

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Carrera de Ingeniería Mecatrónica**



**Diseño e implementación del prototipo Ensambladora Luer-Cap**

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

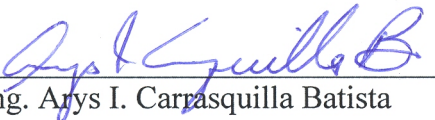
**Luis Ricardo Fernández Gamboa**

**Cartago, Noviembre de 2015**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

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.


Miembros del Tribunal



---

Ing. Arys I. Carrasquilla Batista

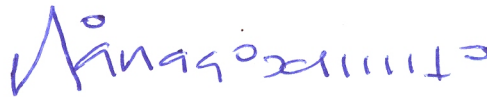
Profesor lector



---

Ing. Jaime A. Mora Meléndez

Profesor lector



---

Ing. Ignacio del Valle Granados

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, Noviembre 2015

## Declaratoria 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 2015



Luis Ricardo Fernández Gamboa

Céd: 1-1487-0369

## Resumen

El siguiente documento describe el proceso de diseño e implementación de un prototipo para el armado de los subensambles tapa-conector de manera automática. El proyecto se realizó en la planta de manufactura de la empresa Baxter Productos Médicos, donde se producen sets de intravenosa que utilizan el subensamble mencionado. Este proyecto surgió como una oportunidad de mejora del proceso de armado actual, en el que los subensambles se producen de manera manual a un costo elevado.

El proyecto se dividió en dos áreas, un sistema de alimentación para los componentes Luer Lock y Vented Cap, y un sistema de ensamble que une estos componentes para formar el subensamble tapa-conector.

Durante el desarrollo del proyecto se diseñó y se construyó el prototipo utilizando principalmente, partes impresas en 3D y componentes disponibles en la planta. Una vez construido el prototipo, se realizaron pruebas de funcionamiento con las que se detectaron las fortalezas y debilidades del diseño. Finalmente se utilizaron los resultados obtenidos para generar recomendaciones sobre la automatización del proceso en cuestión.

**Palabras clave:** automatización, prototipo, ensamble, alimentación, impresión 3D, luer.

## Abstract

The following document describes the design and implementation process of a prototype used in the automatic assembly of the *tapa-conector* subassembly. The project was conducted in the Baxter Productos Médicos manufacturing plant, where intravenous sets are produced using the aforementioned subassembly. This project arises as an opportunity to improve the current assembly process, in which the subassemblies are produced manually.

The project was divided in two main areas, a feeder system for the Luer Lock and Vented Cap components, and an assembly system which joins this components to make the *tapa-conector* subassembly.

During the development of the project, the prototype was designed and constructed using primarily 3D printed parts and components found within the plant. Once the prototype was finished, functionality tests were performed to detect the designs strengths and weaknesses. Finally, several recommendations were made regarding the automation of the process in question using the tests results.

**Key words:** automation, prototype, assembly, feeder, 3D printing, luer lock.

## Dedicatoria

Les dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida, mi familia. A mi madre Luisa, tu amor y cariño me han convertido en la persona que soy hoy, a mi padre Ricardo, siempre has sido mi modelo a seguir de una persona íntegra y trabajadora, hacerte sentir orgulloso siempre ha sido una de mis metas, y a mi hermana Jazmín, me recuerdas que tengo un hogar y una familia a la cual volver y mantienes mis pies en la tierra.

Este trabajo es para ustedes.

## Agradecimientos

A mi familia, que me dio todo el apoyo del mundo.

A mis amigos, que son muchos para mencionar por nombre, pero todos en su manera me mantuvieron motivado a seguir adelante y no darme por vencido.

A mi profesor tutor Ignacio del Valle, que me guío mis pasos durante el desarrollo de este proyecto y a todos los profesores de la carrera que contribuyeron cada uno a mi formación como ingeniero.

Y al personal de Baxter, mi supervisor Esteban Camacho, que me abrió las puertas en la empresa y me dio rienda suelta para realizar mi trabajo, y a Randall Mena, Minor Campos y Luis Ramírez, que no solo me extendieron una mano cuando necesité ayuda sino que también me hicieron sentir bienvenidos en la empresa.

¡Muchas gracias!

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
ENTORNO DEL PROYECTO .....	1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	3
<i>Generalidades del problema</i> .....	3
<i>Síntesis del problema</i> .....	3
ENFOQUE DE LA SOLUCIÓN .....	4
<b>CAPÍTULO 2. OBJETIVOS. ....</b>	<b>5</b>
<i>Objetivo General</i> .....	5
<i>Objetivos específicos</i> .....	5
<b>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
AUTOMATIZACIÓN .....	6
ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICA .....	7
<i>Alimentadores vibratorios</i> .....	7
<i>Alimentadores mecánicos</i> .....	8
<i>Escapes</i> .....	9
IMPRESIÓN 3D.....	10
<i>Modelado por deposición fundida</i> .....	11
ACTUADORES.....	11
<i>Cilindros neumáticos</i> .....	12
<i>Motores paso a paso</i> .....	13
SENSORES .....	13
<i>Sensores inductivos</i> .....	13
<i>Sensores de fibra óptica</i> .....	14
<i>Controlador lógico programable</i> .....	15
<b>CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 5. REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>19</b>
LIMITACIONES DEL DISEÑO.....	19
REQUERIMIENTOS.....	20



ESPECIFICACIONES .....	20
<b>CAPÍTULO 6. DESARROLLO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>23</b>
GENERACIÓN DE CANDIDATOS .....	23
EVALUACIÓN DE CANDIDATOS .....	26
DISEÑO.....	26
<b>CAPÍTULO 7. DESARROLLO DEL SISTEMA DE ENSAMBLE .....</b>	<b>32</b>
<i>Módulo de transferencia.....</i>	<i>32</i>
MÓDULO DE ESCAPE .....	34
MÓDULO DE ORIENTACIÓN .....	36
MÓDULO DE EMPUJE.....	39
MÓDULO DE EXPULSIÓN .....	40
CALCULO DE TIEMPO DE ENSAMBLE .....	41
<b>CAPÍTULO 8. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>44</b>
ELECTROVÁLVULAS.....	44
DRIVES DE MOTORES PASO A PASO .....	45
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	45
DIAGRAMAS DE CONEXIÓN .....	47
<b>CAPÍTULO 9. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>49</b>
ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA .....	51
CABLEADO .....	55
<b>CAPÍTULO 10. PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO.....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO 11. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 12. ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD .....</b>	<b>66</b>
ANÁLISIS DE CALIDAD.....	66
ANÁLISIS DE COSTOS.....	69
<b>CAPÍTULO 13. CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 14. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA FINAL .....	72

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>74</b>
<b>APÉNDICE A.1 PLANOS DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>77</b>
<b>APÉNDICE A.2 DIAGRAMAS DE CONEXIÓN .....</b>	<b>87</b>
<b>APÉNDICE A.3 CÁLCULO DE ESPESOR PARA HERRAMIENTA DE EMPUJE .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO B.1 COTIZACIONES DE ALIMENTADORES VIBRATORIOS .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO B.2 COTIZACIÓN DE ACTUADOR GIRATORIO NEUMÁTICO .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO B.3 COTIZACIÓN DE PLC .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO B.4 PLANOS DE LOS COMPONENTES TAPA-CONECTOR .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO B.5 SISTEMA DE CODIFICACIÓN DE PARTES PEQUEÑAS .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO B.6 HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES UTILIZADOS.....</b>	<b>103</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.1</b> Muestra de set intravenosa código 2H7462. ....	<b>1</b>
<b>Figura 1.2</b> Subensamble tapa-conector. ....	<b>2</b>
<b>Figura 1.3</b> Diagrama de operaciones del código 2H7462.....	<b>2</b>
<b>Figura 1.4</b> Tipos de escape .....	<b>10</b>
<b>Figura 1.5</b> Diagrama del proceso FDM.....	<b>11</b>
<b>Figura 3.1</b> Partes de tazón vibratorio. ....	<b>8</b>
<b>Figura 3.2</b> Diagrama del alimentador Rotary-Centerboard Hopper .....	<b>9</b>
<b>Figura 3.3</b> Diagrama y simbología de pistones .....	<b>12</b>

<b>Figura 3.4</b>	Sensor de desplazamiento de fibra óptica basado en el concepto de reflexión. ....	14
<b>Figura 6.1</b>	Orientación proporcionada por el Sistema de Alimentación. ....	23
<b>Figura 6.2</b>	Diagrama de alimentador centerboard hopper. ....	24
<b>Figura 6.3</b>	Diagrama de alimentador de tubo oscilante. ....	25
<b>Figura 6.4</b>	Diagrama de alimentador de elevador. ....	25
<b>Figura 6.5</b>	Aspectos de diseño de alimentador por tubo oscilante. ....	27
<b>Figura 6.6</b>	Eficiencia del alimentador de tubo oscilante como función de la geometría de las partes alimentadas. ....	28
<b>Figura 6.7</b>	Despiece del sistema de alimentación. ....	30
<b>Figura 6.8</b>	Diseño inicial del sistema de alimentación. ....	30
<b>Figura 7.1</b>	Atascamiento de piezas en el canal de transferencia. ....	33
<b>Figura 7.2</b>	Anchos máximos de canal sin interferencia para la pieza Luer Lock. ...	33
<b>Figura 7.3</b>	Anchos máximos de canal sin interferencia para la pieza Vented cap..	34
<b>Figura 7.4</b>	Módulo de escape regulando el paso de piezas cilíndricas. ....	35
<b>Figura 7.5</b>	Funcionamiento del módulo de escape. ....	36
<b>Figura 7.6</b>	Orientación y posicionamiento de piezas debido al módulo de orientación. ....	36
<b>Figura 7.7</b>	Despiece del módulo de orientación. ....	37

<b>Figura 7.8</b>	Detección de orientación de las piezas Luer Lock.....	<b>38</b>
<b>Figura 7.9</b>	Detección de orientación de las piezas Vented Cap. ....	<b>39</b>
<b>Figura 7.10</b>	Montaje excéntrico del pistón del módulo de empuje. ....	<b>39</b>
<b>Figura 7.11</b>	Diseño de la herramienta de empuje. ....	<b>40</b>
<b>Figura 7.12</b>	Montaje del módulo de expulsión. ....	<b>41</b>
<b>Figura 7.13</b>	Distancia de caída de las piezas. ....	<b>42</b>
<b>Figura 8.1</b>	Esquema del sistema de control.....	<b>44</b>
<b>Figura 8.2</b>	Designación de sensores del prototipo. ....	<b>47</b>
<b>Figura 8.3</b>	Designación de actuadores del prototipo. ....	<b>48</b>
<b>Figura 9.1</b>	Lámina de montaje.....	<b>49</b>
<b>Figura 9.2</b>	Largo de los perfiles de aluminio. ....	<b>50</b>
<b>Figura 9.3</b>	Plano de construcción de la estructura de aluminio.....	<b>51</b>
<b>Figura 9.4</b>	Piezas impresas previas a ser tratadas. ....	<b>52</b>
<b>Figura 9.5</b>	Actuadores utilizados en el prototipo. ....	<b>52</b>
<b>Figura 9.6</b>	Ensamble del módulo de orientación y el módulo de escape. ....	<b>52</b>
<b>Figura 9.7</b>	Acople del motor paso a paso EMMS.....	<b>53</b>
<b>Figura 9.8</b>	Adición del módulo de empuje.....	<b>53</b>
<b>Figura 9.9</b>	Montado del sistema de ensamble. ....	<b>54</b>

<b>Figura 9.10</b>	Acople del sistema de alimentación. ....	<b>54</b>
<b>Figura 9.11</b>	Distribución de los componentes del sistema de control. ....	<b>55</b>
<b>Figura 9.12</b>	Montaje de los componentes del sistema de control.....	<b>56</b>
<b>Figura 9.13</b>	Cableado eléctrico en progreso. ....	<b>56</b>
<b>Figura 9.14</b>	Cableado eléctrico terminado. ....	<b>57</b>
<b>Figura 9.15</b>	Etiquetado de las conexiones de la salidas del PLC.....	<b>57</b>
<b>Figura 9.16</b>	Conexiones neumáticas a la salida de las electroválvulas.....	<b>58</b>
<b>Figura 9.17</b>	Conexiones neumáticas a la entrada de los actuadores. ....	<b>58</b>
<b>Figura 10.1</b>	Diagrama de flujo de la lógica de alimentación.....	<b>59</b>
<b>Figura 10.2</b>	Diagrama de flujo de la lógica de ensamble.....	<b>61</b>
<b>Figura 10.3</b>	Diagrama de flujo de la secuencia de ensamble .....	<b>62</b>
<b>Figura 11.1</b>	Montaje del pistón EZH en el módulo de escape.....	<b>64</b>
<b>Figura 12.1</b>	Gráfico de calidad de las muestras tapa-conector ensambladas manualmente.....	<b>67</b>
<b>Figura 12.2</b>	Gráfico de calidad de las muestras tapa-conector ensambladas automáticamente. ....	<b>68</b>
<b>Figura 12.3</b>	Gráfico de comparación de calidad de la muestras. ....	<b>68</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 6.1</b> Resultados de las mediciones de volumen relativo para la pieza Vented Cap. ....	28
---	----

<b>Tabla 7.1</b> Tiempo teórico para el armado de un subensamble tapa-conector .....	43
--	----

<b>Tabla 12.1</b> Costo de componentes utilizados en el prototipo. ....	69
---	----

## Capítulo 1. Introducción

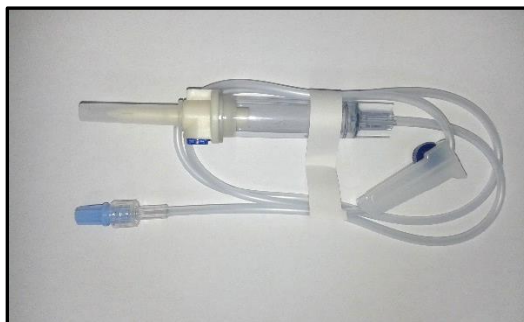
### Entorno del proyecto

El proyecto fue ejecutado en la planta de manufactura de la empresa Baxter Productos Médicos, ubicada en el Parque Industrial Z en Cartago. Esta planta se dedica principalmente a la manufactura de sets de intravenosa o sets IV por sus siglas en ingles. [1]

Los sets de intravenosa son dispositivos médicos utilizados principalmente para la administración de sustancias líquidas al sistema circulatorio de los pacientes. Aplicaciones comunes de los sets IV incluyen la transfusión de sangre, suministro de nutrientes y aplicación de soluciones médicas como suero o tratamientos de quimioterapia.

Uno de los aspectos de calidad más importantes que rigen la manufactura de los sets de intravenosa, independientemente de su aplicación, es que es de vital importancia asegurar que el producto esté libre de contaminantes como partículas, bacterias u hongos. Para garantizar esto Baxter manufactura sus productos dentro de cuartos limpios que se apegan a altos estándares de higiene y control de partículas.

Cuando un set IV es sacado de su paquete hermético, es necesario que este se mantenga esterilizado hasta el momento en el que es aplicado al paciente. Es por esto que tanto las espigas que son insertadas en los contenedores con el líquido a transferir como los conectores que se acoplan a la vía insertada en el paciente, son cubiertos con tapas que impiden el ingreso de partículas no deseadas al set.



*Figura 1.1 Muestra de set intravenosa código 2H7462.*

Entre los diferentes productos (códigos) que se fabrican en la planta de Cartago, 18 pasan por un operación de línea manual en la que se les agrega al set las siguientes partes rígidas de plástico moldeado: Un conector *Luer Lock* que permite la conexión del set IV con la vía del paciente; y una tapa *Vented Cap* la cuál cubre el conector para mantener el set libre de partículas.

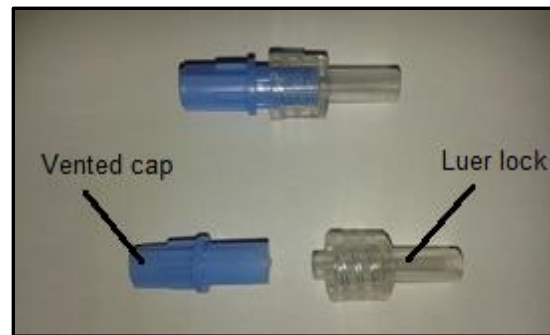


Figura 1.2 Subensamble tapa-conector.

La operación en la que estos componentes son agregados al set se conoce como operación tapa-conector y consiste en dos pasos. Primero se inserta la tapa *Vented Cap* dentro del conector *Luer Lock* creando así el subensamble tapa-conector, la junta que forma este subensamble es realizada a presión, sin la necesidad de aplicar torque. En el segundo paso, mediante la aplicación de solvente, el subensamble tapa-conector es unido al resto del set IV.

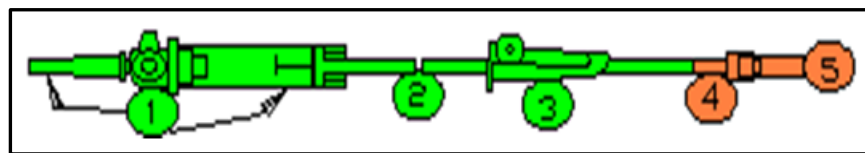


Figura 1.3 Diagrama de operaciones del código 2H7462. [2]

La Fig. 1.3 muestra el diagrama de operaciones de uno de los códigos de set IV que se produce en la planta de Cartago, en este caso la operación tapa-conector se encuentra de color naranja y se señalan con los números 5 y 4 los componentes tapa y conector respectivamente. En el caso de este código, la operación tapa-conector es la última del proceso de ensamble, siendo las operaciones de empaque los siguientes procesos por los que pasan los sets.



## Definición del problema

### Generalidades del problema

Baxter invierte alrededor de setenta mil horas hombre anualmente en la operación manual descrita anteriormente, esto equivale a una suma de alrededor de \$370,000 anuales. Esta cantidad de labor humana es necesaria debido al gran volumen de producción de los códigos que utilizan el subensamble tapa-conector, el cual se estima para el 2015 ser un total de 7 millones de unidades.

En una jornada típica de trabajo hay generalmente 6 personas (asociados de línea) trabajando únicamente en la operación tapa-conector, aunque dependiendo del volumen de producción del código en cuestión, este número puede variar a 4 u 8 personas.

En la planta existe una necesidad de mejorar toda clase de procesos para reducir costos debido a una política regional de cultura *lean*, y a causa del alto costo relacionado con la operación conector-tapa, esta operación surge como un candidato para la implementación de mejoras.

El proyecto se llevó a cabo bajo el Departamento de Productos y Procesos (PyP), el cual se encarga de ejecutar toda clase de proyectos de sostenibilidad y mejora dentro de la planta, siendo la automatización una de sus áreas de enfoque. [3]

### Síntesis del problema

Reducir el costos económicos de la operación tapa-conector.

## Enfoque de la solución

La reducción de costos en la operación tapa-conector se puede alcanzar mediante la disminución de la labor manual que requiere la misma. Esto implica que las personas asignadas a esta operación podrán realizarla más rápido, disminuyendo la cantidad de asociados de línea necesarios para mantener el volumen de producción.

Al automatizar una parte del proceso, específicamente el armado del subensamble tapa-conector, los asociados de línea solo tendrán que aplicar solvente al tubo del set para unirlo al subensamble, resultando en una reducción directa de la labor manual de la operación.

Por lo que se propone el diseño e implementación del prototipo de una máquina que realice el subensamble tapa-conector de manera automática, para poder así analizar aspectos como el costo de implementación, la calidad de las unidades producidas y el ahorro esperado al implementar completamente una máquina para el armado de este subensamble.

