n/a	n/a	YES (programming/communication cable included)	
Non-volatile Memory Storage	n/a	n/a	YES	
Idle Current Reduction	YES	YES	YES	
Self Test	YES	YES	YES	
Additional Features	Load inertia (anti-resonance & damping feature to improve motor performance)	n/a	Anti-resonance (Electronic Damping) Auto setup Microstep emulation Torque ripple smoothing (allows for fine adjustment of phase in the range 0.25 to 1.5 rps) Waveform (command signal) smoothing	
	Step pulse noise filter			

Refer to Specifications Tables for detailed specifications

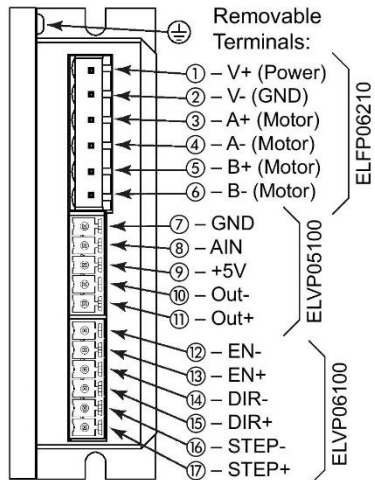


- Company Information
- Systems Overview
- Programmable Controllers
- Field I/O
- Software
- C-more & other HMI
- Drives
- Soft Starters
- Motors & Gearbox
- Steppers/ Servos
- Motor Controls
- Proximity Sensors
- Photo Sensors
- Limit Switches
- Encoders
- Current Sensors
- Pressure Sensors
- Temperature Sensors
- Pushbuttons/Lights
- Process
- Relays/Timers
- Comm.
- Terminal Blocks & Wiring
- Power
- Circuit Protection
- Enclosures
- Tools
- Pneumatics
- Safety
- Appendix
- Product Index
- Part # Index

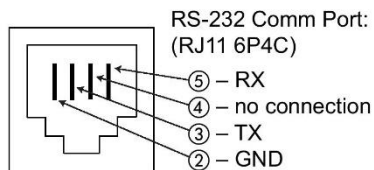
## Typical Wiring Diagram



## Connection Locations & Pin-out



Terminal block part #'s (shown) are Amphenol PCD ([www.amphenolpcd.com](http://www.amphenolpcd.com))

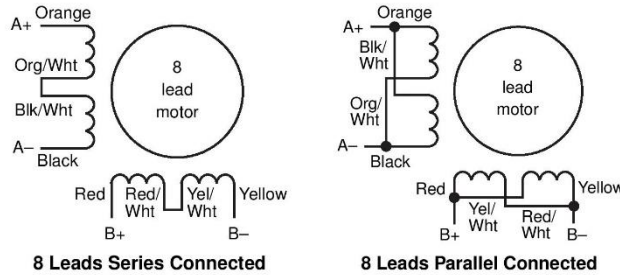


External wiring is connected using three separate pluggable screw terminal connectors. The power connections share a six position connector, the digital inputs share another six position connector, and the analog input and digital output share a five position connector.



**Eight lead motors**

Eight lead motors can also be connected in two ways: series or parallel. Series operation gives you more torque at low speeds, but less torque at high speeds. When using series connection, the motor should be operated at 30% less than the rated current to prevent over heating. Parallel operation allows greater torque at high speeds. When using parallel connection, the current can be increased by 30% above rated current. Care should be taken in either case to assure the motor does not being overheat.

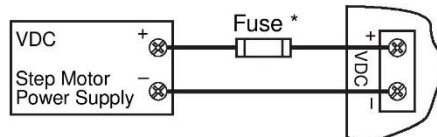


*Step motor wire lead colors vary from one manufacturer to another.*

**Connecting the Power Supply**

An STP-PWR-xxxx power supply from AutomationDirect is the best choice to power the step motor drive. If you need information about choosing a different power supply, refer to the section entitled “Choosing a Power Supply” in this chapter.

If your power supply does not have a fuse on the output or some kind of short circuit current limiting feature, you need a fuse between the drive and the power supply. Install the fuse on the + power supply lead.



\* External fuse not req'd when using an STP-PWR-xxxx P/S; fuse is internal.

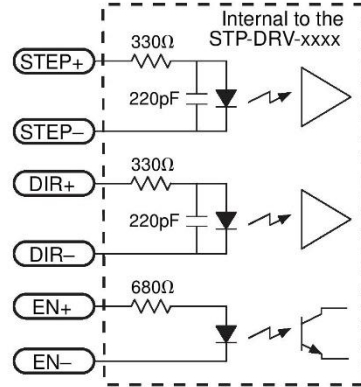


**Warning:** Connect the motor power supply "+" terminal to the drive "+ VDC" terminal, and connect the power supply "-" terminal to the drive "VDC-" terminal. Use wire no smaller than 18 gauge, and be careful not to reverse the wires. Reverse connection will destroy your drive and void the warranty.

## Connecting the I/O

### SureStep™ Drive Digital Inputs

The SureStep advanced drives include two high speed 5V digital inputs (STEP and DIR), and one standard speed 5-12V input (EN).



Drive Digital Input Circuit

The digital inputs are optically isolated to reduce electrical noise problems. There is no electrical connection between the control and power circuits within the drive, and input signal communication between the two circuits is achieved by infrared light. Externally, the drive's motor power and control circuits should be supplied from separate sources, such as from a step motor power supply with separate power and logic outputs.

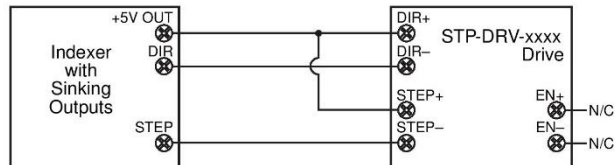
For bidirectional rotation, supply a source of step pulses to the drive at the STEP+ and STEP- terminals, and a directional signal at the DIR+ and DIR- terminals.

The ENABLE input allows the logic to turn off the current to the step motor by providing a signal to the EN+ and EN- terminals. The EN+ and EN- terminal can be left unconnected if the enable function is not required.

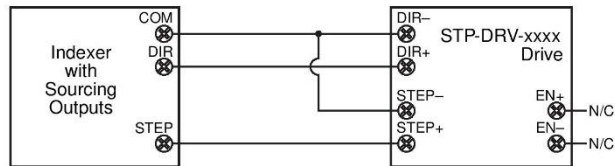
All logic inputs can be controlled by a DC output signal that is either sinking (NPN), sourcing (PNP), or differential.

### Connecting STEP and DIR to 5V TTL Logic

#### Connecting to an Indexer with Sinking Outputs



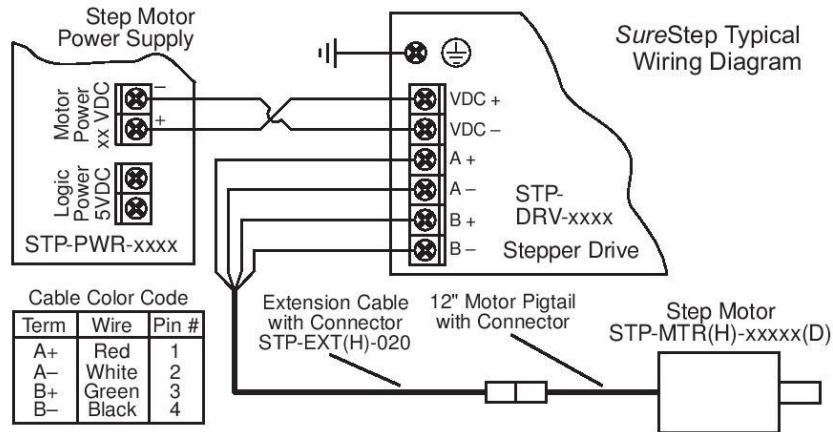
#### Connecting to an Indexer with Sourcing Outputs



## 9.2.12 Anexo B.12 Driver de motor a pasos STP-DVR-6575 [30]

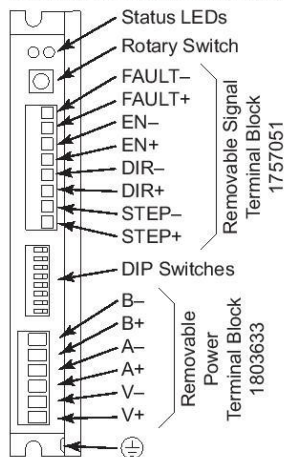
### Chapter 2: SureStep™ STP-DRV-6575 Microstepping Drive

#### Typical Wiring Diagram



#### Wiring Connections and Configuration Switches

##### Terminals, Switches, Indicators



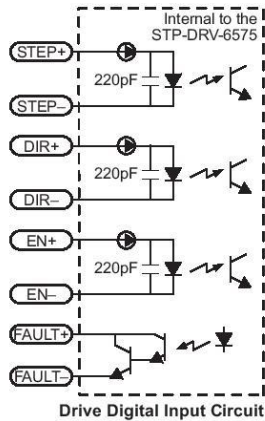
Terminal block part #s (shown) are Phoenix Contact ([www.phoenixcontact.com](http://www.phoenixcontact.com))

External wiring is connected using two separate pluggable screw terminal connectors. The power connections share a six-position connector, and the digital inputs and output share an eight-position connector.

## Connecting the I/O

### SureStep™ Drive Digital Inputs and Outputs

The SureStep STP-DRV-6575 drive includes two high-speed 5–24 VDC digital inputs (STEP & DIR), one standard-speed 5–24 VDC digital input (EN), and one 30 VDC digital output (Fault).



The digital inputs are optically isolated to reduce electrical noise problems. There is no electrical connection between the control and power circuits within the drive, and input signal communication between the two circuits is achieved by infrared light. Externally, the drive's motor power and control circuits should be supplied from separate sources, such as from a step motor power supply with separate power and logic outputs.

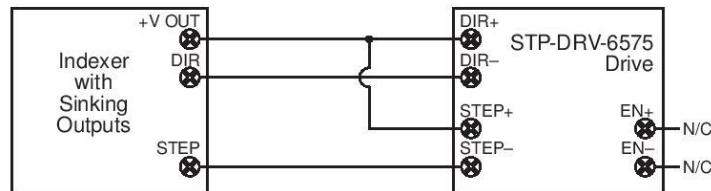
For bidirectional rotation, supply a source of step pulses to the drive at the STEP+ and STEP- terminals, and a directional signal at the DIR+ and DIR- terminals.

The ENABLE input allows the logic to turn off the current to the step motor by providing a signal to the EN+ and EN- terminals. The EN+ and EN- terminal can be left unconnected if the enable function is not required.