## Capítulo 2. Objetivos.

### Objetivo General

- Automatizar el proceso de armado del subensamble tapa-conector.

Entregable: Prototipo de máquina automática construido con componentes existentes en la planta.

Indicador: El prototipo es capaz de realizar el subensamble.

### Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de alimentación para las piezas Luer Lock y Vented Cap.

Entregables: Planos de diseño. Lista de materiales.

- Diseñar un sistema de ensamble para el subensamble tapa-conector.

Entregables: Planos de diseño. Lista de materiales.

- Analizar los indicadores de productividad del prototipo.

Entregables: Análisis de costos y análisis de calidad.

## Capítulo 3. Marco Teórico

### Automatización

En la actualidad la automatización juega un papel importante en la industria de la manufactura. Máquinas controladas por computadoras maquinan piezas complejas, componentes electrónicos son instalados automáticamente en tarjetas de circuitos, y partes son posicionadas, ensambladas e inspeccionadas durante la creación de ensamblajes sin ser tocados por manos humanas. [4]

Aunque es cierto que la mayoría de negocios automatizan principalmente para reducir costos, el verdadero objetivo de esta inversión no es solo ahorrar dinero, sino *hacer* dinero. Cuando se compara con las operaciones de ensamblaje manual, los beneficios de la automatización incluyen los siguientes: [4]

- Reducción de costo de unidades.
- Alta calidad consistente.
- Eliminación de operaciones manuales peligrosas.
- Incremento de la capacidad de producción.

Una de las claves de la automatización es que parte del diseño debe ser compatible con las necesidades de la alimentación automática. [4] Las partes de los ensambles son introducidas en las máquinas de ensamblaje en masa, ya que si fuese necesario que un operario los esté cargando constantemente de manera manual, se perdería el propósito de la automatización.

## Alimentación automática

Los procesos de ensamblaje requieren la presencia de las piezas correctas, en el lugar correcto y en cantidades apropiadas; sin las cuales una línea de producción puede detenerse. Para cumplir este objetivo se utilizan alimentadores de piezas automáticos. [5]

Los alimentadores de piezas son dispositivos críticos utilizados en la automatización de manufactura ya que proveen piezas a las distintas celdas de ensamblaje. Estos alimentadores se encargan de eliminar la aleatoriedad causada por el cargado de piezas en masa al proveer piezas de manera discreta, con una orientación específica y a una tasa definida. [5]

Definir los parámetros del sistema de alimentación desde la fase de diseño juega un papel vital en la eficiencia de un sistema de manufactura y en el éxito de su automatización.

En ocasiones es sugerido que los alimentadores de partes actúen también como dispositivos de inspección, rechazando piezas que no se ajustan al alimentador. Esta puede ser una característica importante ya que el alimentar una máquina de ensamble con piezas defectuosas o erróneas puede causar daños en la misma y causar un paro en la línea de producción. [6]

## Alimentadores vibratorios

La vibración ha sido usada por muchas industrias para la separación y el transporte de partes, en el caso del ensamblaje automático, estos objetivos se han cumplido para partes mecánicas pequeñas mediante la utilización de tazones vibratorios. [7]

Los tazones vibratorios son los dispositivos de alimentación más ampliamente utilizados y más robustos. [6] Estos dispositivos de alimentación tienen dos partes principales, una base generadora de vibración y un tazón montado a esta base mediante resortes de lámina como se muestra en la Fig. 3.1. La vibración generada mueve los componentes a lo largo de la pared exterior del tazón, subiéndolos en espiral a través del canal. [7]

Cuando las partes llegan al final del canal, estas pueden venir en una de las distintas orientaciones estables de la pieza, por lo que al canal del tazón se le agregan distintos dispositivos de orientación que hacen que las piezas en las orientaciones no deseadas caigan de vuelta al tazón. [7]

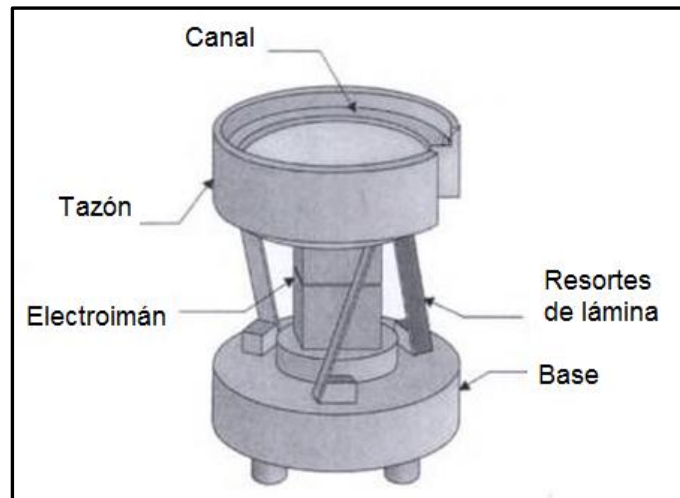


Figura 3.1 Partes de tazón vibratorio. [7]

Estos alimentadores no están diseñados para ser fácilmente utilizados para la alimentación de partes nuevas. Típicamente, un cambio de parte a alimentar requiere un reemplazo del tazón, del canal de orientación y del escape, lo que contribuye aproximadamente a un 70% del costo total del sistema de alimentación. [8]

## Alimentadores mecánicos

Los alimentadores mecánicos a diferencia de los vibratorios utilizan principalmente la gravedad como el método de transporte de piezas. Usualmente este tipo de alimentadores son adecuados para alimentar solo ciertos tipos de partes básicas, pero se pueden obtener mejores resultados con un capital menor que al utilizar alimentadores vibratorios. [6]

Los alimentadores mecánicos cuentan con rieles o nidos móviles que entran al área de almacenamiento en masa y salen con un número de piezas en una orientación específica, luego estas piezas se descargan en canales fijos por medio de gravedad. La orientación de

las piezas se debe a que las partes mecánicas móviles del alimentador tienen una geometría tal que solo permiten el transporte de piezas en una orientación específica. [9]

Un ejemplo de alimentador mecánico es el que se muestra en la Fig. 3.2, este alimentador cuenta con una rueda con múltiples álabes que pasan por encima de un surco en el fondo de una tova. Las dimensiones del surco tienen dimensiones tales que solo partes con la orientación adecuada pueden pasar a través de él. La rotación de la rueda agita las piezas de manera que las que no llevan la orientación correcta son apartadas del surco para dejar pasar las piezas que si llevan la orientación deseada. [6]

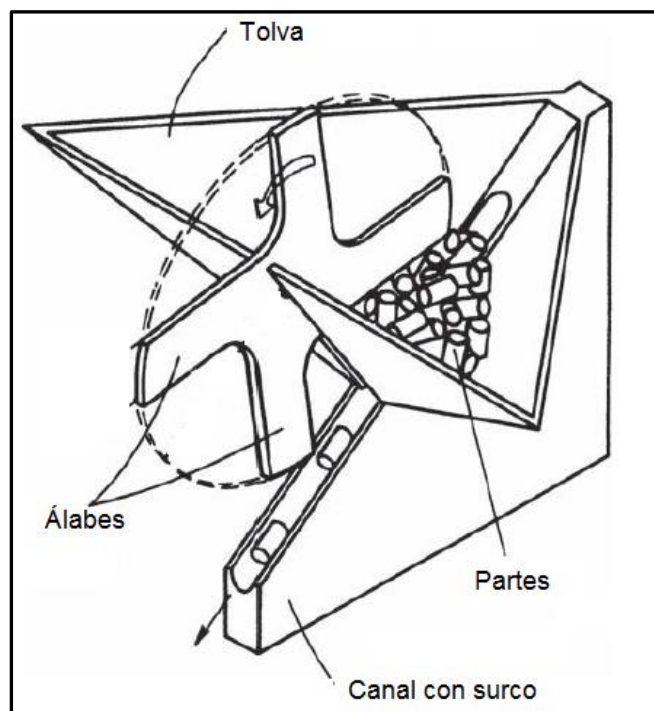


Figura 3.2 Diagrama del alimentador Rotary-Centerboard Hopper. [6]

## Escapes

Cuando las partes llegan al final de un canal de alimentación estas deben ser presentadas al ensamblador ya sea automático o humano, para que este las manipule individualmente en las cantidades necesarias y en el instante necesario. Para este objetivo existen los mecanismos llamados escapes. Los dos escapes comúnmente usados en la industria son el escape de trinquete y el escape deslizador que se muestran en la Fig. 3.2. [7]

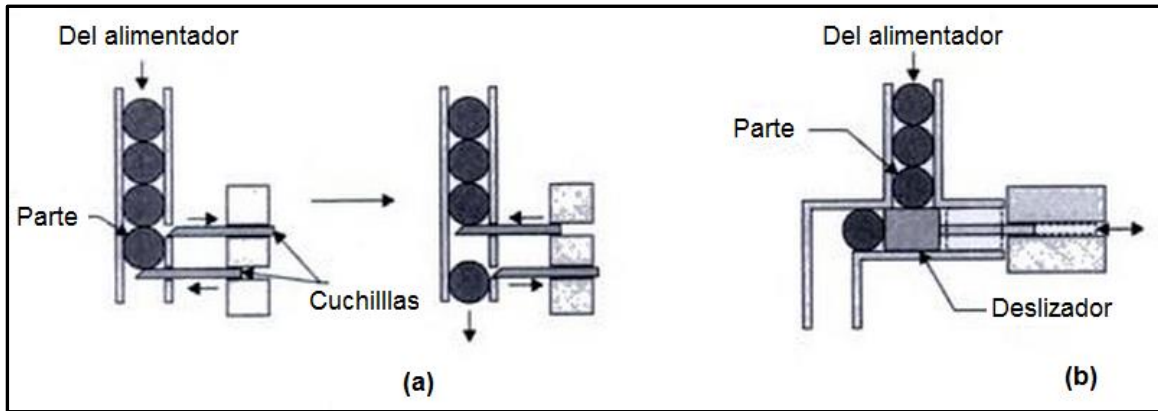


Figura 1.4 Tipos de escape. (a) Escape de trinquete; (b) escape deslizador. [7]

El escape de trinquete utiliza dos cuchillas que se accionan alternativamente, la cuchilla inferior permite el paso de una o varias partes mientras que la cuchilla superior detiene el paso del resto de las partes. Por otra parte el escape deslizador utiliza un separador deslizador que separa y redirecciona el paso de las piezas. [7]

## Impresión 3D

Uno de los procesos más importantes de manufactura es el maquinado. Este es un proceso en el que se usa una herramienta de corte para remover material (comúnmente metal) de una parte base, de manera que el material resultante tiene la forma de la parte deseada. [10] Este tipo de proceso genera desperdicio de material en la forma de viruta y se clasifica como un proceso de manufactura sustractivo.

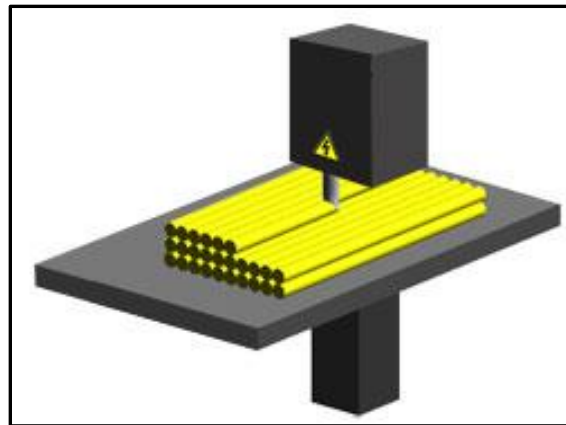
Alternativamente, la impresión 3D es una tipo de manufactura aditiva en el que un objeto tridimensional es creado al agregar capas sucesivas de material. Las impresoras 3D son generalmente más rápidas, producen piezas a un menor costo y son más fáciles de usar que otras tecnologías de manufactura. [11]

Debido a las características mencionadas anteriormente, el uso de la tecnología de impresión 3D reduce el tiempo y costo de desarrollo de nuevos dispositivos al permitir una rápida iteración de prototipos con los que se puede validar y ajustar la de forma y función del diseño final.



## Modelado por deposición fundida

El modelado por deposición fundida o FDM por sus siglas en inglés, es uno de los tipos de impresión 3D existentes en el mercado. En este proceso los objetos son producidos al extrudir un filamento termoplástico o metálico a través de una boquilla que derrite el material, este material es depositado formando delgadas líneas que se solidifican inmediatamente y forman las capas del objeto. [12]



*Figura 1.5 Diagrama del proceso FDM. [13]*

El proceso FDM es utilizado para producir productos o prototipos fuertes, con geometrías complejas pero con acabados superficiales de baja calidad. A diferencia de otros procesos, la deposición fundida no requiere de un curado posterior a la impresión, pero si requiere de estructuras de soporte cuando se imprimen objetos con superficies en voladizo. [12]

## Actuadores

En un sistema se denominan como actuadores los dispositivos controladores o controlados que generan una acción (movimiento, calor, luz, sonido, etc.) al recibir una orden o una información. Ejemplos de actuadores son los siguientes: [14]

- Luces indicadoras
- Motores eléctricos o neumáticos

- Electroválvulas
- Pistones neumáticos o hidráulicos

La información que reciben los actuadores en sus entradas requiere relativamente poca potencia (energía) para ser transmitida, esta información es decodificada y/o amplificada por el dispositivo, el cual ejerce la acción consumiendo una potencia mayor. [14]

## Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos son actuadores que transforman la energía potencial del aire comprimido en trabajo mecánico en la forma de un movimiento lineal. Este actuador consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que se desliza y transmite movimiento al exterior mediante un vástago. [15]

Los cilindros pueden ser de doble efecto, en los que aire a presión entra por la cámara trasera y al llenarla hace avanzar el pistón, este a su vez comprime el aire de la cámara delantera que se escapa al exterior. En la carrera inversa del cilindro, se invierte el flujo de aire y el vástago del pistón se mueve en la dirección opuesta. [16]

Existen también pistones de efecto simple que funcionan de manera similar a los de doble efecto, con la excepción de que en su carrera inversa el pistón se mueve gracias a la ayuda de un resorte. Ver Fig. 3.3. [16]

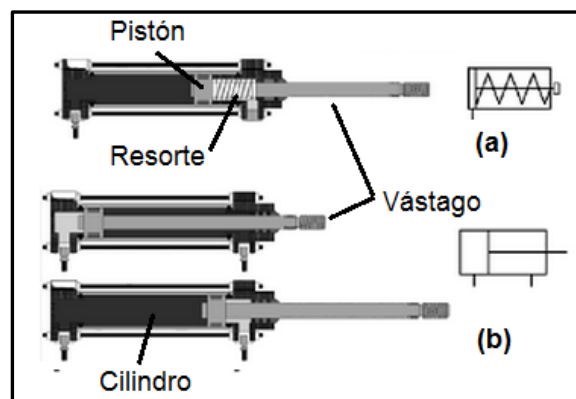


Figura 3.3 Diagrama y simbología de pistones: (a) de efecto simple; (b) de doble efecto. [16]

## Motores paso a paso

Un motor paso a paso es un motor DC cuyo rotor gira en incrementos angulares discretos debido a la interacción entre de los polos del rotor con los polos del estator, los cuales son secuencialmente energizados. Se puede considerar como un actuador digital cuya entrada es una energización programada del bobinado en el estator y cuya salida una rotación angular discreta. [17]

El ángulo de paso ( $\theta_s$ ) es la característica del motor que dicta cuantos grados gira el rotor por cada paso de la secuencia de energización, los pasos por revolución ( $Z$ ) son dados por la siguiente ecuación: [17]

$$Z = 360^\circ/\theta_s \quad (3.1)$$

Otra característica importante de los motores paso a paso es su precisión, la cuál es normalmente  $\pm 5\%$ . Cabe resaltar que el error de posicionamiento debido a la precisión no es un error acumulativo. El error de posicionamiento luego de  $N$  pasos o luego de un solo paso es el mismo  $\pm 5\%$  de  $\theta_s$ . [17]

## Sensores

Un sensor es definido como un dispositivo que recibe un estímulo y responde con una señal eléctrica. Este estímulo es la medición de una propiedad física, ya sea distancia, temperatura, luminosidad, fuerza, etc. [18]

Los sensores se pueden considerar como traductores de valores no eléctricos a valores eléctricos, estas señales eléctricas traducidas pueden ser transmitidas, amplificadas y modificadas por dispositivos electrónicos. [18]

### Sensores inductivos

Los sensores inductivos son sensores de proximidad usados para detectar pequeños desplazamientos de materiales, estos sensores cuentan con una bobina que al ser energizada crea un campo electromagnético. Cuando un objeto ferroso se mueve en la vecindad de la

bobina el campo electromagnético es afectado, lo que a su vez altera la inductancia de la bobina y permite medir la distancia del objeto a esta. [18]

Una ventaja de estos sensores es que son dispositivos de no contacto, por lo que la interacción con el objeto a detectar solo se da a través del campo electromagnético. Una obvia desventaja es que solo son útiles para detectar objeto ferromagnéticos. [18]

Los sensores inductivos son comúnmente utilizados para la detección de desplazamiento de los pistones en los cilindros neumáticos. Los sensores son acoplados a los extremos del cilindro permitiendo detectar cuando el vástago ha llegado a ciertos puntos en su carrera.

### Sensores de fibra óptica

La fibra óptica, en su forma más simple, consiste en una estructura cilíndrica simétrica con un núcleo central de un índice de refracción uniforme, rodeado por un revestimiento con un índice de refracción ligeramente menor. Esta configuración permite que la luz que entra a la fibra quede atrapada en el núcleo, rebotando contra las paredes del revestimiento y propagándose así desde un extremo de la fibra hasta el otro. [19]

La fibra óptica en sensores de desplazamiento es útil para aplicaciones industriales, militares y médicas. La principal ventaja de estos sensores es que tienen precisión mayor que los sensores de desplazamiento convencionales. [19]

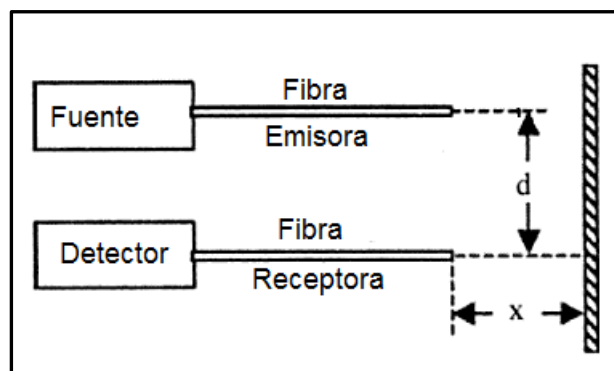


Figura 3.4 Sensor de desplazamiento de fibra óptica basado en el concepto de reflexión. [19]

En la Fig. 3.4 se puede observar el funcionamiento de un sensor de fibra óptica utilizando el concepto de reflexión. Primero la luz sale de la fibra emisora e incide en el objeto a detectar, luego la fibra receptora recolecta una fracción de la luz reflejada y esta es transmitida al detector. Si la distancia entre el objeto y la fibra se incrementa, la cantidad de luz que es recolectada cambia y al medir estos cambios se puede determinar la distancia del objeto. [19]

## Controlador lógico programable

También conocidos como PLC, los controladores lógicos programables son dispositivos industriales con hardware estándar independiente del proceso a controlar. Estos se adaptan al proceso mediante un programa (software) escrito en algún lenguaje de programación en el que se describen la secuencia de operaciones a realizar. [20] Esta versatilidad de adaptarse al proceso a controlar provee el beneficio de que un cambio en el proceso no necesariamente requiere una modificación de las conexiones físicas del sistema sino que es posible reprogramar el PLC con un menor costo económico.