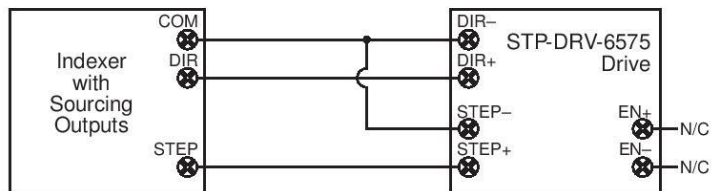
All logic inputs can be controlled by a DC output signal that is either sinking (NPN), sourcing (PNP), or differential.

### Connecting the Input Signals – STEP and DIR

#### Connecting Inputs to an Indexer with Sinking Outputs



#### Connecting Inputs to an Indexer with Sourcing Outputs



## 9.2.13 Anexo B.13 Hoja de datos PIC18F4550 [20]

# PIC18F2455/2550/4455/4550

## 28.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings<sup>(†)</sup>

Ambient temperature under bias.....	-40°C to +85°C
Storage temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD and $\overline{\text{MCLR}}$ ) ( <b>Note 3</b> ).....	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on VDD with respect to VSS .....	-0.3V to +7.5V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to VSS ( <b>Note 2</b> ).....	0V to +13.25V
Total power dissipation ( <b>Note 1</b> ) .....	1.0W
Maximum current out of VSS pin .....	300 mA
Maximum current into VDD pin .....	250 mA
Input clamp current, I <sub>IK</sub> (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > VDD).....	±20 mA
Output clamp current, I <sub>OK</sub> (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > VDD).....	±20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin .....	25 mA
Maximum current <b>sunk</b> by all ports .....	200 mA
Maximum current sourced by all ports .....	200 mA

**Note 1:** Power dissipation is calculated as follows:

$$P_{dis} = VDD \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(VDD - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$$

- 2:** Voltage spikes below VSS at the  $\overline{\text{MCLR}}$ /VPP/RE3 pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the  $\overline{\text{MCLR}}$ /VPP/RE3 pin, rather than pulling this pin directly to VSS.
- 3:** When the internal USB regulator is enabled or VUSB is powered externally, RC4 and RC5 are limited to -0.3V to (VUSB + 0.3V) with respect to VSS.

† **NOTICE:** Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## 9.2.14 Anexo B.14 Hoja de datos fuente de poder SE-1500 Series [31]



AC/DC Single Output Power Supply, 1500W  
Mean Well SE-1500 Series



### ■ Features :

- AC input 180 ~ 264VAC
- AC input active surge current limiting
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Forced air cooling by built-in DC ball bearing fan
- High power density 7.8w/inch<sup>3</sup>
- With DC OK signal output
- Built-in remote ON-OFF control
- Built-in remote sense function
- UL / CUL approved
- Low cost
- 2 years warranty

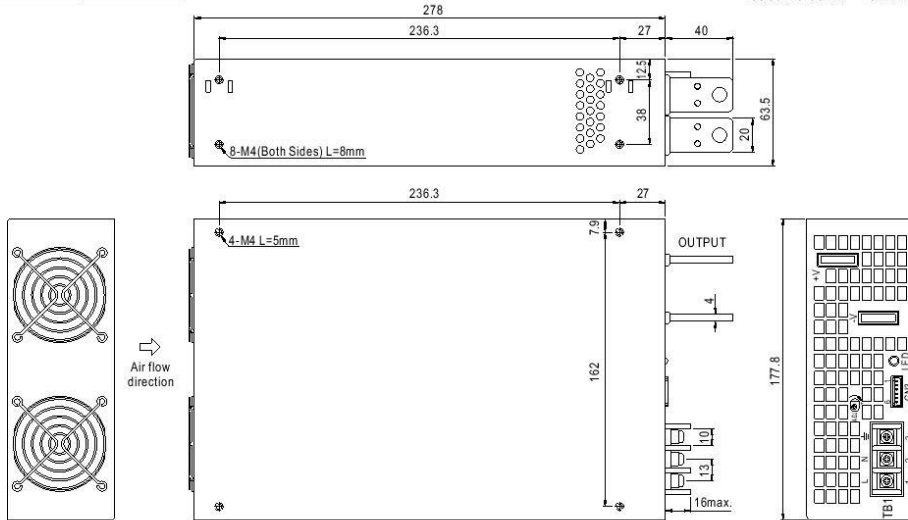


### SPECIFICATION

MODEL	SE-1500-5	SE-1500-12	SE-1500-15	SE-1500-24	SE-1500-27	SE-1500-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	27V	48V
	RATED CURRENT	300A	125A	100A	62.5A	55.6A	31.3A
	CURRENT RANGE	0 ~ 300A	0 ~ 125A	0 ~ 100A	0 ~ 62.5A	0 ~ 55.6A	0 ~ 31.3A
	RATED POWER	1500W	1500W	1500W	1500W	1501.2W	1502.4W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	3.3 ~ 5.5V	10.8 ~ 13.5V	13.5 ~ 16.5V	21.6 ~ 26.4V	25 ~ 30V	43.2 ~ 56V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±2.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	150ms, 12ms / 230VAC at full load					
HOLD UP TIME (Typ.)	26ms / 230VAC at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE	180 ~ 264VAC		254 ~ 370VDC			
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	EFFICIENCY (Typ.)	81%	85%	85%	87%	88%	89%
	AC CURRENT (Typ.)	17.5A / 230VAC					
	INRUSH CURRENT (Typ.)	60A / 230VAC					
LEAKAGE CURRENT	<3.5mA / 240VAC						
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 125% rated output power Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover					
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V	14.5 ~ 16.2V	18 ~ 21V	27.6 ~ 32.4V	31 ~ 35V	57.6 ~ 67.2V
	OVER TEMPERATURE	95°C±5°C(5V), 85°C±5°C(12V,15V), 80°C±5°C(24V), 75°C±5°C(27V,48V) (TSW1) detect on heatsink of o/p diode Protection type : Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down					
FUNCTION	DC_OK SIGNAL	PSU turn on:3.3V ~ 5.6V		PUS turn off:0 ~ 1V			
	REMOTE CONTROL	RC+RC-: 0 ~ 0.8V power on; 4 ~ 10V power off					
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +70°C (Refer to output load derating curve)					
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.05%/°C (0 ~ 50°C)					
SAFETY & EMC	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes					
	SAFETY STANDARDS	UL60950-1 approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC		I/P-FG:1.5KVAC		O/P-FG:0.5KVAC	
OTHERS	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH					
	MTBF	134.5K hrs min.		MIL-HDBK-217F (25°C)			
NOTE	DIMENSION	278*177.8*63.5mm (L*W*H)					
	PACKING	3.3Kg; 4pcs/14.2Kg/1.14CUFT					
<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.                  2. Ripple &amp; noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf &amp; 47uf parallel capacitor.                  3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p>							

**Mechanical Specification**

Case No.982A Unit:mm



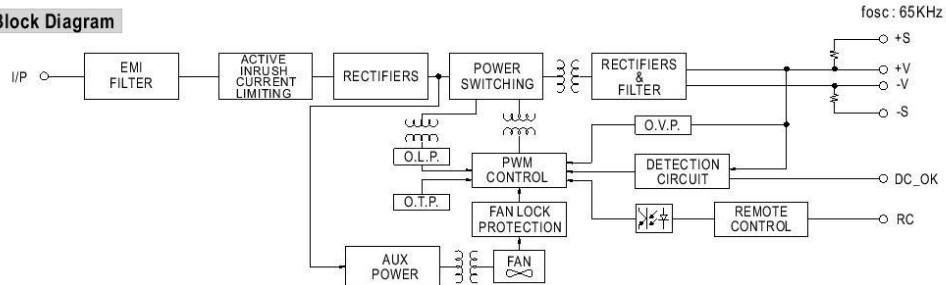
Terminal Pin No. Assignment :

Pin No.	Assignment
1	AC/L
2	AC/N
3	FG $\perp$

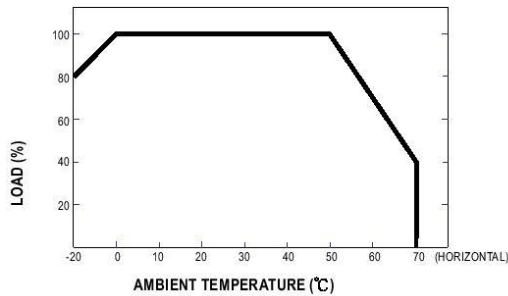
Control Pin (CN3) : JST B6B-XH or equivalent

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment	Mating Housing	Terminal
1	DC_OK Signal	4	+S	JST XHP or equivalent	JST SXH-001T or equivalent
2	DC_OK GND	5	RC-		
3	-S	6	RC+		

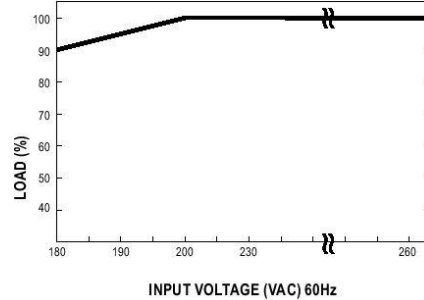
**Block Diagram**



**Derating Curve**



**Static Characteristics**



### Function Description of CN3

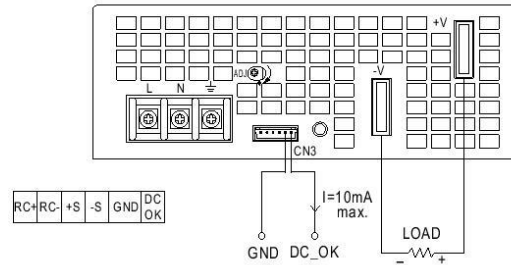
Pin No.	Function	Description
1	DC_OK	DC_OK signal is a TTL level signal, referenced to pin2(DC_OK GND). "High" when PSU turns on.
2	GND	This pin connects to the negative terminal (-V). Return for DC_OK signal output.
3	-S	Negative sensing. The -S signal should be connected to the negative terminal of the load. The -S and +S leads should be twisted in pair to minimize noise pick-up effect.
4	+S	Positive sensing. The +S signal should be connected to the positive terminal of the load. The +S and -S leads should be twisted in pair to minimize noise pick-up effect.
5	RC-	Return for RC+ signal input.
6	RC+	Turns the output on and off by electrical or dry contact between pin 6 ( RC+) and pin 5 ( RC-). 0~0.8V: Power ON, 4~10V: Power OFF.

### Function Manual

#### 1. DC\_OK Signal

DC\_OK Signal is a TTL level signal. "High" when PSU turns on.