Estos dispositivos cuentan con una Unidad Central de Procesamiento (CPU) la cuál ejecuta el programa almacenado en memoria y actúa sobre el proceso a controlar mediante la comunicación con una interfaz de entradas y salidas (E/S). [20]

El PLC gobierna sus señales de salida mediante el programa de control y dependiendo del estado de las señales de entrada. Ejemplos de señales de entrada son señales digitales o analógicas que envían los elementos indicadores o sensores del proceso, mientras que las señales de salida son las que se envían a los actuadores del proceso. [20]

Estos controladores se pueden encontrar en una versión modular, en la que el CPU, los módulos E/S, y la fuente de alimentación son todos dispositivos separados que se conectan para conformar el PLC. Esta característica modular ofrece la ventaja de configurar el PLC con los módulos necesarios para la aplicación.

Por otra parte existen versiones compactas de PLC en la que los diferentes componentes previamente mencionados, se encuentran todos integrados en un solo

dispositivo, por lo que generalmente son más pequeños y tienen un menor costo. Estos controladores son utilizados para aplicaciones de menor exigencia que en las que se utiliza un PLC modular.

## Capítulo 4. Marco metodológico

Se inició el desarrollo del proyecto con una investigación de los distintos métodos de sistemas de alimentación de piezas utilizadas por máquinas automáticas ya implementadas en la industria. De esta investigación se seleccionó un sistema de alimentación adecuado para el prototipo a desarrollar, tomando en cuenta aspectos como tiempo y costo de implementación así como el espacio disponible.

En paralelo a esta investigación, se realizó un exhaustivo reconocimiento de componentes (actuadores, sensores y controladores) disponibles para ser utilizados en el desarrollo del prototipo. Se obtuvo acceso tanto a los componentes del taller de proyectos de PyP como a la bodega de la planta y se seleccionaron los componentes que mejor se ajustaron a los requerimientos del proyecto.

Durante el desarrollo del prototipo se empleó un diseño modular en el que los diferentes mecanismos de la máquina fueron probados, primero por separado y luego en conjunto. Las pruebas se realizaron con piezas rápidas impresas en 3D y los componentes seleccionados anteriormente, y permitieron analizar diferentes propuestas de soluciones y definir así el diseño general de la máquina a implementar.

Se utilizó la versión académica del software SolidWorks para modelar las distintas piezas estructurales no estandarizadas que se utilizaron en el diseño final del prototipo. Estas piezas se manufacturaron igualmente usando la tecnología 3D, pero a diferencia de las utilizadas para las pruebas, estas fueron impresas con un mejor acabado superficial y una rigidez estructural más alta.

Con los componentes seleccionados se diseñó el sistema neumático y eléctrico el para control y funcionamiento del prototipo. Se cotizó y se realizó la requisición para la compra de un controlador apropiado. Utilizando el software AutoCAD se dibujaron los diagramas de conexión eléctricos y neumáticos necesarios para la construcción de la máquina.

Se coordinó además con el taller de precisión, el maquinado de componentes estructurales para el montaje del prototipo. Una vez obtenidos estos se realizó la

construcción del prototipo con las piezas previamente impresas, se realizó el montaje de los actuadores y sensores y se realizaron todas las conexiones eléctricas y neumáticas según los diagramas dibujados.

Con la parte física del prototipo terminada, se inició el proceso de programado del controlador utilizando el software CX-One en paralelo con pruebas de funcionamiento. Se llevó a cabo un proceso de depuración, en el cuál se solucionaron tanto problemas con el software como con el hardware.

Una vez concluida la implementación del prototipo, se realizaron las pruebas necesarias para analizar los índices de productividad, con lo que se dio conclusión al proyecto.



## Capítulo 5. Requerimientos y especificaciones del prototipo

### Limitaciones del diseño

Debido al tiempo disponible y al alcance del proyecto, se decidieron de antemano dos aspectos importantes del diseño del prototipo.

Primero, todas las piezas mecánicas no estandarizadas fueron diseñadas con el propósito de manufacturarse mediante el método de impresión 3D, específicamente por el proceso de modelado por deposición fundida.

El modelo de la impresora utilizado es el CubePro, este tiene un tamaño de impresión máximo de 57.8 x 59.1 x 57.8 cm y una tolerancia de impresión de  $\pm 0.2$  mm [21]. Estas especificaciones de la impresora se tomaron en cuenta para el diseño de las piezas.

La ventaja de utilizar el método de impresión 3D para la elaboración de las piezas del prototipo es que estas tardaron mucho menos que si hubiesen sido maquinadas por métodos convencionales como tornos o fresadoras. Aunque la planta de Baxter cuenta con un taller de precisión con la capacidad de maquinar las piezas requeridas para el proyecto, este taller no supe directamente el Departamento de Productos y Procesos sino que trabaja para el Departamento de Ingeniería; lo que resulta en tiempo de espera prolongados debido a la baja prioridad de las ordenes de trabajo propuestas por PyP.

La segunda decisión crucial es que solo se utilizó, en cuanto medida fue posible, componentes existentes en el taller y bodega del departamento de PyP. Esta restricción se empleó con el objetivo de evitar los tiempos de espera debido al proceso y entrega de las ordenes de compra. La desventaja de esta medida es que el diseño se debió desarrollar alrededor de los componentes disponibles, circunvalando sus limitaciones y acoplándose a las dimensiones y especificaciones de estos.

## Requerimientos

- El prototipo debe ser capaz de ensamblar los componentes del subensamble tapa-conector de manera automática.
- El prototipo debe ser capaz de contener los componentes del subensamble tapa-conector.
- El prototipo debe ser capaz recibir los componentes del subensamble tapa-conector en masa.
- El prototipo debe contar con un método de arranque y un método de paro.
- El prototipo debe caber en un espacio reducido.
- El prototipo debe ser capaz de abastecer la demanda de al menos media línea de producción.
- El prototipo debe ser capaz de producir subensambles tapa-conector con una calidad constante.

## Especificaciones

- El prototipo poseerá un área no mayor a 55 cm x 55 cm.
- El prototipo almacenará al menos 100 unidades de Luer Lock y Vented Cap.
- El prototipo producirá subensambles tapa conector a una tasa mínima de 40 piezas por minuto (ppm).
- El prototipo producirá subensambles tapa-conector con una longitud total no mayor a 37 mm.

Idealmente la máquina que está siendo prototipada debe ser montada junto a la línea de producción en un espacio similar al que ocupa un asociado de línea. Se determinó que un área máxima de 55 cm x 55 cm cumple esta limitante de espacio.

*Tabla 15.1 Demanda máxima de subensambles tapa conector permitida por los distintos códigos.*

<b>Código</b>	<b>Piezas por minuto</b>
2H7462	46.27
AR2C1103	28.68
2C6227	40.29
1C8109	46.27
2C6226	40.29
2H8603	28.68
2H7463	40.29
2C1103	28.68
2H8490	46.27
2H7451	40.29

Los resultados de la Tabla 15.1 se obtuvieron al analizar la demanda máxima teórica de subensambles tapa-conector que la configuración actual de asociados de línea puede satisfacer para los distintos códigos.

Cada línea de producción está dividida en dos partes iguales, con la misma cantidad de personas asignadas a cada lado de la línea realizando la misma operación. Ya que la máquina para la que se está desarrollando el prototipo debe ser montado a un lado de línea, se necesitarían de dos máquinas para mantener la línea balanceada. Esto significa que al utilizar 40 ppm por minuto como la tasa meta para el prototipo, se estaría sobredimensionando la capacidad de esta a alrededor del doble de la necesaria.

Se escogió además un almacenamiento mínimo de 100 piezas para permitir la medición la tasa de salida de la máquina cuando esta opera por un periodo de tiempo prolongado sin ser cargada, además de que la cifra permite escalar fácilmente los resultados obtenidos.

Por último, se determinó que de acuerdo a los planos de las piezas Luer Lock y Vented Cap (Anexo B.4), la longitud total del subensamble es de  $1.425 \pm 0.015$  in, lo que equivale a

$36.20 \pm 0.38$  mm, por lo que se definió que los subensambles producidos por el prototipo no deben tener una longitud mayor a 37 mm.

## Capítulo 6. Desarrollo del Sistema de Alimentación

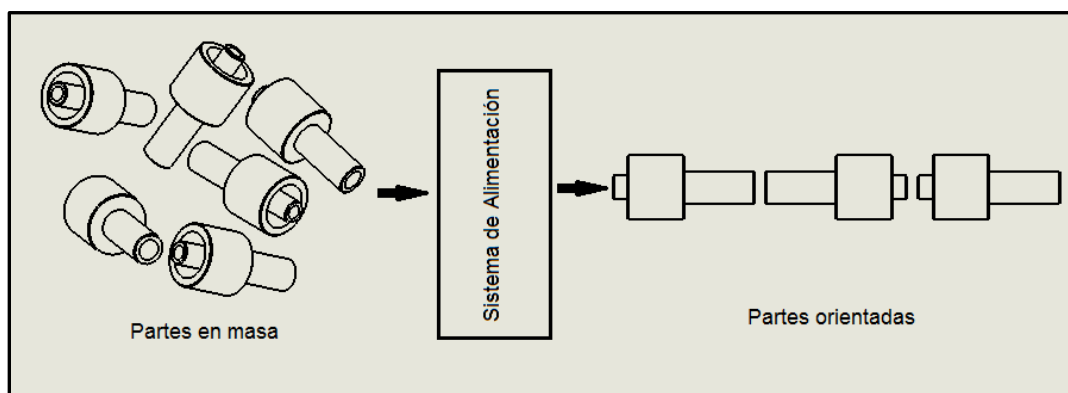
Ya que el propósito de la máquina a diseñar fue el ensamblado de dos piezas de manera automática, resultó imperativo que las piezas a ensamblar pudiesen ser cargadas en masa dentro de la máquina con tan poca interacción humana como fuese posible.

Una investigación sobre los tipos de alimentadores automáticos utilizados en la industria demostró que los tazones vibratorios son los alimentadores comúnmente elegidos para alimentar piezas pequeñas como los del subensamble tapa-conector.

Se realizaron distintas cotizaciones de sistemas de alimentación vibratorios a empresas como Sikora Automation y VTR, pero debido a los altos precios y largos tiempos de entrega se decidió buscar soluciones alternativas al problema de alimentación de piezas. Algunas de las cotizaciones obtenidas se pueden observar en el Anexo B.1.

### Generación de candidatos

Con el objetivo de simplificar el diseño del sistema de alimentación se decidió que la orientación de las piezas proporcionada por este sería solo una orientación inicial, siendo la orientación final de las piezas proporcionada por el sistema de ensamble. La orientación deseada a la salida del sistema de alimentación sería con las piezas orientadas cara a cara, con su eje longitudinal alineado a la dirección de salida como se muestra en la Fig. 6.1.



*Figura 6.1 Orientación proporcionada por el Sistema de Alimentación.*

Se utilizó el sistema *Coding System for Small Parts for Automatic Handling* [6] para determinar el código de las piezas Luer Lock y Vented Cap. Resultó que para la orientación inicial deseada, ambas piezas tienen código No. 200, este código se utilizó como referencia para buscar sistemas de alimentación adecuados. Un abstracto del sistema de codificación utilizado se muestra en el Anexo B.5.

Ya que no fue posible utilizar tazones vibratorios o pistas vibratorias fue necesario recurrir a los alimentadores mecánicos. Los siguientes candidatos para alimentar y orientar las piezas automáticamente son algunos de los que fueron evaluados:

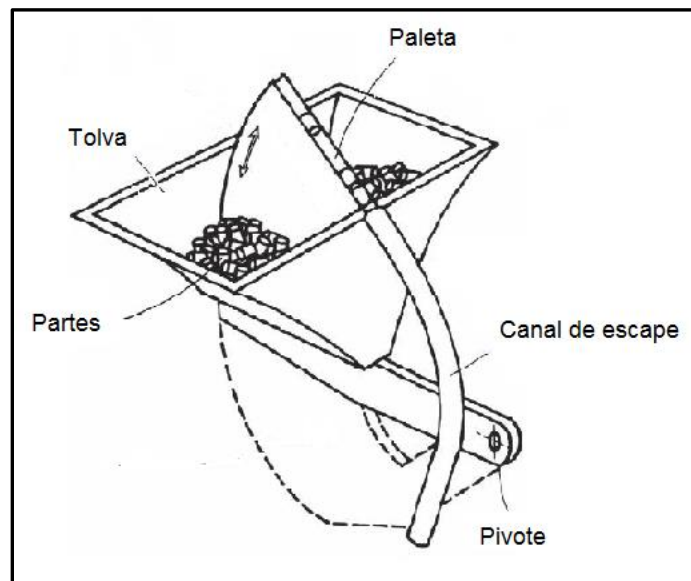


Figura 6.2 Diagrama de alimentador centerboard hopper. [6]

El candidato de la Fig. 6.2 consiste en una paleta que oscila alrededor de un punto de pivote, la paleta se sumerge en las partes dentro de la tolva y se eleva hasta un punto donde el canal de la paleta se alinea con el canal de escape. El canal de la paleta tiene una geometría que solo acepta las partes en la orientación deseada.

La Fig. 6.3 muestra un candidato que utiliza una tolva cónica. Esta cuenta con un tubo oscilante el cual se sumerge constantemente bajo el nivel de las partes, permitiendo que las partes con la orientación deseada se deslicen por este. Este tubo tiene una muesca en su boquilla para evitar que las partes se atasquen.

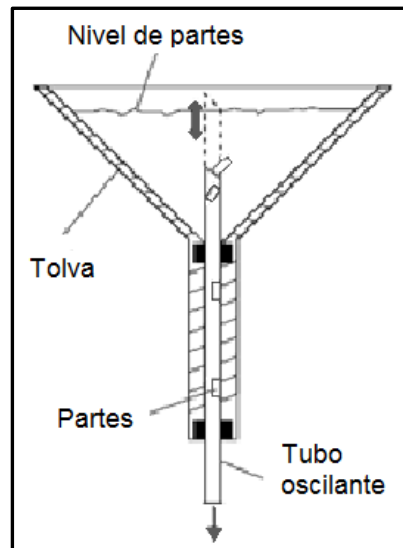


Figura 6.3 Diagrama de alimentador de tubo oscilante. [6]

El último candidato mostrado en la Fig. 6.4 consisten en una banda sin fin con repisas inclinadas que recogen partes de una tolva estacionaria. Las repisas tienen una geometría que solo acepta partes con la orientación deseada, estas partes son luego trasferidas al canal de escape situado en una posición más elevada que el de la tolva.

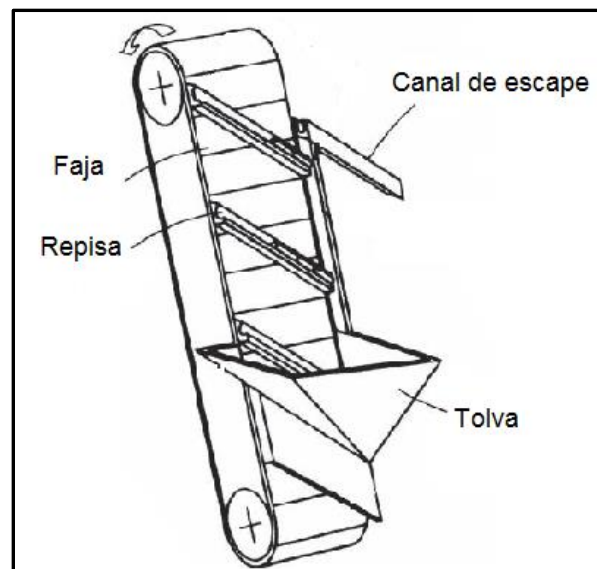


Figura 6.4 Diagrama de alimentador de elevador. [6]

## Evaluación de candidatos

Los candidatos presentados en la sección anterior son diseños poco utilizados en la industria en comparación con los tazones vibratorios debido a que son diseños específicos para la geometría de las partes a alimentar, en este caso partes cilíndricas. Sin embargo, tomando en cuenta tanto el tiempo, costo y espacio que requiere implementar un sistema de alimentación vibratorio, estos candidatos son para el proyecto que se desarrolló.

Los tres candidatos tienen la capacidad de alimentar las piezas Luer Lock y Vented Cap y de orientarlas de la manera especificada ya que estas piezas tienen una geometría cilíndrica. En el caso del alimentador de elevador, se reconoció que para su implementación sería necesario un motor capaz de mover la banda, un variador de velocidad para controlar el motor y la banda misma. Este candidato se descartó debido a la imposibilidad de implementar este diseño utilizando los componentes disponibles.

Por otra parte se reconoció que tanto para el alimentador de tubo oscilante y como para el alimentador *centerboard hopper*, se tenían los actuadores necesarios para su implementación. Para el alimentar *centerboard hopper* se detectó el problema que si la paleta llega a la cúspide del arco de su movimiento a una velocidad muy elevada, es posible que las piezas sean lanzadas de la paleta en lugar de deslizarse por el canal.

Tomando en cuenta las razones anteriores se eligió el candidato de alimentador de tubo oscilante como la solución propuesta para el problema de alimentación automática de las piezas.

## Diseño

El diseño del alimentador por tubo oscilante se basó en la teoría de *Reciprocating tube feeders* del libro *Assembly Automation and Product Design*. [6] En la Fig. 6.5 se pueden observar las generalidades del diseño. A continuación se mostrará el proceso de diseño para el sistema de alimentación de las piezas Ventad Cap.



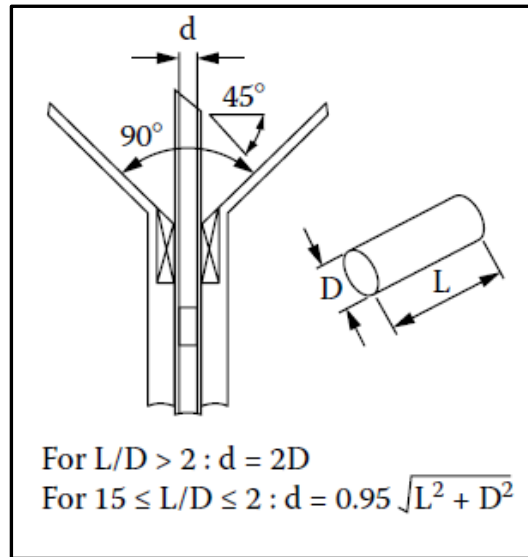


Figura 6.5 Aspectos de diseño de alimentador por tubo oscilante. [6]

Primero se calculó la relación  $L/D$  de las partes, en este caso para la pieza Vented Cap cuyas medidas se encuentran en el Anexo B.4.

$$\frac{L}{D} = \frac{22.86 \text{ mm}}{9.25 \text{ mm}} = 2.47 \quad (6.1)$$

Y debido a que la relación  $L/D$  es mayor a 2, el diámetro interno del tubo se calculó de la siguiente manera:

$$d = 2D = 2 * 9.25 \text{ mm} = 18.5 \text{ mm} \quad (6.2)$$

Seguidamente se calcularon las dimensiones de la tolva. Se inició determinando el volumen relativo de las piezas Vented Cap al dividir un volumen conocido entre el número de piezas que caben dentro de dicho volumen. La Tabla 6.1 muestra los resultados de estas mediciones.

Tabla 6.1 Resultados de las mediciones de volumen relativo para la pieza Vented Cap.

Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Piezas [unid]	Volumen Relativo [mm <sup>3</sup> ]
40455.8	17	2379.75
82198.83	39	2107.66
85382.47	45	1897.39
163467.24	77	2122.95
245920.98	125	1967.37
	<b>Promedio</b>	<b>2095.02</b>

Luego se multiplicó el volumen relativo por el número de piezas para el que se desea calcular el volumen total, en este caso se calculó que 100 piezas de Vented Cap ocuparían un espacio aproximado de 209,500 mm<sup>3</sup>. Al haber usado el volumen relativo para este cálculo, se aseguró que el resultado final tomara en cuenta el espacio vacío que existe entre las piezas cuando estas son almacenadas en masa.

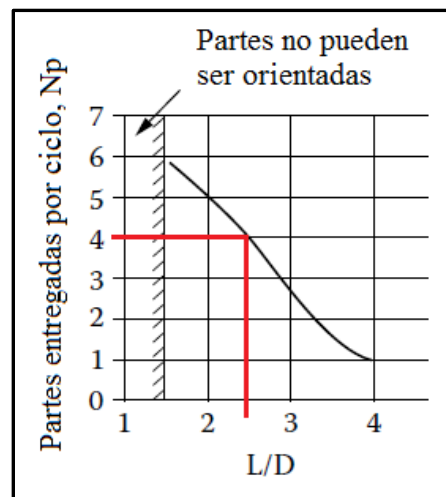


Figura 6.6 Eficiencia del alimentador de tubo oscilante como función de la geometría de las partes alimentadas. [6]

En la Fig. 6.6 se observa que para las piezas Vented Cap se puede esperar una entrega de 4 piezas por ciclo. Para oscilar el tubo de esta manera se eligió una deslizadera neumática modelo DGC con una carrera de 30 mm (Anexo B.6).

Debido a que la especificación del prototipo exige una tasa de salida de 40 piezas por minuto, fue necesario calcular si la deslizadera era capaz de oscilar el tubo lo suficientemente rápido para satisfacer la necesidad de alimentación del sistema.

Como 40 piezas por minuto equivalen a 0.667 piezas por segundo, se calculó la frecuencia de oscilación necesaria de la siguiente manera:

$$f = \frac{0.667 \text{ piezas/segundo}}{4 \text{ piezas/ciclo}} = 0.167 \text{ ciclo/s} \quad (6.3)$$

Ya que la amplitud total de un ciclo  $A$  equivale al doble de la carrera de la deslizadera, la velocidad necesaria por la deslizadera es la siguiente:

$$v = f * A = 0.167s^{-1}(2x30mm) = 10.02 \text{ mm/s} \quad (6.4)$$

La hoja de datos de la deslizadera muestra que el modelo utilizado tiene una velocidad máxima de 3000 mm/s, sin embargo esta es una velocidad máxima teórica en la que la deslizadera se encuentra sin carga, por lo que se realizaron pruebas en las que la deslizadera se montó en posición vertical y la velocidad máxima obtenida fue de 500 mm/s.

El resultado anterior se puede atribuir a que la velocidad máxima de 3000 mm/s aplica para deslizaderas de hasta 8500 mm de carrera como se especifica en su hoja de datos, por lo que al utilizar una deslizadera de tan solo 30 mm de carrera se puede concluir que esta no logra acelerar hasta la velocidad máxima especificada antes de llegar al tope su carrera.

De igual manera, según el resultado de la Ec. 6.4, incluso oscilando la deslizadera a una velocidad 500 mm/s se puede satisfacer la demanda de alimentación y no se supera la velocidad máxima de 600 mm/s recomendada para este tipo de alimentadores. [6]

Se realizó el mismo procedimiento para dimensionar el sistema de alimentación de las piezas Luer Lock utilizando las medidas respectivas de esta pieza. (Anexo B.4)

Ya definidas las dimensiones de la tolva y del tubo oscilante y seleccionado el actuador a utilizar para la oscilación, se modelaron las piezas para la construcción del sistema de alimentación. Un despiece de un modelo inicial se puede observar en la Fig. 6.7.

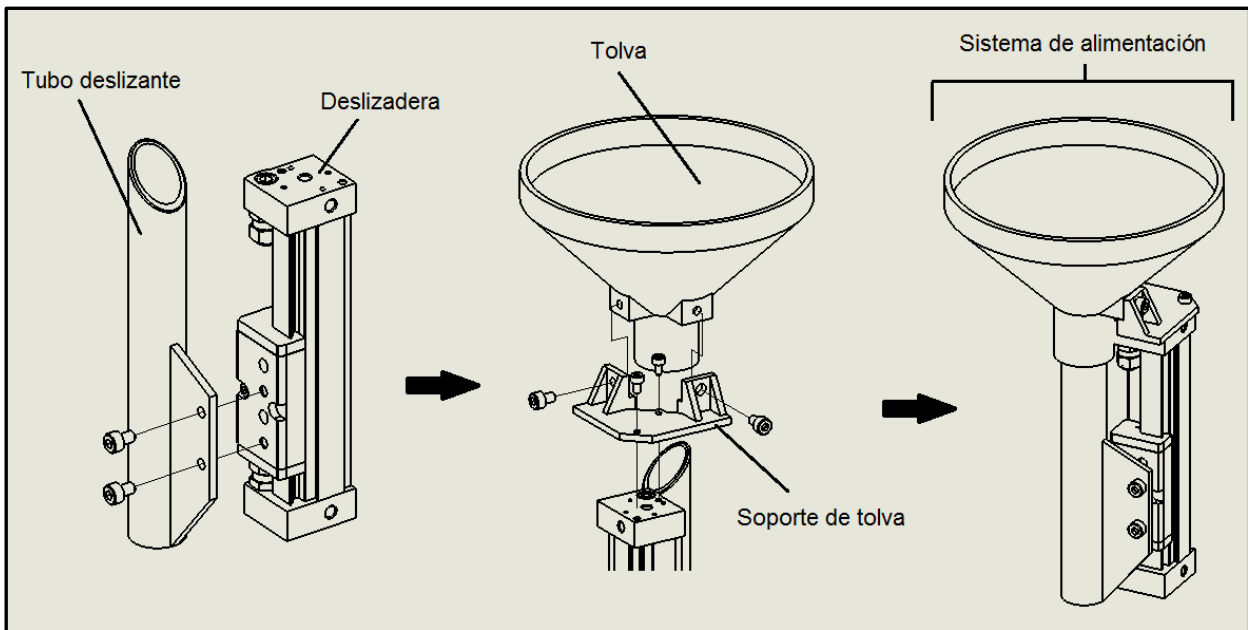


Figura 6.7 Despiece del sistema de alimentación.

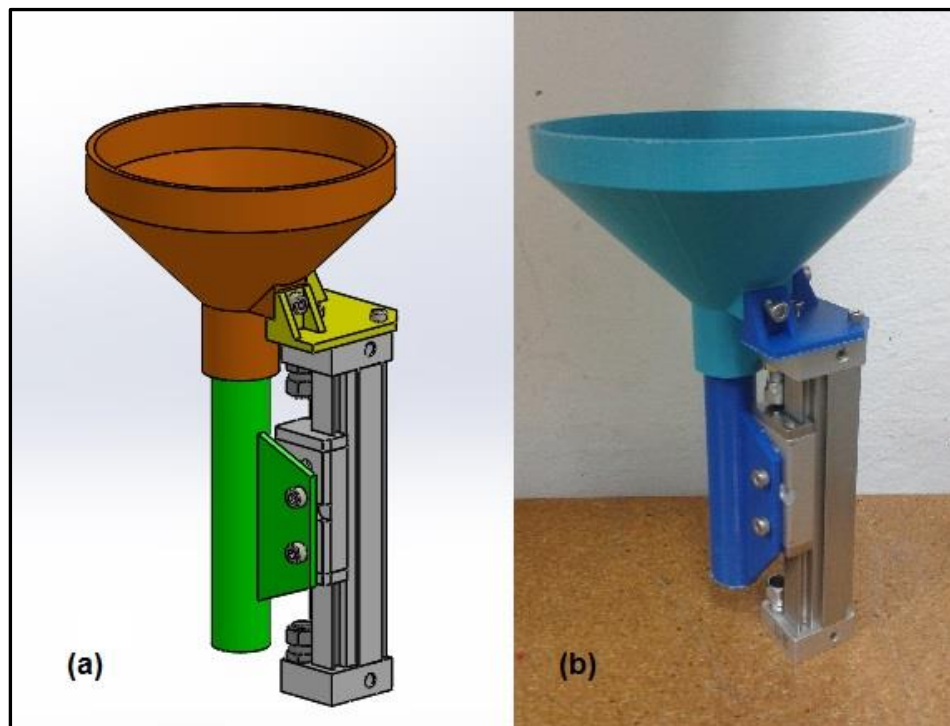


Figura 6.8 Diseño inicial del de sistema de alimentación; (a) modelo; (b) prototipo.

El prototipo inicial de la Fig. 6.8 fue utilizado para realizar pruebas preliminares antes de la construcción del prototipo final, por lo que estas partes fueron impresas con una

resolución de capa alta lo que resulta en un menor de tiempo de impresión a expensas de un acabado superficial peor que el de una pieza impresa con una resolución de capa baja.

Las pruebas realizadas demostraron que el mecanismo de tubo oscilante alimenta las piezas de la manera esperada y que incluso, variando el flujo de aire de la deslizadera y por ende variando su velocidad de oscilación, se pueden alcanzar distintas tasas de alimentación.

El flujo de aire de las deslizaderas fue ajustado para obtener una tasa de entrega de 50 ppm, esto es una sobredimensión de la tasa de entrega de toda la máquina ya que se requiere que el cuello de botella sea el sistema de ensamble y no el sistema de alimentación.

## Capítulo 7. Desarrollo del sistema de ensamble

El sistema de ensamble es el encargado de recibir las piezas entregadas por el sistema de alimentación, orientar las piezas a su posición final y por último realizar el subensamble tapa-conector.

Debido a en que en este sistema existen distintos mecanismos interactuando entre sí, se empleó un diseño modular en el que cada mecanismo se diseñó en un módulo aparte, los cuales fueron conectados uno con otro para probar su funcionamiento en conjunto.

### Módulo de transferencia

El módulo de transferencia se definió como la estructura en la que se reciben y se apilan las piezas provenientes del sistema de alimentación. Este módulo no tiene ningún actuador pero fue utilizado para definir la geometría de los canales de transferencia por los que se desplazan las piezas.

Se eligió un canal de transferencia de sección transversal cuadrada con el objetivo de minimizar el área de contacto entre las piezas y el canal mismo. Ya que las piezas son cilíndricas, el desplazarse por un canal de paredes planas reduce el contacto que el producido al desplazarse por un canal de paredes curvas. Otra ventaja que se considero es la facilidad de producir canales cuadrados como los que se utilizaron.

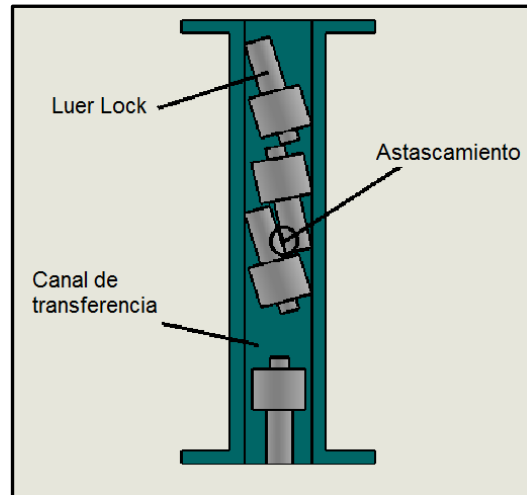


Figura 7.1 Atascamiento de piezas en el canal de transferencia.

El canal de transferencia debe tener una holgura lo suficiente grande como para que las piezas caigan libremente por él, pero no tan grande como para que estas se atasquen unas con otras como se muestra en la Fig. 7.1.

Para dimensionar los canales se determinó el ancho máximo en el que las piezas no sobrepasan el espacio de otra, tomando en cuenta las diferentes configuraciones posibles debido a la orientación de las piezas. En las Figuras 7.2 y 7.3 se pueden observar estos anchos de canal máximos.

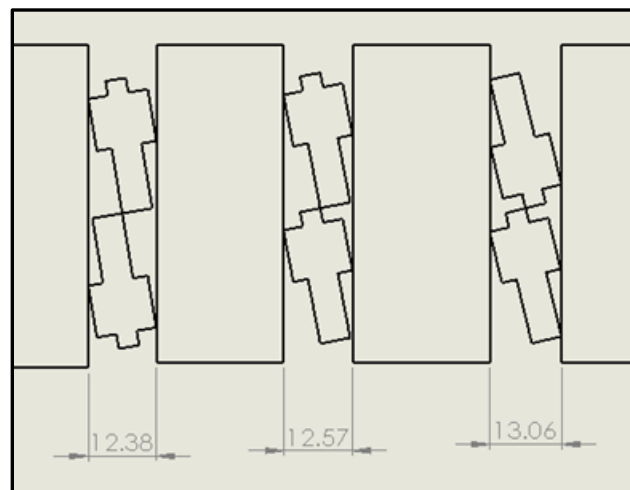
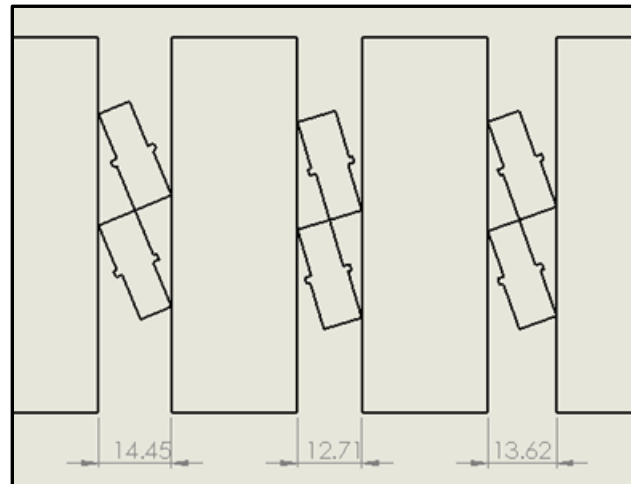


Figura 7.2 Anchos máximos de canal sin interferencia para la pieza Luer Lock. Medidas en mm.



*Figura 7.3 Anchos máximos de canal sin interferencia para la pieza Vented cap. Medidas en mm.*

Se tomó, como ancho máximo permitido por el canal de cada pieza, el menor de las tres posibilidades mostradas anteriormente. Además se determinó empíricamente que con la tolerancia de la impresora 3D de 0.2 mm, es necesario dejar una holgura de 1.5 mm a partir del diámetro máximo de cada pieza para que estas se deslicen libremente. Esta holgura resultó en canales de 12 mm de ancho y 10.3 mm de ancho para las piezas Luer Lock y Vented Cap respectivamente. Estos anchos no exceden los máximos calculados por lo que se eliminó el problema de atascamiento de las piezas.

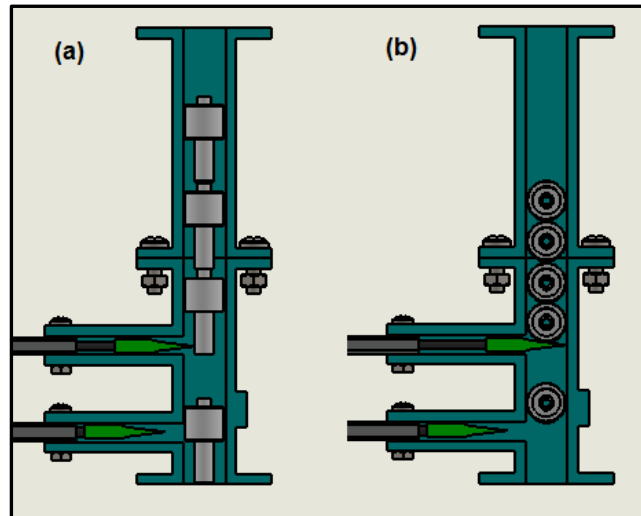
## Módulo de escape

Una vez apiladas las piezas en el módulo de transferencia, es necesario permitir el paso de estas a los siguientes módulos del sistema de ensamble cuando sea requerido. Se realizó un diseño del módulo de escape basado en el método de escape por trinquete, en el que un par de cuchillas regulan el flujo de piezas.

Para accionar las cuchillas se seleccionaron los actuadores EZH, estos son pistones de efecto simple con perfil plano. Tomando en cuenta el hecho de que en el prototipo se necesitó al menos cuatro de estos pistones, 2 para controlar el flujo de tapas y 2 para controlar el flujo de conectores, el usar pistón de efecto simple facilitó el subsecunete diseño del sistema de control. Las especificaciones de los pistones EZH se pueden ver en el Anexo B.6.



Debido a que las piezas caen del sistema de alimentación de manera vertical surge el problema mostrado en la Fig. 7.4 (a) en el que las piezas apiladas en lugar de ser separadas por la cuchilla superior, son presionadas entre la cuchilla y la pared del canal. Este problema se mitiga cuando las piezas a separar son esféricas o ya bien, cilíndricas apiladas de lado como se muestra en la Fig. 7.4 (b).



*Figura 7. 4 Módulo de escape regulando el paso de piezas cilíndricas (a) apiladas en sus caras planas; (b) apiladas en sus caras curvas.*

Ya que apilar las piezas en sus caras curvas requiere agregar mecanismos extras al sistema ensamble o rediseñar completamente el sistema de alimentación, se decidió modificar el diseño típico de un escape de trinquete.

Como al presionar las piezas entre las cuchillas y las paredes del canal, se produce el mismo resultado en el que el flujo de las piezas es regulado y estas transitan de una en una, se recurrió a regular el flujo de piezas presionándolas propósito.

Para reducir el esfuerzo y por ende, la deformación de los componentes del subensamble tapa-conector, se cambió la cuchilla superior del escape por una pieza de cabeza ancha. El área mayor que posee esta pieza permitió distribuir mejor la fuerza que sostiene los componentes. En la Fig.7.5 se puede observar el módulo de escape rediseñado.

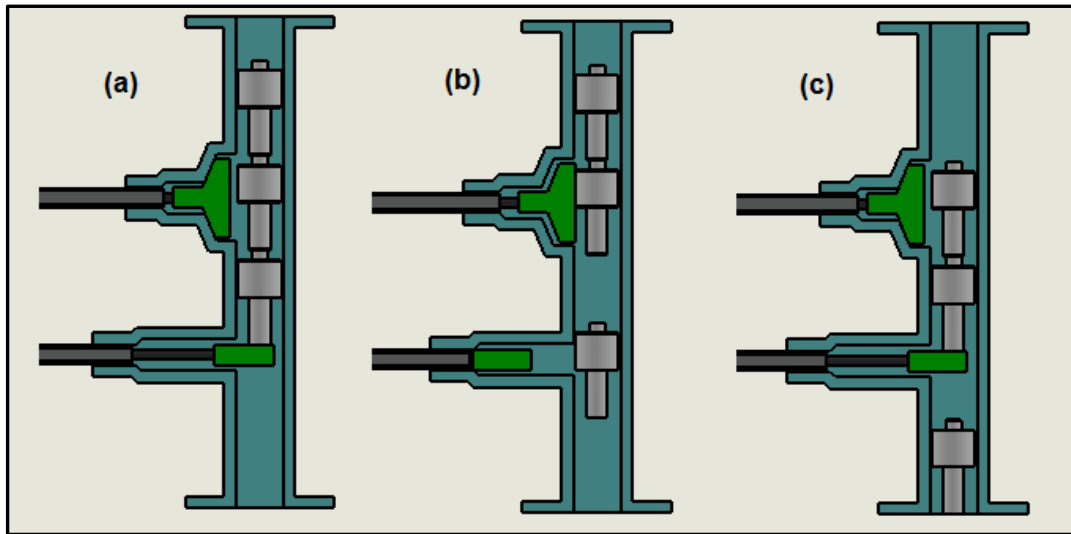


Figura 7. 5 Funcionamiento del módulo de escape: (a) el pistón inferior impide el paso de las piezas; (b) el pistón superior sostiene la segunda pieza de la pila mientras que el pistón inferior permite el paso de la primera pieza de la pila; (c) los pistones vuelven a su estado inicial.