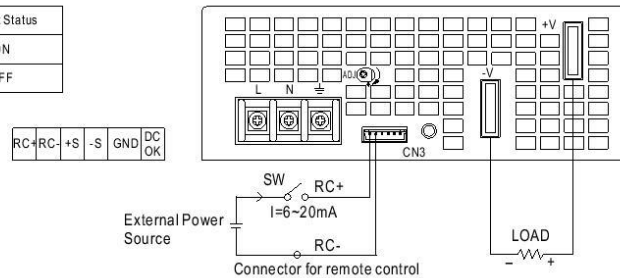
Between DC_OK(pin1) and GND(pin2)	Output Status
3.3 ~ 5.6V	ON
0 ~ 1V	OFF



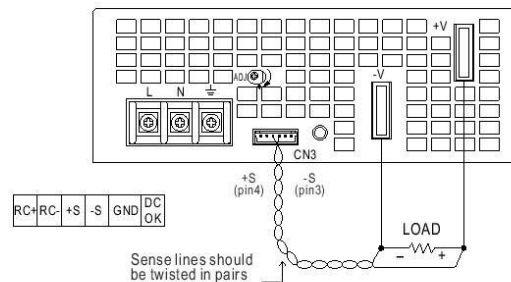
#### 2. Remote Control

The PSU can be turned ON/OFF by using the "Remote Control" function.

Between RC+(pin6) and RC-(pin5)	Output Status
SW OFF (0 ~ 0.8V)	ON
SW ON (4 ~ 10V)	OFF



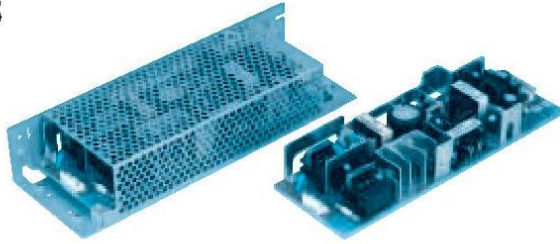
#### 3. Remote Sense



## 9.2.15 Anexo B.15 Hoja de Datos de fuente de alimentación LEB100F-0524 [31]



AC/DC Dual Output Switching Power Supply with PFC Function, 100W  
Cosel LEB100F Series



Recommended EM/EMC Filter  
NAC-06-472



High voltage pulse noise type : NAP series  
Low leakage current type : NAM series  
\* The EM/EMC Filter is recommended  
to connect with several devices.

- ① Series name
- ② Output wattage
- ③ Universal input
- ④ V1 Output voltage
- ⑤ V2 Output voltage
- ⑥ Optional \*1 \*2 \*3
- G : Low leakage current
- R : with Remote ON/OFF
- S : with Chassis
- SN : with Chassis & cover
- T : Vertical terminal block
- Y : with Potentiometer
- Z : with ZT

MODEL		LEB100F-0512	LEB100F-0324	LEB100F-0524	LEB100F-0530	LEB100F-0536
DC OUTPUT	V1	+5V 5A	+3.3V 5A	+5V 5A	+5V 5A	+5V 5A
	V2	+12V 5(Peak 10)A	+24V 4(Peak 7)A	+24V 4(Peak 7)A	+30V 3.2(Peak 5.6)A	+36V 2.7(Peak 4.7)A