## Módulo de orientación

Como es necesario alinear las piezas Luer Lock y Vented Cap cara con cara para insertar una dentro de la otra, se decidió combinar el movimiento que les da la orientación final a las piezas junto con el movimiento que posiciona las piezas cara a cara en este módulo. En la Fig. 7.6 se muestra el funcionamiento deseado del módulo de orientación.

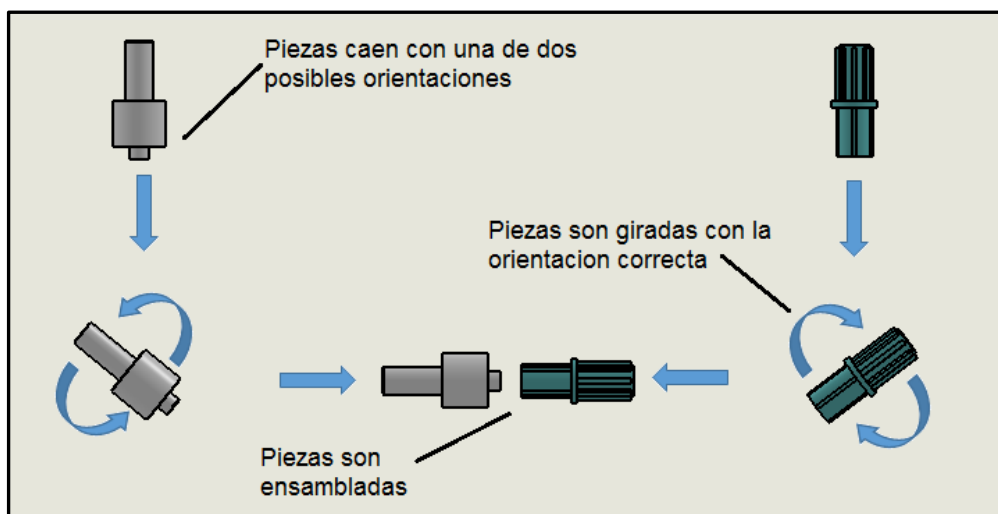


Figura 7.6 Orientación y posicionamiento de piezas debido al módulo de orientación.

Para el módulo de orientación, el actuador que proporciona el giro de las piezas debe ser capaz de realizar un giro con un ángulo de  $90^\circ$  en ambas direcciones a partir del punto de reposo, esto requiere que el actuador tenga al menos 3 posiciones fijas.

Inicialmente se tuvo la intención de utilizar actuadores giratorios neumáticos debido a su simplicidad de control y a que todo los actuadores seleccionados hasta este punto eran también neumáticos, sin embargo, los actuadores neumáticos disponibles solo tenían dos posiciones fijas, por lo que estos tuvieron que ser descartados.

Existen actuadores giratorios neumáticos en el mercado que cuentan con más de dos posiciones fijas, pero estos son dispositivos muy especializados con precios elevados. Con el objetivo de tener una referencia de costo, se cotizó un rotador neumático de tres posiciones, esta cotización se encuentra en el Anexo B.2.

Para realizar el giro de las piezas se recurrió al uso de actuadores eléctricos, se seleccionó un par de motores paso a paso EMMS, las características del modelo utilizado se pueden observar en el Anexo B.6.

El diseño de módulo de orientación utilizado, consiste en una cámara fija que contiene una herramienta giratoria acoplada al motor paso a paso, permitiendo la rotación de la herramienta dentro de la cámara.

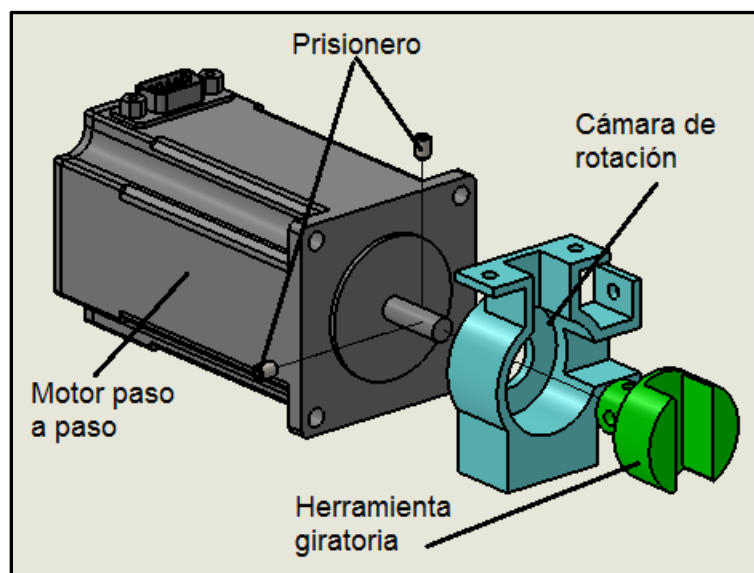
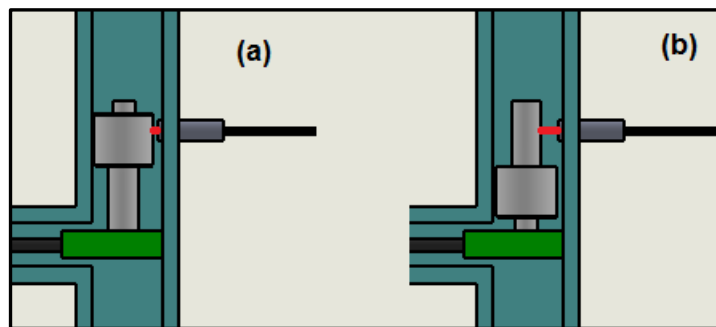


Figura 7.7 Despiece del módulo de orientación.

El módulo de orientación recibe las piezas entregadas por el módulo de escape y debe sensor la orientación de las mismas para girarlas de manera correcta. Para determinar la orientación de las piezas se seleccionaron sensores de proximidad de fibra óptica, estos permiten detectar pequeñas diferencias de distancia por lo que fueron ideales para esta aplicación.

En la Fig. 7.8 se muestra el montaje del sensor que detecta la orientación de la pieza Luer Lock. La ganancia del sensor fue ajustada de manera que su salida digital conmuta entre alta y bajo dependiendo de la orientación de las piezas.



*Figura 7.8 Detección de orientación de las piezas Luer Lock, (a) el sensor detecta la sección ancha de la pieza; (c) el sensor detecta la sección angosta de la pieza.*

Para la pieza Vented Cap fue necesario montar los sensores de manera distinta ya que esta pieza no solo le faltan diferencias significantes de diámetro como las de la pieza Luer Lock, sino que las diferencias de diámetro que posee no son constantes alrededor de la pieza. Debido a esto se recurrió a sensor la orientación de la pieza mediante el uso de su cavidad interna como se muestra en la Fig. 7.9.

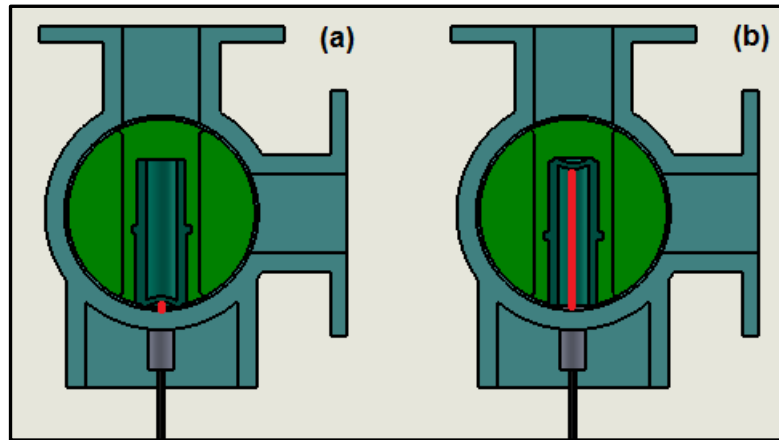


Figura 7. 9 Detección de orientación de las piezas Vented Cap, (a) el sensor detecta la tapa de la pieza; (b) el sensor detecta el agujero de la pieza.

## Módulo de empuje

Finalmente para el ensamble de las piezas se eligió un par de pistones de doble efecto ADVU, estos tienen la tarea de realizar la junta a presión requerida para unir las piezas Luer Lock y Vented Cap. Debido al diámetro del vástago del modelo disponible, ADVU-20-50 (Anexo B.6), fue necesario realizar el montaje de los pistones de manera excéntrica como se observa en la Fig. 7.10.

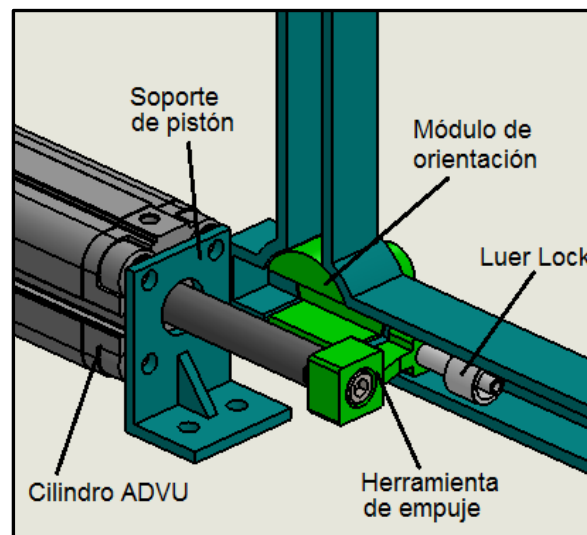
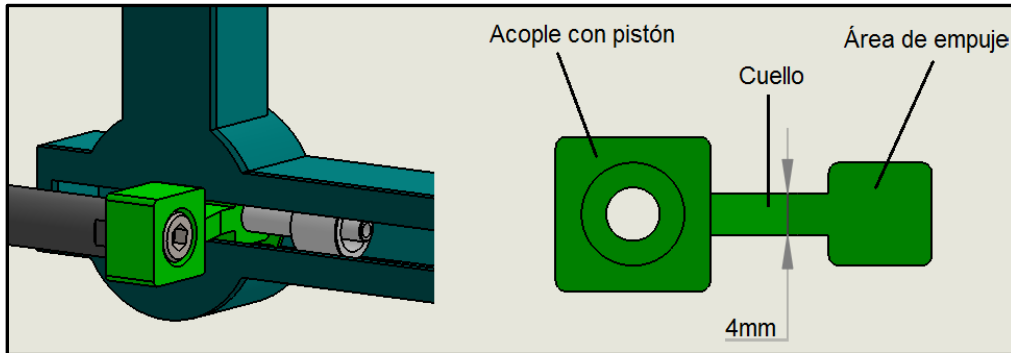


Figura 7.10 Montaje excéntrico del pistón del módulo de empuje.

El montaje excéntrico requiere de una pieza que transmita la fuerza del pistón a los componentes del subensamble tapa-conector la cual se llamó herramienta de empuje. Esta pieza debe ser capaz de soportar los esfuerzos flectores a los que está sometida debido a la transmisión de fuerza que realiza, pero como se muestra en la figura 7.11, la herramienta de empuje tiene un cuello angosto debido a la inclusión de tapas en el diseño que impiden que se salgan los componentes.



*Figura 7.11 Diseño de la herramienta de empuje.*

Como se muestra en el Anexo B.4, el diámetro de la espiga de la pieza Luer Lock es de 0.212 in o 5.39 mm. Ya que el propósito de las tapas es impedir que las piezas se salgan del canal de transferencia, la abertura entre las tapas por el que pasa el cuello de la herramienta de empuje debe ser menor a 5.39 mm. Se definió como ancho máximo para el cuello de la herramienta de empuje 4 mm tomando en cuenta que debe existir una holgura entre este y la abertura de las tapas.

Teniendo definido el ancho del cuello, se recurrió a calcular el espesor del cuello para asegurar que la herramienta pueda soportar los esfuerzos a los que está sometida. Este cálculo se encuentra en el Apéndice A.3.

## Módulo de expulsión

El módulo de expulsión es el componente final de sistema de alimentación, este se encarga de expulsar los subensambles terminados de la máquina para liberar espacio y permitir el armado de subensambles adicionales.

Para este módulo se utilizó un pistón EZH adicional el cual acciona la compuerta mostrada en la Fig. 7.12. Esta compuerta evita que los componentes del subensamble se salgan por la abertura de expulsión antes de ser ensamblados.

Se utilizó además un actuador complementario el cuál se encarga de realizar la expulsión de los subensambles como tal, este actuador es un pistón de carrera corta ADVU. La carrera de 10 mm de este pistón se ajustó a las necesidades del prototipo ya que para realizar la expulsión es necesario un movimiento corto.

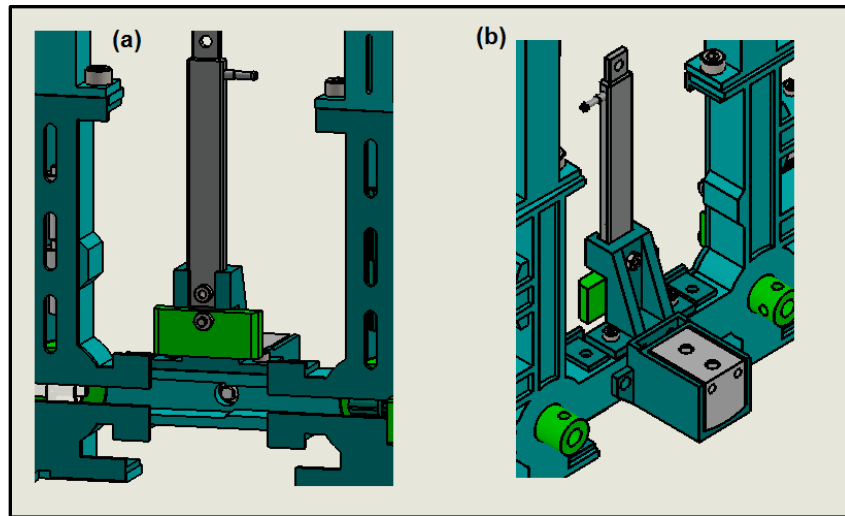


Figura 7.12 Montaje del módulo de expulsión (a) vista frontal; (b) vista trasera.

## Calculo de tiempo de ensamble

Una vez definidos los mecanismos principales del sistema de ensamble, se procedió a calcular el tiempo que le toma al prototipo realizar un subensamble tapa-conector. La especificación definida indica que se requiere de una tasa de salida de 40 ppm, estos equivale a un subensamble completado cada 1.5 s.

Los tiempos de movimiento para tanto el pistón ADVU como para el pistón EZH se determinaron mediante pruebas en las que se utilizó una terminal de electroválvulas y un relé programable. Se encontró que a una presión de 6 bares y sin regulación de flujo en las entradas de aire de los pistones, al pistón ADVU le toma 0.07 s recorrer su carrera, mientras que al pistón EZH le toma 0.06 s.

Por otra parte, el motor paso a paso EMMS tiene una frecuencia de rotación máxima de 1940 rpm (Anexo B.6), por lo que el tiempo mínimo  $T$  en el que este realiza una revolución es:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1 \text{ min}}{1940 \text{ rev}} = 5.15 \times 10^{-4} \text{ min} \quad (7.1)$$

Y ya que los movimientos realizados por el sistema de orientación son de  $90^\circ$  el tiempo  $t$  en segundos para un cuarto de revolución es:

$$t = \frac{1}{4} T \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \frac{(60)(5.15 \times 10^{-4})}{4} = 0.0077 \text{ s} \quad (7.2)$$

Por último hay que considerar el tiempo que le toma a una pieza caer desde el módulo de escape hasta el módulo de orientación,  $t_{caída}$ . Para disminuir este tiempo se minimizó la distancia de caída  $L$ , la cual equivale en el diseño propuesto a 40mm (Fig. 7.13).

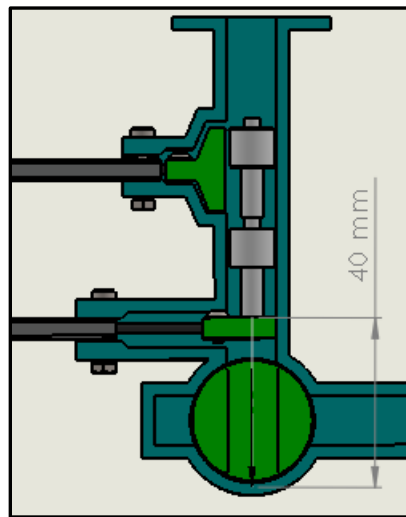


Figura 7.13 Distancia de caída de las piezas.

El tiempo  $t_{caída}$  se calculó de la siguiente manera:

$g$ : aceleración gravitacional [ $m/s^2$ ]

$$t_{caída} = \sqrt{2L/g} = \sqrt{2(0.04)/9.81} = 0.090 \text{ s} \quad (7.3)$$



Con estos datos calculados, se procedió a tabular los tiempos de cada mecanismo del sistema de ensamble para encontrar el tiempo total que le toma al prototipo realizar un subensamble tapa-conector.

*Tabla 7.1 Tiempo teórico para el armado de un subensamble tapa-conector.*

<b>Actuador</b>	<b>Cantidad de movimientos</b>	<b>Tiempo por movimiento [s]</b>	<b>Tiempo Total [s]</b>
Pistón ADVU	2	0.070	0.140
Motor EMMS	2	0.008	0.016
Pistón EZH	1	0.060	0.060
Caída libre	1	0.090	0.090
Tiempos de espera *	4	0.150	0.600
Tiempo de sensado **	2	0.001	0.002
<b>Tiempo total de ensamble:</b>			<b>0.908</b>

*\*Tiempo de espera entre movimientos para asegurar que estos se completen correctamente.*

*\*\*Tiempo de espera mientras se sensa la orientación de las piezas, determinado por el tiempo de respuesta del sensor.*

El tiempo de ensamble calculado cumplió con la especificación de ensamble de 40 piezas por minuto. Cabe resaltar que estos tiempos variaron en comparación a los valores reales obtenidos del prototipo, especialmente el tiempo de giro del motor paso a paso y el tiempo de caída de las piezas, debido a que estos tiempo fueron determinados de manera teórica con condiciones ideales, sin realizar pruebas reales.

El tiempo real de ensamble del prototipo se presentará en capítulos posteriores.

## Capítulo 8. Desarrollo del sistema de control

El sistema de control incluye todos los dispositivos electrónicos y neumáticos utilizados para automatizar el funcionamiento del prototipo. En la Fig. 8.1 se puede observar un esquema general del sistema de control en el que se muestra el flujo de información entre los diferentes componentes que lo conforman.