### SPECIFICATIONS

MODEL	LEB100F-0512		LEB100F-0324		LEB100F-0524		LEB100F-0530		LEB100F-0536								
VOLTAGE[V]	AC85 - 264 1 φ or DC 120 - 370																
CURRENT[A]	ACIN 100V	1.2typ (Io=100%)		1.4typ (Io=100%)													
	ACIN 200V	0.6typ (Io=100%)		0.7typ (Io=100%)													
FREQUENCY[Hz]	50/60 (47 - 63) or DC																
EFFICIENCY[%]	ACIN 100V	74typ (Io=100%)		78typ (Io=100%)		78typ (Io=100%)		78typ (Io=100%)		78typ (Io=100%)							
	ACIN 200V	76typ (Io=100%)		80typ (Io=100%)		80typ (Io=100%)		80typ (Io=100%)		80typ (Io=100%)							
POWER FACTOR	ACIN 100V	0.98typ		0.99typ													
	ACIN 200V	0.93typ															
INRUSH CURRENT[A]	ACIN 100V	15typ (Io=100%) (At cold start) (Ta=25°C)															
	ACIN 200V	30typ (Io=100%) (At cold start) (Ta=25°C)															
LEAKAGE CURRENT[mA]	0.75max (60Hz, According to IEC60950 and DEN-AN)																
VOLTAGE[V]	+5	+12	+3.3	+24	+5	+24	+5	+30	+5	+36							
	0 - 5		0 - 5 (Peak 10)		0 - 5		0 - 4 (Peak 7)		0 - 5		0 - 32 (Peak 5.6)		0 - 5		0 - 27 (Peak 4.7)		
TOTAL OUTPUT WATTAGE[W]	85 (Peak 145)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)				
LINE REGULATION[mV]	20max		48max		20max		96max		20max		120max		20max		144max		
LOAD REGULATION[mV]	40max		100max		40max		150max		40max		180max		40max		180max		
RIPPLE[mVp-p]	0 to +50°C	80max		120max		80max		120max		80max		200max		80max		200max	
	-10 - 0°C	140max		160max		140max		160max		140max		240max		140max		240max	
RIPPLE NOISE[mVp-p]	0 to +50°C	120max		150max		120max		150max		120max		300max		120max		300max	
	-10 - 0°C	160max		180max		160max		180max		160max		360max		160max		360max	
TEMPERATURE REGULATION[mV]	0 to +50°C	50max		120max		50max		240max		50max		300max		50max		300max	
	-10 to +50°C	60max		150max		60max		290max		60max		350max		60max		350max	
DRIFT[mV]	±20max		±48max		±20max		±96max		±20max		±120max		±20max		±144max		
START-UP TIME[ms]	±250max		±500max		±250max		±500max		±250max		±500max		±250max		±500max		
HOLD-UP TIME[ms]	±40typ		±20typ		±40typ		±20typ		±40typ		±20typ		±40typ		±20typ		
OUTPUT VOLTAGE ADJUSTMENT RANGE[V]	4.5 - 5.5		Fixed		2.85 - 3.60		Fixed		4.5 - 5.5		Fixed		4.5 - 5.5		Fixed		
OUTPUT VOLTAGE SETTING[V]	11.5 - 12.5				23.0 - 25.0		Fixed		23.0 - 25.0		28.7 - 31.5		34.5 - 37.5				
PROTECTION CIRCUIT AND OTHERS	OVERCURRENT PROTECTION	V1	Works over 105% of rating current and recovers automatically														
		V2	Works over 101% of peak current and recovers automatically														
	OVERVOLTAGE PROTECTION	V1	Works over 115% of rating, by zener diode clamping														
	V2	Works at 115 - 140% of rating															
REMOTE ON/OFF	Option (Refer to Instruction Manual)																
ISOLATION	INPUT-OUTPUT - RC	AC3.000V 1minute, Cutoff current = 10mA, DC500V 50MΩ min (At Room Temperature)															
	INPUT-FG	AC2.000V 1minute, Cutoff current = 10mA, DC500V 50MΩ min (At Room Temperature)															
	OUTPUT - RC-FG	AC500V 1minute, Cutoff current = 100mA, DC500V 50MΩ min (At Room Temperature)															
	OUTPUT-OUTPUT(V1 - RC-V2)	AC100V 1minute, Cutoff current = 100mA, DC100V 10MΩ min (At Room Temperature)															
ENVIRONMENT	OPERATING TEMP., HUMID. AND ALTITUDE	-10 to +70°C, 20 - 90%RH (Non condensing) (Refer to DERATING CURVE), 3,000m (10,000feet) max															
	STORAGE TEMP., HUMID. AND ALTITUDE	-20 to +75°C, 20 - 90%RH (Non condensing), 9,000m (30,000feet) max															
	VIBRATION	10 - 55Hz, 19.6ms <sup>2</sup> (2G), 3minutes period, 60minutes each along X, Y and Z axis															
	IMPACT	196.1ms <sup>2</sup> (20G), 11ms, once each X, Y and Z axis															
SAFETY AND NOISE REGULATIONS	AGENCY APPROVALS	UL60950-1, C-UL, EN60950-1, EN50178 Complies with DEN-AN and IEC60950-1 (At only AC input)															
	CONDUCTED NOISE	Complies with FCC-B, CISPR22-B, EN55022-B, VCCI-B															
	HARMONIC ATTENUATOR	Complies with IEC61000-3-2															
OTHERS	CASE SIZE/WEIGHT	75 x 35 x 222mm [2.95 x 1.38 x 8.74 inches] (W x H x D) / 420g max (without chassis and cover)															
	COOLING METHOD	Convection															

- \*1 Specification is changed at option, refer to Instruction Manual 5.
- \*2 Peak loading for 10sec. And Duty 35% max, refer to Instruction Manual 4. In detail.
- \*3 Refer to Instruction Manual 2.2 in detail.
- \*4 This is the value that measured on measuring board with capacitor of 22 μF within 150mm from output terminal. Measured by 20MHz oscilloscope or Ripple-Noise meter (Equivalent to KEISOKU-GIKEN: RM101).
- \*5 Drift is the change in DC output for an eight hour period after a half-hour warm-up at 25°C,

- with the input voltage held constant at the rated input/output.
- \*6 ACIN 100V, Io=100%
- \*7 Applicable when remote control (optional) is added.
- \*8 Please contact us about safety approvals for the model with option.
- \* Series/Parallel operation is not possible.
- \* Derating is required when operated with chassis and cover.
- \* A sound may occur from power supply at peak loading.



## 9.2.16 Anexo B.16 Datos de corriente y duraciones para la electrodeposición de plata en EMC Technology.

**Metal Finishing Production Quantity and Run Time Information for EMC plated parts (FORM 751F023)**  
**Quantidades e información de proceso para piezas con acabado metálico por electrodeposición.**

Note: Amp can't be change without authorization of Engineering, perhaps, Amp-min can be change per plating data log last record.  
 Nota: Los amperios no se pueden cambiar sin autorización del Ing de proceso plating, sin embargo, los amperios-min se pueden cambiar según el historial del archivio "plating data log".

EMC Part Number/ Número de parte	Quantity/Cantidad de piezas	Barrel/Barrel	Shots Aplicación de bolitas	Shots Volume/ Volumen bolitas (ml)	Nickel process / Proceso de níquel		Copper process / Proceso de cobre		Silver process / Proceso de plata		Tin/lead process / Proceso de estaño / plomo	
					Amp	Amp-min	Amp	Amp-min	Amp	Amp-min	Amp	Amp-min
CT3725 - F, ALN - ALNF or SMT3725 - ALN or 110XXX, 190XXX (Sn60/Pb40) (size like 37-25/mm como 37-25)	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	8	300	10	150	4	10	6	300
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	950	10	450	6	60	6	350
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	1150	10	550	7	70	6	350
	Between 1,001 and 1,500 / Entre 1.001 y 1.500	46-X	mini	300	10	1350	10	700	7	70	7	350
	Between 1,501 and 2,000 / Entre 1.501 y 2.000	46-X	mini	300	10	1600	11	800	8	80	7	400
Between 2,001 and 2,500 / Entre 2.001 y 2.500	46-X	mini	300	10	1850	11	900	8	80	7	400	
Between 2,501 and 3,000 / Entre 2.501 y 3.000	46-X	mini	300	10	2100	11	1050	8	80	7	400	
Between 3,001 and 3,500 / Entre 3.001 y 3.500	46-X	mini	400	12	2250	14	1100	12	100	7	400	
110XXX, 190XXX (Sn60/Pb10) (size like 37-25/mm como 37-25)	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	8	150	NA	NA	NA	NA	6	150
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	475	NA	NA	NA	NA	6	175
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	575	NA	NA	NA	NA	6	175
	Between 1,001 and 1,500 / Entre 1.001 y 1.500	46-X	mini	300	10	675	NA	NA	NA	NA	7	175
	Between 1,501 and 2,000 / Entre 1.501 y 2.000	46-X	mini	300	10	800	NA	NA	NA	NA	7	200
Between 2,001 and 2,500 / Entre 2.001 y 2.500	46-X	mini	300	10	925	NA	NA	NA	NA	7	200	
Between 2,501 and 3,000 / Entre 2.501 y 3.000	46-X	mini	300	10	1050	NA	NA	NA	NA	7	200	
Between 3,001 and 3,500 / Entre 3.001 y 3.500	46-X	mini	400	12	1125	NA	NA	NA	NA	7	200	
CT2525 F, ALN, ALNF or SMT2525 - ALN or 110XXX, 190XXX (Sn60/Pb40) (size like 25-25/mm como 25-25)	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	8	300	10	150	4	10	6	350
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	550	10	450	6	60	6	400
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	650	10	500	6	60	6	400
	Between 1,001 and 2,000 / Entre 1.001 y 2.000	46-X	mini	300	10	800	10	550	7	70	7	400
	Between 2,001 and 3,000 / Entre 2.001 y 3.000	46-X	mini	300	10	1000	11	650	7	70	7	400
Between 3,001 and 4,000 / Entre 3.001 y 4.000	46-X	mini	300	10	1200	11	700	8	80	7	400	
Between 4,001 and 5,000	46-X	mini	300	12	1400	12	750	10	100	7	400	
110XXX, 190XXX (Sn60/Pb10) (size like 25-25/mm como 25-25)	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	8	150	NA	NA	NA	NA	6	175
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	275	NA	NA	NA	NA	6	175
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	325	NA	NA	NA	NA	6	200
	Between 1,001 and 2,000 / Entre 1.001 y 2.000	46-X	mini	300	10	400	NA	NA	NA	NA	7	200
	Between 2,001 and 3,000 / Entre 2.001 y 3.000	46-X	mini	300	10	500	NA	NA	NA	NA	7	200
Between 3,001 and 4,000 / Entre 3.001 y 4.000	46-X	mini	300	10	600	NA	NA	NA	NA	7	200	
Between 4,001 and 5,000	46-X	mini	300	12	700	NA	NA	NA	NA	7	200	
CT2010 - F, ALN, ALNF or SMT2010 - ALN or 110XXX, 190XXX (Sn60/Pb40) (size like 20-10/mm como 20-10)	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	8	150	10	150	4	10	6	350
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	super-mini	100	10	200	10	200	4	40	6	350
	Between 501 and 1,500 / entre 501 y 1,500	S-X	super-mini	100	10	300	10	300	4	40	6	350
	Between 1,501 and 2,500 / entre 1.501 y 2.500	46-X	mini	300	10	400	10	400	5	50	7	350
	Between 2,501 and 3,500 / entre 2.501 y 3.500	46-X	mini	300	10	500	10	500	6	60	7	400
Between 3,501 and 4,500 / entre 3.501 y 4.500	46-X	mini	300	10	600	10	700	8	80	7	400	
Between 4,501 and 5,500 / entre 4.501 y 5.500	46-X	mini	300	10	700	10	750	8	80	7	400	
Between 5,501 and 6,500 / entre 5.501 y 6.500	46-X	mini	300	12	800	11	800	9	90	7	400	
Between 6,501 and 7,500 / entre 6.501 y 7.500	46-X	mini	300	12	900	12	900	10	100	7	400	
110XXX, 190XXX (Sn60/Pb10) (size like 20-10/mm como 20-10)	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	8	75	NA	NA	NA	NA	6	150
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	S-X	super-mini	100	10	100	NA	NA	NA	NA	6	175