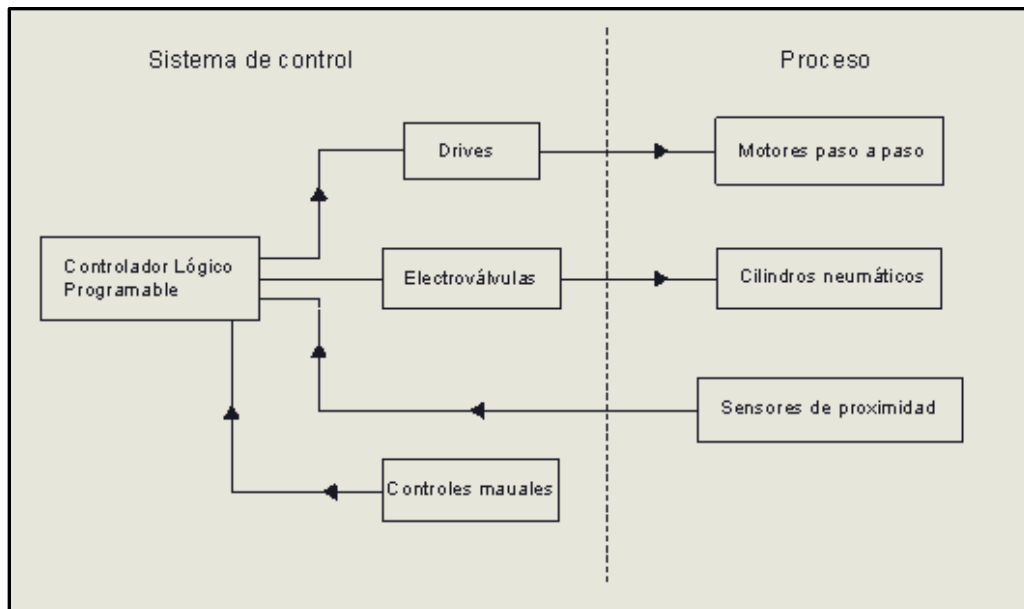


Figura 8.1 Esquema del sistema de control.

Los controles manuales descritos en la figura anterior se refieren al botón de paro y al botón de arranque que se incluyeron como requisito del diseño, estos botones son la única interacción que tiene el usuario con la máquina aparte del cargado de los partes del subensamble tapa-conector. A continuación se explica a más detalle el resto de los componentes que conforman el sistema de control.

### Electroválvulas

Para el accionamiento automático de todos los cilindros neumáticos incorporados en el diseño es necesario el uso de electroválvulas. Se eligió para este fin una terminal de electroválvulas modelo CPV-SC-MP-VI. Esta terminal cuenta con 12 espacios para instalar

electroválvulas diferentes. Reutilizando válvulas de otras terminales se lograron obtener en buen estado 9 válvulas de 3/2 vías normalmente cerradas y 3 válvulas de 5/2 vías.

En el prototipo existen 10 actuadores neumáticos distintos, pero algunos de estos actuadores como los pistones ADVU que realizan el empuje de las piezas o los pistones EZH que se accionan intermitentemente, pueden ser controlados con una sola señal usando la misma electroválvula, por lo que es posible utilizar menos de 10 válvulas y se concluyó que la terminal elegida cumple con las necesidades del prototipo.

El combinar el accionamiento de los actuadores simplificó el trabajo posterior de cableo y programación, además que permitió utilizar un PLC con un menor número de salidas.

## Drives de motores paso a paso

Ya que se incluyeron los motores paso a paso al sistema de ensamble, fue necesaria la inclusión de *drives* al sistema de control para el manejo de estos motores. Se seleccionó un par de drives modelo E-AC Microstepping Drive (Anexo B.6) Estos son drives de bajo costo para controlar motores paso a paso pequeños.

El drive cuenta con entradas digitales a las que se les envía una señal de pulso por cada paso que se requiere que dé el motor y una señal con que indica el sentido del giro. El drive dependiendo de las señales recibidas ejecuta la secuencia requerida de energización de las bobinas del motor paso a paso para que este realice los giros deseados.

De la Ec. (3.1) se puede determinar que con un ángulo de paso de  $1.8^\circ$  de los motores seleccionados, es necesario que estos den 200 pasos para que giren una revolución completa lo que implica 200 señales de paso enviadas al drive.

## Controlador lógico programable

Para esta aplicación es necesaria que los motores giren cuartos de vuelta o 50 pasos a la vez. El tiempo de conmutación típico de un relé es de 15 ms [22], y las señales de paso

que requiere la entrada del drive implican que la salida del controlador conmute dos veces, por lo que un PLC con salidas de relé puede tardar hasta 50 x 30 ms o 1.5 s en enviar 50 señales de paso. Este tiempo es inaceptable tomando en cuenta que 1.5 segundos es el tiempo que debe tardar el prototipo en realizar todos los movimientos necesarios para producir un subensamble completo.

Debido a lo anterior fue necesario utilizar un PLC con salidas de transistor, este tipo de salidas, aunque tienen menor capacidad de conmutación en términos de corriente eléctrica, son capaces de enviar señales en el rango de los kHz, lo que los hace ideales para enviar las señales necesarias a los drives de los motores.

El controlador del sistema fue el único componente que no se pudo obtener dentro de la planta. Aunque existen distintos PLCs en bodega, estos no fueron utilizados por las siguientes razones. Primero, los PLCs disponibles son excesivamente sobredimensionados para la aplicación a mano, por lo que su uso hubiera elevado el costo total del proyecto, dificultando su justificación. Y segundo, las licencias de los software usados para programar dichos PLCs fueron utilizadas para el desarrollo de otros proyectos durante el periodo de desarrollo de este proyecto.

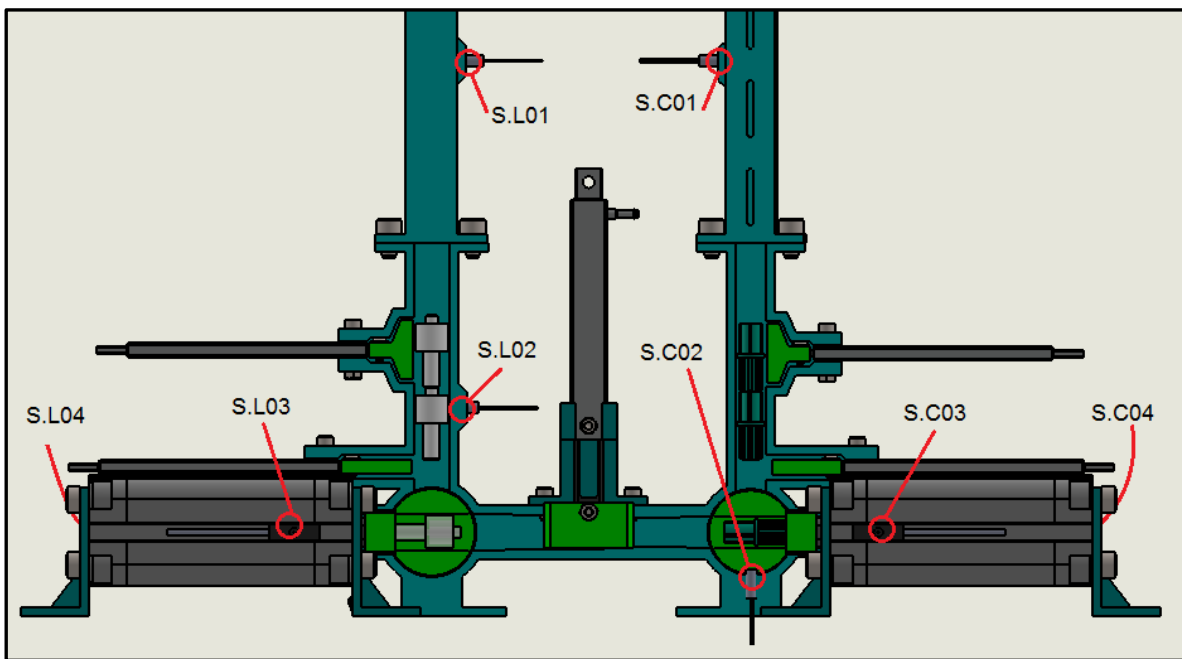
Tomando en cuenta la limitante de tiempo para la implementación del prototipo, se buscó entre los proveedores de la planta el PLC que mejor se ajustara a las necesidades del prototipo y que estuviera disponible en entrega inmediata. El controlador elegido fue el CP1L de OMRON, este PLC compacto cuenta con salidas de transistores de alta velocidad y al ser marca OMRON utiliza una licencia que no tiene límites respecto al número de usuarios que pueden utilizarla al mismo tiempo.

Una vez solicitada la cotización (Anexo B.3) y aprobada la requisición por parte de Baxter, se generó la orden de compra y se obtuvo el último de los componentes del sistema de control. Teniendo todos los componentes eléctricos del sistema se dibujaron los diagramas de conexión a seguir durante el cableado del prototipo.

## Diagramas de conexión

Para realizar todas las conexiones eléctricas y neumáticas de manera ordenada, se dibujaron diagramas de conexión en los que se especifica la manera en la que los diferentes componentes del sistema de control se conectan con los actuadores, con los sensores y entre sí. Estos diagramas se presentan en el Apéndice A.2.

En las Figuras 8.2 y 8.3 se designa el código con el que se identificaron los sensores del prototipo y los actuadores del prototipo respectivamente, esta designación es referenciada tanto en los diagramas de conexión, como en la programación del PLC. La letra L y C es usada para representar los sensores del lado de los conectores Luer y de las tapas Cap respectivamente.



*Figura 8. 2 Designación de sensores del prototipo.*

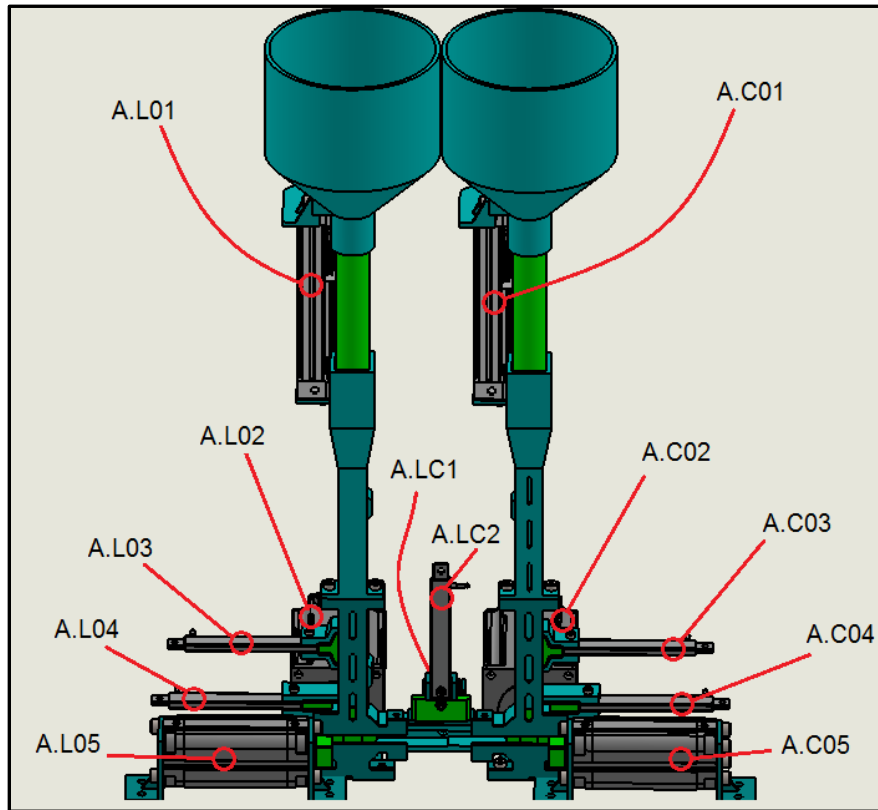


Figura 8.3 Designación de actuadores del prototipo.

## Capítulo 9. Construcción del prototipo

Con el diseño del prototipo finalizado se prosiguió con la construcción de este de acuerdo a los planos y a los diagramas producidos.

Se presentó una orden de trabajo en el taller de precisión para el corte de una lámina de acero inoxidable en el que se realizó el montaje de tanto el prototipo como el sistema de control. Esta lámina se confeccionó de material restante de otros proyectos que iba a ser desechado. La Fig. 9.1 muestra la lámina de montaje utilizada.

Se dimensiono la lámina con un área de 55 cm x 55 cm, lo cual equivale al área máxima del prototipo que se especificó en un inicio. Al montar todo el prototipo en esta lámina se aseguró que no se excedieran las dimensiones especificadas y al mismo tiempo se aprovechó la totalidad del espacio disponible. Una vez obtenida la lámina, se marcaron las posiciones de los agujeros necesarios para instalar todos los componentes y luego se taladraron dichos agujeros.

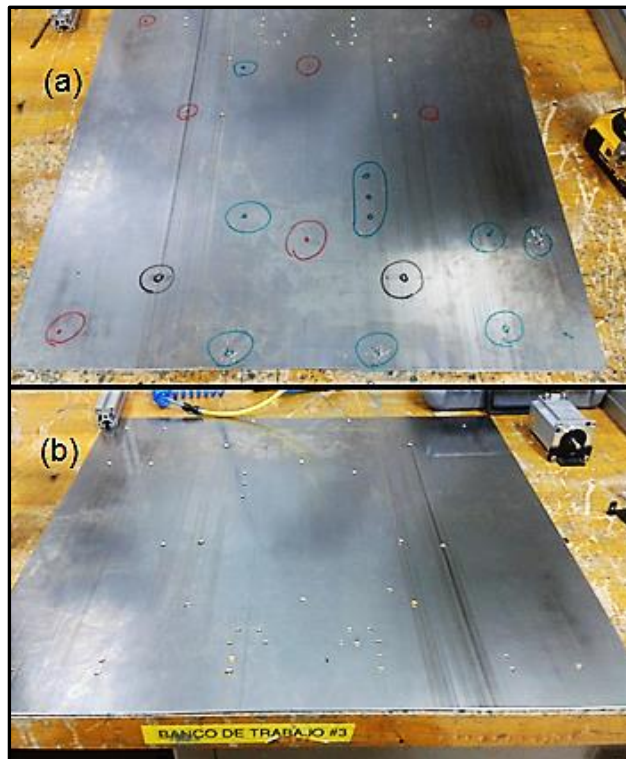


Figura 9.1 Lámina de montaje (a) con los agujeros marcados; (b) con los agujeros taladrados.

Se solicitó también en la orden de trabajo, el corte de perfiles de aluminio para construir una estructura en la que se montó el sistema de alimentación. Se utilizó un perfil de aluminio ITEM 30, este tipo de perfil estandarizado permite la rápida construcción de estructuras y el fácil acople de otros elementos a estas.

La Fig. 9.2 muestra el largo de los perfiles solicitados al taller de precisión. Una vez que estos fueron entregados, se ensambló con estos perfiles la estructura mostrada en la Fig. 9.3

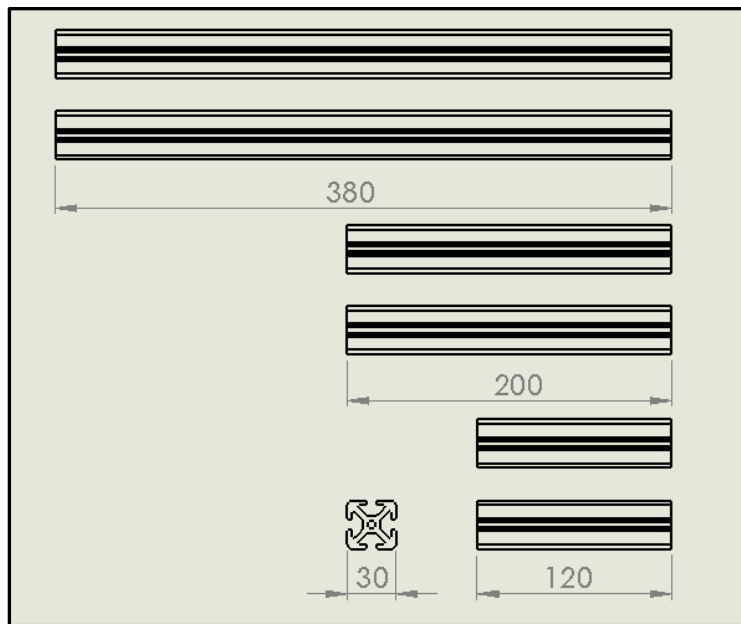
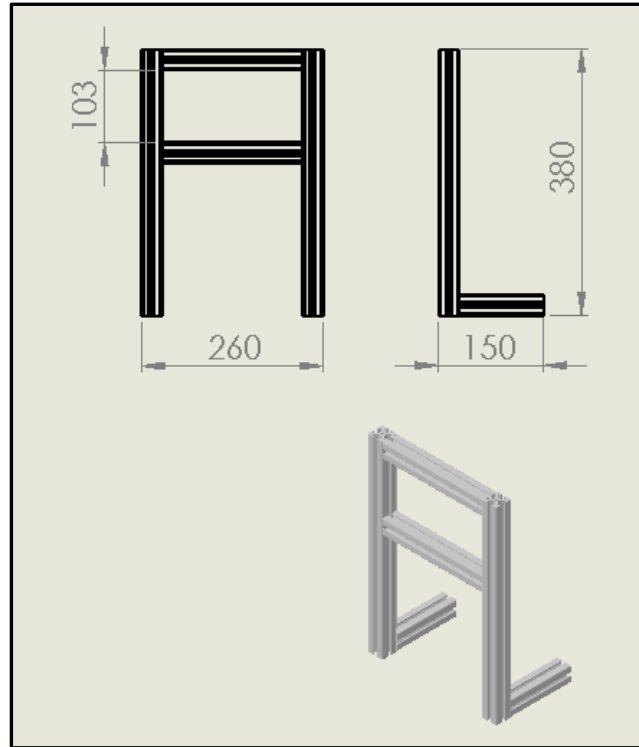


Figura 9.2 Largo de perfiles de aluminio ITEM 30. Medidas en mm.





*Figura 9.3 Esquema de construcción de la estructura de aluminio. Medidas en mm.*

## Ensamble de la estructura mecánica

Con el sistema de ensamble y el sistema de alimentación diseñados, se imprimieron en 3D las piezas estructurales no estandarizadas que conforman estos sistemas. Estas piezas fueron impresas con la resolución más baja permitida por la impresora, 200  $\mu\text{m}$ , lo que resultó en superficies con un mejor acabado que el de las piezas de prueba y se imprimieron además con la mayor dureza de impresión posible.

Luego de que las piezas fueron impresas, estas fueron tratadas, cortando las estructuras de soporte y limando tanto los bordes de las superficies y los agujeros. Una vez tratadas las piezas, estas se ensamblaron junto con los actuadores y sensores para conformar el prototipo. Se montó el sistema de alimentación en la estructura de aluminio y se acopló este al sistema de ensamble. A continuación se muestran fotografías del proceso de construcción de la estructura mecánica del prototipo.

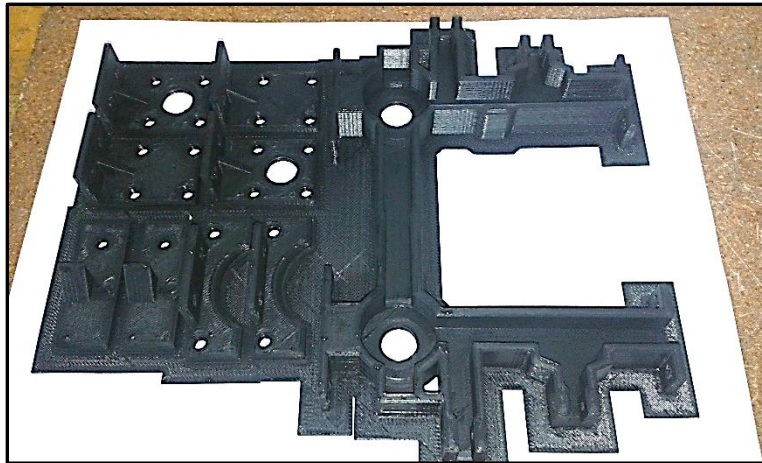


Figura 9.4 Piezas impresas previas a ser tratadas.