	Between 501 and 1,500 / entre 501 y 1,500	S-X	super-mini	100	10	130	NA	NA	NA	NA	6	175
	Between 1,501 and 2,500 / entre 1.501 y 2.500	46-X	mini	300	10	300	NA	NA	NA	NA	7	175
	Between 2,501 and 3,500 / entre 2.501 y 3.500	46-X	mini	300	10	250	NA	NA	NA	NA	7	200
Between 3,501 and 4,500 / entre 3.501 y 4.500	46-X	mini	300	10	300	NA	NA	NA	NA	7	200	
Between 4,501 and 5,500 / entre 4.501 y 5.500	46-X	mini	300	10	350	NA	NA	NA	NA	7	200	
Between 5,501 and 6,500 / entre 5.501 y 6.500	46-X	mini	300	10	400	NA	NA	NA	NA	7	200	
Between 6,501 and 7,500 / entre 6.501 y 7.500	46-X	mini	300	12	450	NA	NA	NA	NA	7	200	
SMT3737F - ALNF	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	10	450	10	150	4	10	NA	NA
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	1425	10	450	6	60	NA	NA
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	1725	10	550	7	70	NA	NA
	Between 1,001 and 1,500 / Entre 1.001 y 1.500	46-X	mini	300	10	2025	10	700	8	80	NA	NA
	Between 1,501 and 2,000	46-X	mini	300	10	2400	11	850	10	100	NA	NA
SMT3725F - ALNF	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	10	450	10	150	4	10	NA	NA
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	1425	10	400	8	80	NA	NA
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	1725	10	500	8	80	NA	NA
	Between 1,001 and 1,500 / Entre 1.001 y 1.500	46-X	mini	300	10	2025	10	550	9	90	NA	NA
	Between 1,501 and 2,000 / Entre 1.501 y 2.000	46-X	mini	300	10	2400	10	600	9	90	NA	NA
Between 2,001 and 2,500 / Entre 2.001 y 2.500	46-X	mini	300	10	2775	12	700	10	100	NA	NA	
Between 2,501 and 3,000 / Entre 2.501 y 3.000	46-X	mini	300	12	3150	14	850	7	70	NA	NA	
Between 3,001 and 3,500 / Entre 3.001 y 3.500	46-X	mini	400	10	3375	13	900	10	100	NA	NA	
Between 3,501 and 4,000 / Entre 3.501 y 4.000	46-X	mini	300	10	3800	13	380	6	60	NA	NA	
CT2338F-ALNF	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	10	450	12	250	4	40	NA	NA
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	12	825	14	675	8	80	NA	NA
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	12	975	14	750	8	80	NA	NA
	Between 1,001 and 2,000 / Entre 1.001 y 2.000	46-X	mini	300	12	1200	14	825	7	70	NA	NA
	Between 2,001 and 3,000 / Entre 2.001 y 3.000	46-X	mini	300	12	1500	14	975	7	70	NA	NA
Between 3,001 and 4,000 / Entre 3.001 y 4.000	46-X	mini	300	12	1800	14	1050	8	80	NA	NA	
Between 4,001 and 5,000	46-X	mini	300	12	2100	14	1150	8	80	NA	NA	
SMT2525F - ALNF	Less than 100 / menos de 100	S-X	super-mini	100	10	450	10	150	4	10	NA	NA
	Between 101 and 500 / entre 101 y 500	46-X	mini	300	10	1325	10	450	6	60	NA	NA
	Between 501 and 1,000 / Entre 501 y 1,000	46-X	mini	300	10	1625	10	550	7	70	NA	NA
	Between 1,001 and 2,000 / Entre 1.001 y 2.000	46-X	mini	300	10	2025	10	650	8	80	NA	NA
	Between 2,001 and 3,000 / Entre 2.001 y 3.000	46-X	mini	300	10	2400	11	750	8	80	NA	NA
Between 3,001 and 4,000 / Entre 3.001 y 4.000	46-X	mini	300	12	2800	13	850	8	80	NA	NA	
Between 4,001 and 5,000	46-X	mini	300	12	3200	14	950	8	80	NA	NA	
CT1206ALN-F or SMT1206-ALN	Less than 500 / menos de 500	S-X	super-mini	100	10	350	10	300	4	40	5	200
	Between 501 and 2,000 / entre 501 y 2,000	S-X	super-mini	100	10	400	10	330	4	40	5	250
	Between 2,001 and 4,000 / entre 2.001 y 4,000	S-X	super-mini	100	10	480	12	360	4	40	6	280
	Between 4,001 and 6,000 / entre 4.001 y 6,000	S-X	super-mini	100	10	550	15	450	5	50	NA	NA
	Between 6,001 and 8,000 / entre 6.001 y 8,000	S-X	super-mini	100	10	600	18	500	5	50	NA	NA
SMT1206F - ALNF	Less than 500 / menos de 500	S-X	super-mini	100	10	350	10	300	4	40	5	200
	Between 501 and 2,000 / entre 501 y 2,000	S-X	super-mini	100	10	400	10	330	4	40	5	250
	Between 2,001 and 4,000 / entre 2.001 y 4,000	S-X	super-mini	100	10	480	12	360	4	40	5	280
	Between 4,001 and 6,000 / entre 4.001 y 6,000	S-X	super-mini	100	10	550	15	450	5	50	NA	NA
	Between 6,001 and 8,000 / entre 6.001 y 8,000	S-X	super-mini	100	10	600	18	500	5	50	NA	NA
TS02-WAS	Less than 500 / menos de 500	S-X	super-mini	100	10	350	10	300	4	40	5	200
	Between 501 and 2,000 / entre 501 y 2,000	S-X	super-mini	100	10	400	10	330	4	40	5	250
	Between 2,001 and 4,000 / entre 2.001 y 4,000	S-X	super-mini	100	10	480	12	360	4	40	5	280
	Between 4,001 and 6,000 / entre 4.001 y 6,000	S-X	super-mini	100	10	550	15	450	5			