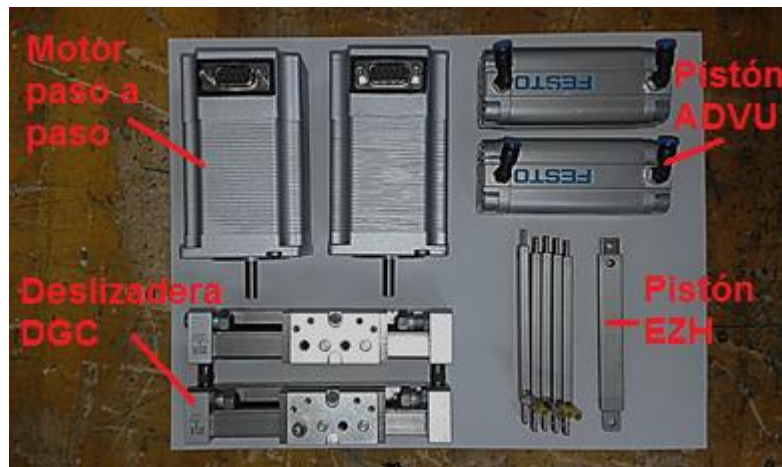


Figura 9.5 Actuadores utilizados en el prototipo.

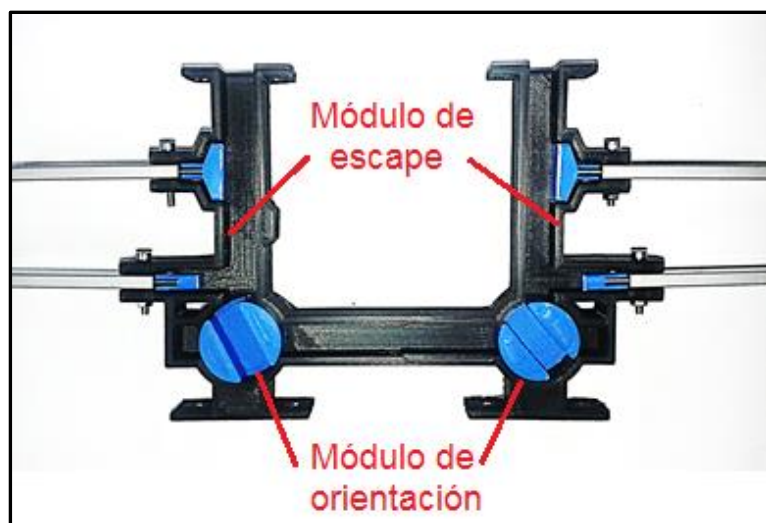
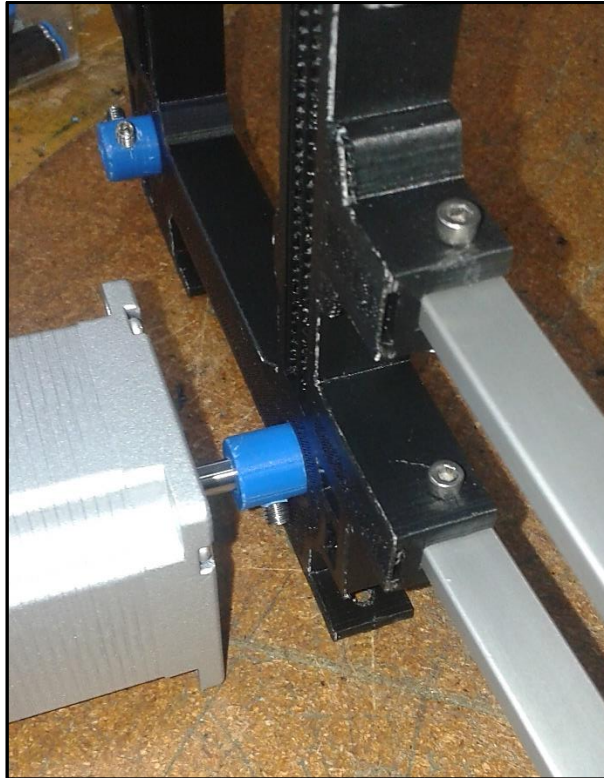
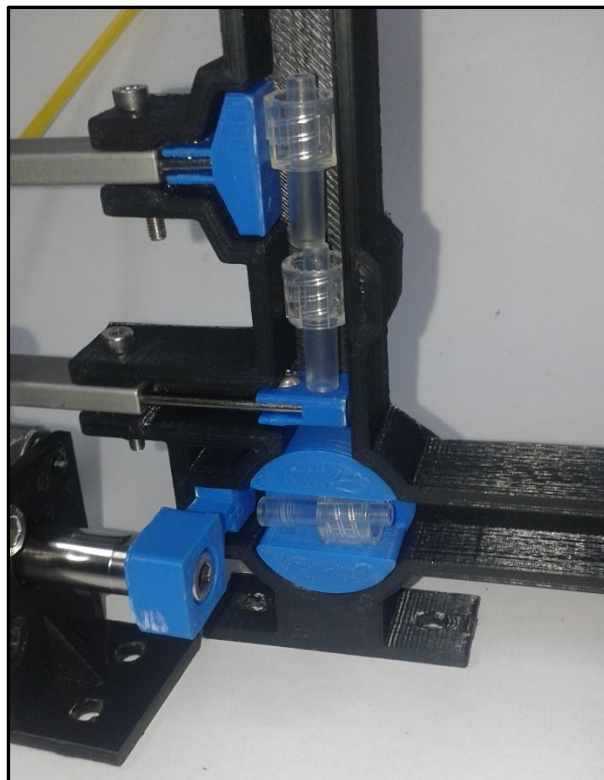


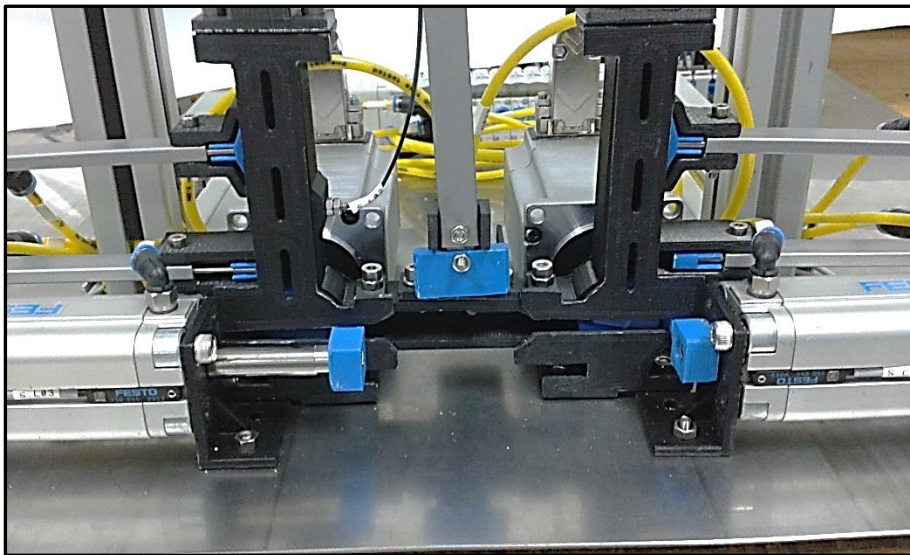
Figura 9.6 Ensamble del módulo de orientación y el módulo de escape.



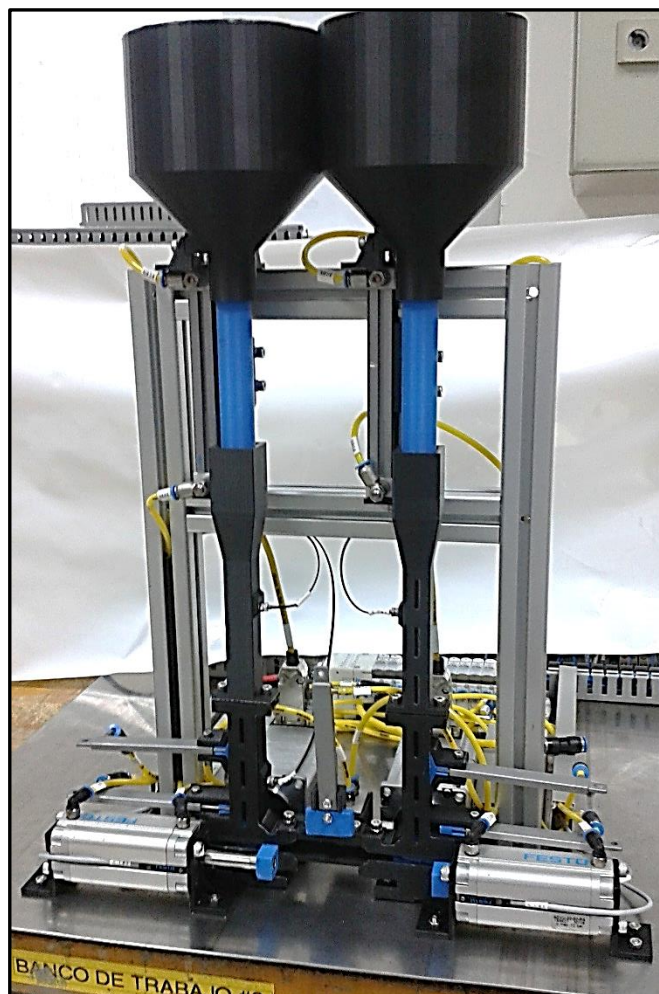
*Figura 9.7 Acople del motor paso a paso EMMS.*



*Figura 9.8 Adición del módulo de empuje.*



*Figura 9.9 Montado del sistema de ensamble.*



*Figura 9.10 Acople del sistema de alimentación.*

En la Fig. 9.10 se muestra el resultado de la construcción del prototipo final. Al comparar este resultado con los planos generados (Apéndice A.1), se puede observar que la construcción del prototipo fue exitosa, no existieron problemas con el acople de las piezas impresas y el montaje de todos los componentes se pudo ejecutar de la manera que fue planeado.

La única diferencia notable entre el modelo digital y el prototipo físico son los colores utilizados en las piezas impresas en 3D, el cuál es un aspecto meramente estético que no afecta el funcionamiento del prototipo de ninguna manera.

## Cableado

Luego de finalizar la construcción del prototipo se realizaron las conexiones eléctricas y neumáticas de este. Primero se modelo el montaje de los componentes del sistema de control para tener una idea del espacio disponible y de la distribución de tanto los componentes como los cables necesarios para las conexiones.

Se plantearon diferentes formas de distribuir los componentes pero finalmente se decidió en utilizar un solo riel DIN central en el que se montaron los componentes eléctricos, con el riel rodeado por un par de canaletas para la distribución del cableado y la terminal de electroválvulas montada de manera que sus salidas de aire estén de frente al prototipo. La Fig. 9.11 muestra la distribución descrita.

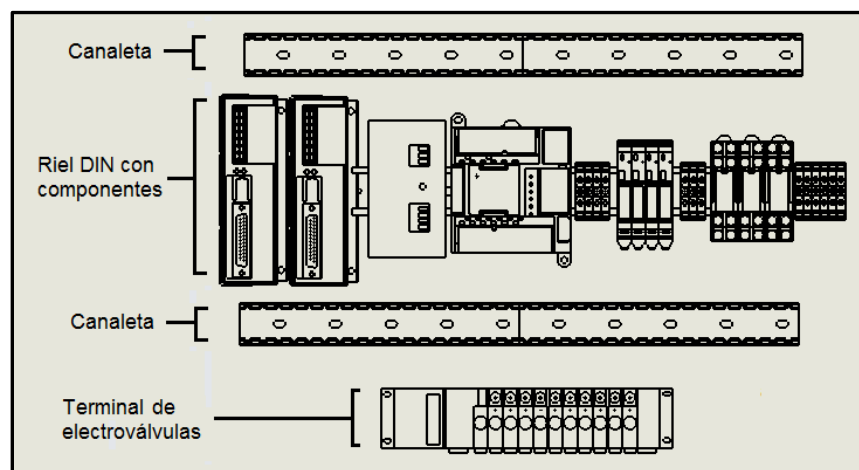
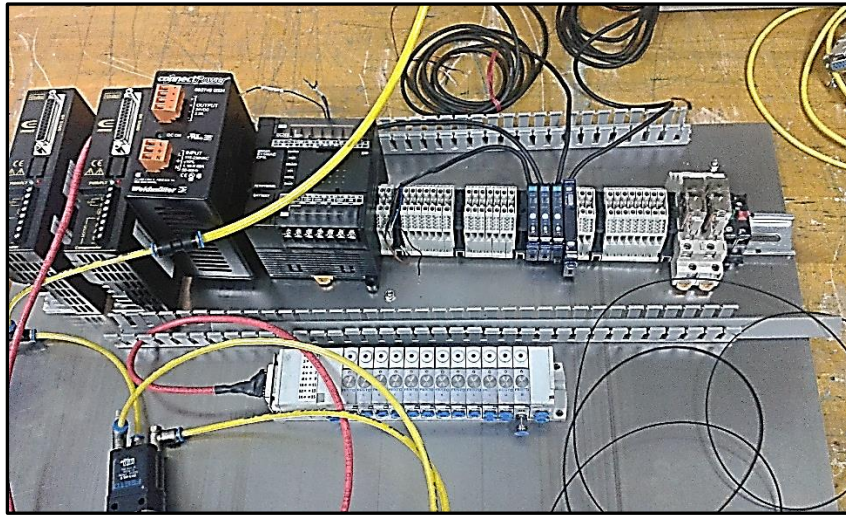
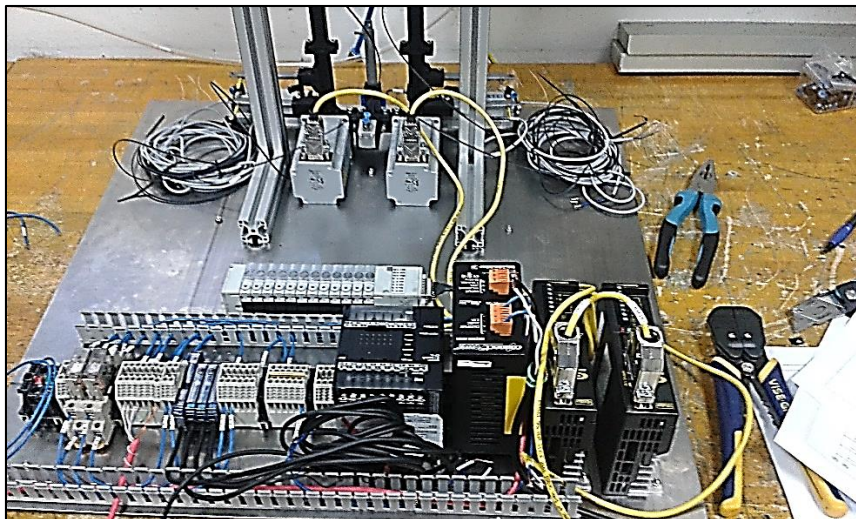


Figura 9.11 Distribución de los componentes del sistema de control.

Con la distribución definida, se realizó el montaje de los componentes del sistema de control en la lámina de acero y luego se realizaron todas las conexiones eléctricas siguiendo los diagramas de conexión previamente dibujados. A continuación se muestran fotografías del proceso de armado y cableado del sistema de control.



*Figura 9.12 Montaje de los componentes del sistema de control.*



*Figura 9.13 Cableado eléctrico en progreso.*

Todas las conexiones realizadas se etiquetaron con las referencias especificadas en los diagramas de conexión como se muestra en la Fig. 9.15, esto agilizó el proceso de las pruebas de conexión y permitió identificar fácilmente los problemas causados por conexiones erróneas o cables sueltos.

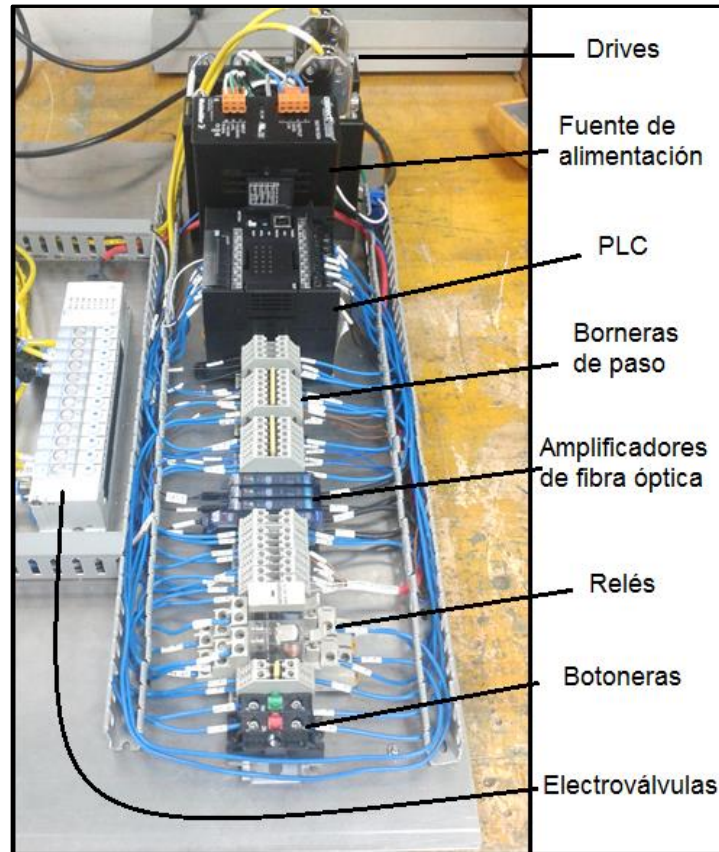


Figura 9.14 Cableado eléctrico terminado.

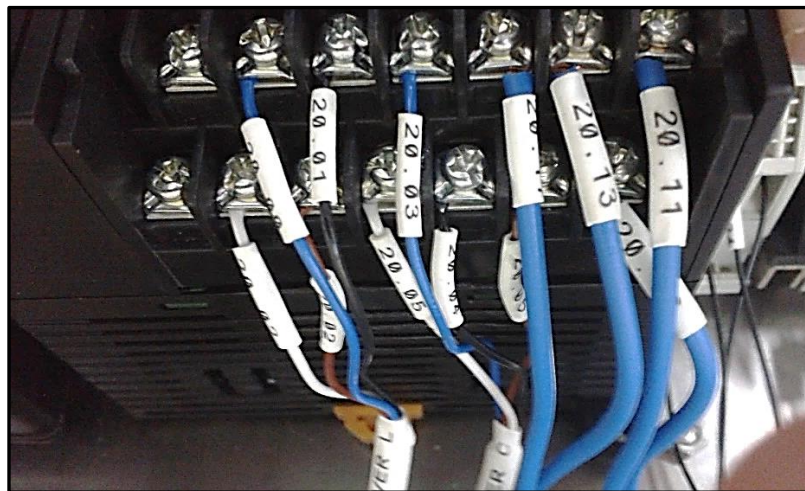


Figura 9.15 Etiquetado de las conexiones de las salidas del PLC.

Surgieron distintos problemas en el cableado del prototipo, siendo el más notable, el cableado de las salidas del PLC asumiendo que estas eran de tipo *sourcing* (lógica negativa), cuando las salidas del modelo CP1L-L20DT son *sinking* (lógica positiva). Sin embargo, los

diagramas de conexión fueron corregidos fácilmente y gracias al etiquetado que se mencionó anteriormente, las conexiones también fueron corregidas sin ningún problema.

Por otra parte, las conexiones neumáticas fueron realizadas de último, por lo que no contaron con espacio el disponible que tuvieron las conexiones eléctricas. Además se subestimó el espacio que ocuparían todas las mangueras de las conexiones neumáticas por lo que el resultado final aunque funcional, tuvo un aspecto desordenado.

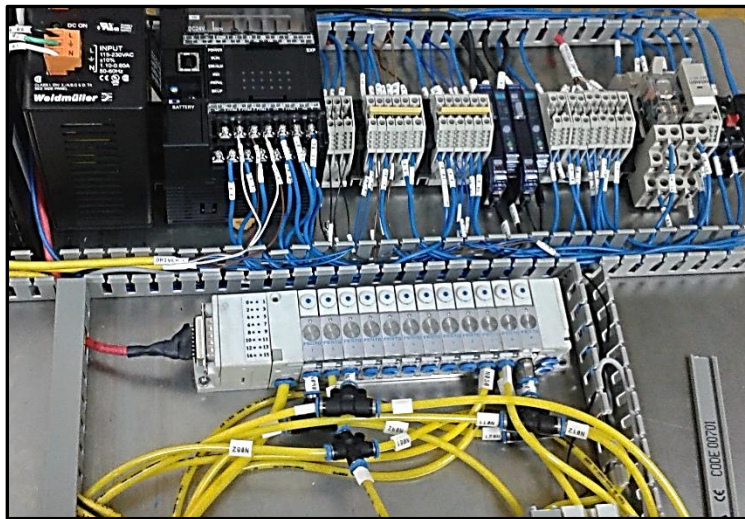


Figura 9.16 Conexiones neumáticas a la salida de las electroválvulas. (Mangueras amarillas)

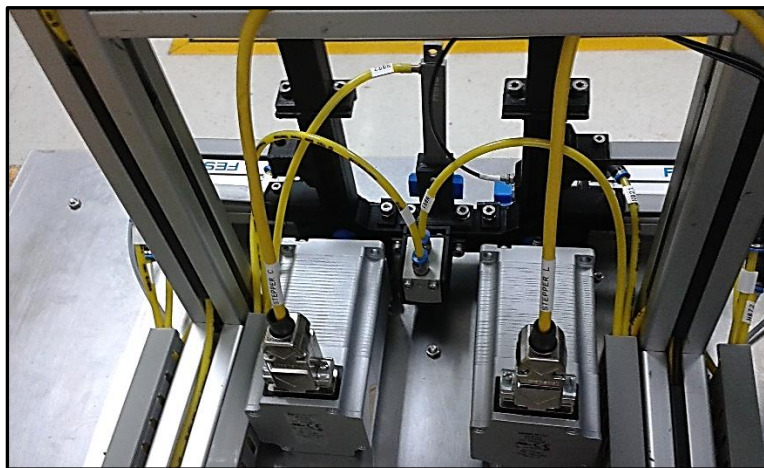


Figura 9.17 Conexiones neumáticas a la entrada de los actuadores. (Mangueras amarillas)

A pesar del aspecto final de las conexiones neumáticas, estas se probaron y se verificó que tanto las electroválvulas como los actuadores funcionaron de manera correcta.



## Capítulo 10. Programación del prototipo

La programación del controlador lógico se dividió en dos secciones que actúan de manera independiente, estas son la lógica del sistema de alimentación y la lógica del sistema de ensamble, sin embargo, ambas secciones comparten las señales de los sensores S.L01 y S.C01 las cuales indican si las piezas apiladas alcanzan la capacidad de los módulos de transferencia, en los siguientes diagramas esto se referencia como *buffer*.

Cuando el botón de arranque del prototipo es presionado el PLC ejecuta simultáneamente y de manera continua la lógica mostrada en los diagramas de flujo de las Figuras 10.1 y 10.2. De manera similar, cuando el botón de paro es presionado, el PLC primero termina de ejecutar el ciclo activo, y luego entra en un estado de paro en el que espera que la señal del botón de arranque sea recibida para reanudar el programa. Con el fin de simplificar los diagramas de flujo mostrados a continuación, se omitió la lógica relacionada con los botones de arranque y paro explicada anteriormente.

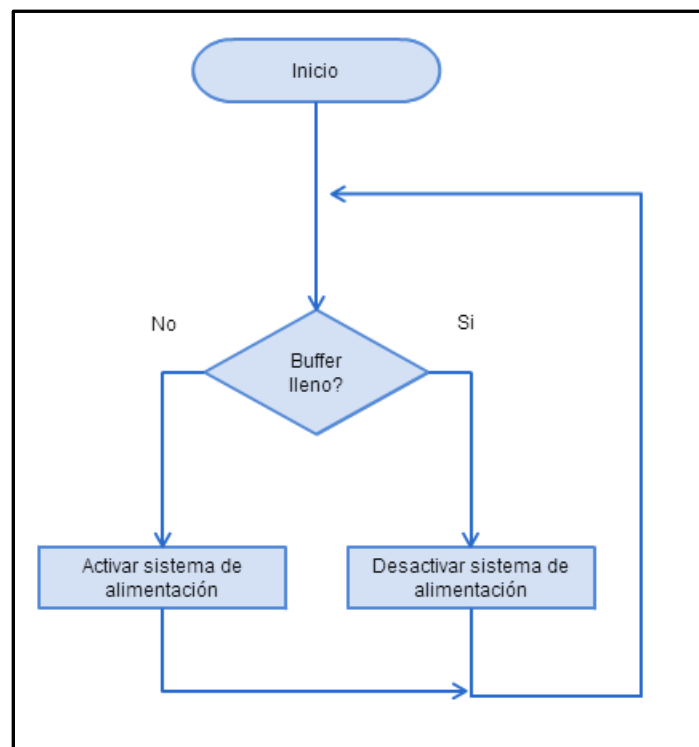


Figura 10.1 Diagrama de flujo de la lógica de alimentación.

En la Fig. 10.1 se observa el ciclo continuo de la lógica de alimentación, esta se encarga de activar y desactivar el sistema de alimentación dependiendo de si se alcanzó o no, la capacidad máxima de piezas apiladas. Cabe resaltar que en el programa desarrollado corren dos instancias de este diagrama de flujo, uno para el sistema de alimentación de las piezas Luer Lock y similarmente uno para las piezas Vented Cap.

La separación del funcionamiento de ambos sistemas de alimentación fue necesaria ya que aunque las piezas en los buffer salen al mismo tiempo cuando estas son ensambladas, las piezas entran al buffer a tasas distintitas. Esto se debe a que tanto la geometría como el peso de las piezas resultan en una tasa de entrega diferente para cada sistema de alimentación.

La lógica del sistema de alimentación se encarga de oscilar el tubo del alimentador cada 1.2 s cuando el sensor correspondiente indica que el buffer no está lleno.

Por otra parte, la Fig. 10.2 muestra la lógica del sistema de ensamble. Este diagrama tiene la diferencia que cuando en este se hace referencia al buffer lleno, se está verificando que los buffers de ambas piezas estén llenos.

Cuando el programa inicia, el sistema de ensamble primero espera que los alimentadores llenen los buffer de ambas piezas, luego ejecuta de manera continua la secuencia de ensamble hasta que los buffer no se puedan mantener llenos debido a que se acabaron las piezas almacenadas en el sistema de alimentación. A partir de este punto el sistema de ensamble realiza 5 secuencias adicionales de ensamble y luego entra en un estado de espera en el que no vuelve a arrancar hasta que los buffer sean llenados nuevamente.

Las 5 secuencias de ensamble se deben a que este es el número de piezas apiladas que tienen que haber para que se activen los sensores que indican que los buffer esta llenos. Luego de que se realizan estos 5 subensambles se asegura que se acabaron tanto las piezas en el sistema de alimentación como en el sistema de ensamble, por lo que la máquina se detiene mientras espera que más piezas sean cargadas.

Los pasos de la secuencia de ensamble se observan en la Fig. 10.3 y a continuación se explicaran a más detalle en que consiste cada paso:

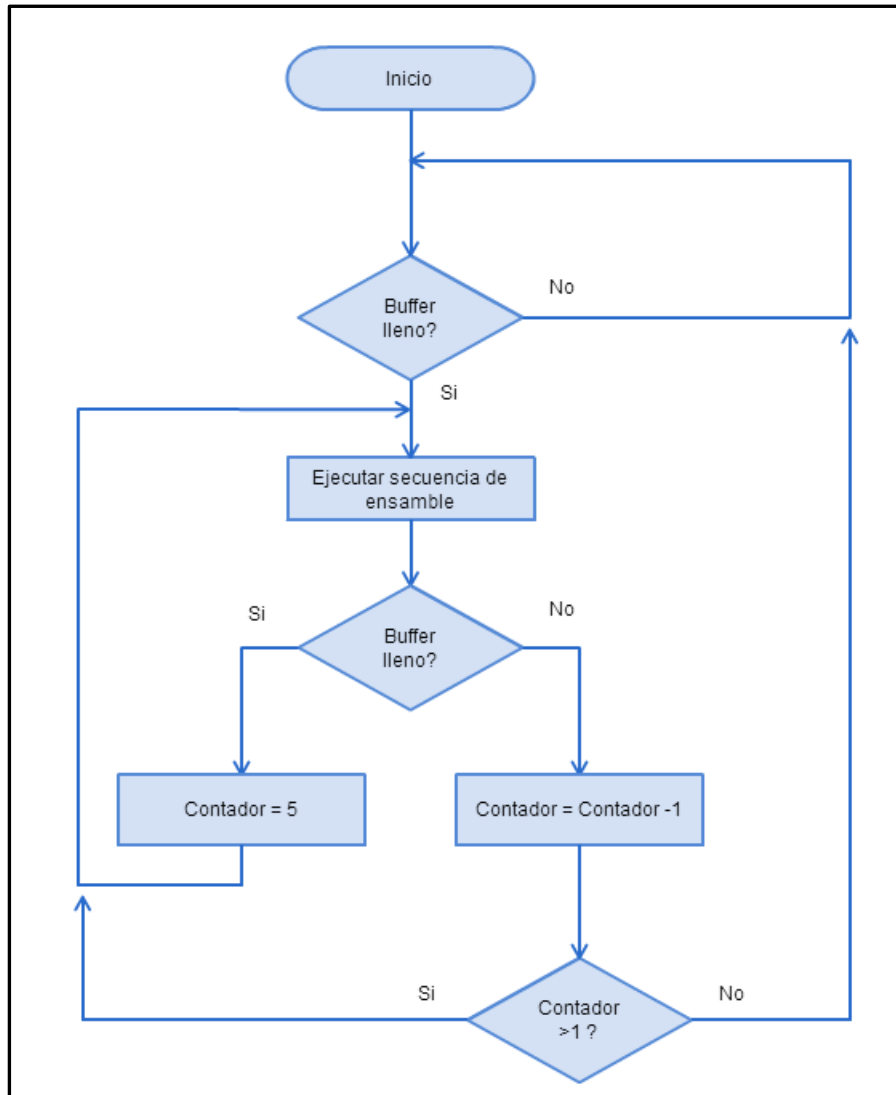


Figura 10.2 Diagrama de flujo de la lógica de ensamble.

- El primer paso consiste en guardar en memoria la orientación de la pieza Luer Lock a ser ensamblada, esta es detectada por el sensor S.L02. (Fig. 7.8).
- Luego se activa el escape, lo que permite el paso de una pieza de cada componente del subensamble, esta activación consisten accionar los pistones del módulo como se muestra en la Fig. 7.5 durante 0.4 s para asegurar que las piezas caigan hasta el siguiente módulo.
- Seguidamente mediante el uso del sensor S.C02 se guarda en memoria la orientación de la pieza Vented Cap a ser ensamblada. (Fig. 7.9).

- A continuación se activa el módulo de orientación, en este punto se envían 50 pulsos a una una frecuencia de 1 kHz para girar los motores paso a paso en la dirección necesaria, esta dirección de giro es dictada por la orientación guardada en memoria.
- Luego se activa el módulo de empuje, en el que se accionan los pistones hasta que los sensores S.C04 y S.L04 se activen, estos indican que los pistones llegaron hasta el tope de su carrera y que por ende, se realizó la junta del subensamble. A partir de este punto se retraen los pistones hasta que los sensores S.C03 y S.L03 se activen, lo que indica que los pistones se retrajeron completamente y es seguro girar los motores nuevamente.

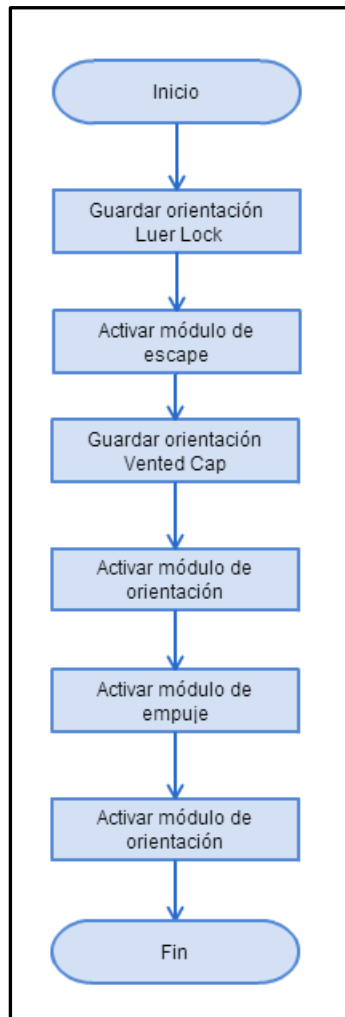


Figura 10.3 Diagrama de flujo de la secuencia de ensamble.

- Por último se vuelven a accionar los motores paso a paso con otros 50 pulsos, lo que regresa el módulo de orientación a su posición inicial en la que es posible recibir otra pieza.

Esta secuencia de ensamble es la única parte del programa que tiene un inicio y un final, y se ejecuta cada vez que la lógica del sistema de ensamble lo ordene.

La activación del módulo de expulsión no se contempla en la lógica del programa desarrollado. Esto se debe a que los pistones del módulo de expulsión se controlan con señales duplicadas. El pistón que acciona la compuerta es activado con la misma señal que los pistones del módulo de empuje, mientras que el pistón que realiza la expulsión de los subensambles es activado con la misma señal que acciona el módulo de escape.

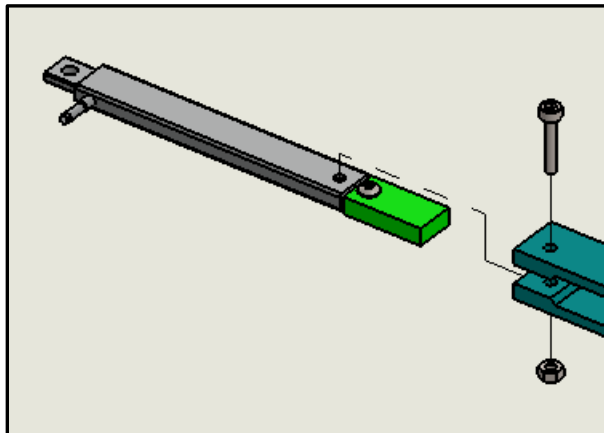
Esta duplicación de señales se implementó debido a que el número de salidas del PLC no permitió utilizar señales independientes para el accionamiento de estos actuadores.

El programa descrito anteriormente se desarrolló en el lenguaje convencional de escalera utilizado comúnmente en la programación de PLCs. Se desarrolló el programa con el software CX-Programmer, el cual es parte del paquete CX-One de OMRON que se utiliza para configurar y programar dispositivos como PLCs, HMIs y redes. [23] Se mostró la lógica simplificada expuesta en lugar del programa desarrollado, ya que la inclusión de este no aporta valor significativo al informe.

## Capítulo 11. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas iniciales de funcionamiento resaltaron distintos problemas en el montaje de los componentes mecánicos del prototipo. Un ejemplo de estos problemas fue el montaje de los pistones EZH en el módulo de escape.

Como se observa en la figura 11.1, el pistón tiene un agujero pasante el cual se utilizó para acoplarlo a las piezas estructurales impresas en 3D. La presión de trabajo del prototipo de 6 Bares es suficiente para extender el pistón, pero este al ser de acción simple, depende de un resorte interno para ser retraído. Se determinó que al apretar en exceso el tornillo y la tuerca del acople mostrado, la fuerza ejercida sobre la estructura del pistón impide que su émbolo se deslice apropiadamente, específicamente la fuerza impide que el resorte retraiga el émbolo.



*Figura 11.1 Montaje de pistón EZH en el módulo de escape.*

Para solucionar este problema simplemente se aflojó el tornillo hasta el punto en el que el pistón operó de manera correcta al extenderse y al retraerse.

Se presentó además un problema en el acople de la herramienta de giro con el eje de los motores paso a paso. Este acople se realizó mediante dos prisioneros ubicados a 90° uno de otro, sin embargo, la superficie del eje en el que se sujetaron los prisioneros era redonda. Esto permitió el funcionamiento del módulo de orientación por un tiempo limitado, ya que

el acople entre el eje y la herramienta de giro se desfasó durante las pruebas de funcionamiento.

Para solucionar este problema fue necesario desarmar los motores paso a paso para extraer sus ejes y maquinar superficies planas en las que los prisioneros se pudieran sujetar de manera correcta. Una vez realizado el acople correcto, el módulo de orientación tuvo el funcionamiento esperado.

Problemas mecánicos sencillos como los mencionados fueron encontrados durante las pruebas que se le realizaron al prototipo y fueron resueltos de manera simple y rápida.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron inicialmente sin partes a ensamblar dentro de la máquina, en estas pruebas los diferentes actuadores del prototipo se accionaron siguiendo la secuencia de ensamble de modo que se simuló el ensamble de las piezas. Estas pruebas mostraron resultados positivos en los que se determinó que los movimientos de los diferentes mecanismos no interfieren entre sí y se realizan correctamente.

Se encontró además, que el tiempo que tarda el prototipo en realizar una secuencia de ensamble es de 1.1 s. Este tiempo, como era de esperar, fue mayor que el teórico calculado anteriormente, pero aun así se mantuvo bajo la especificación de 40 ppm o 1 pieza cada 1.5 s.

Las siguientes pruebas se realizaron con solamente una pieza de cada componente del subensamble tapa-conector a la vez, estas se colocaron directamente en el módulo de escape, listas para ser ensambladas. Con estas pruebas se calibraron los sensores de fibra óptica para que pudieran determinar la orientación de las piezas sin fallos.

Durante la calibración se encontró un problema en uno de los sensores de fibra óptica, específicamente el sensor S.C02. Este sensor no tenía un acople correcto entre la fibra óptica y el sensor, y se determinó que la raíz del problema estuvo en que no se utilizaron sensores nuevos, que en este caso, resultó en un sensor con el seguro de acople dañado.

Las consecuencias de este problema fueron mitigadas al ajustar la fibra dentro del sensor y al evitar la manipulación posterior del mismo. Sin embargo, durante el

funcionamiento prolongado del prototipo, la misma vibración causada por los actuadores causó que la fibra se desalineara y las lecturas del sensor variaran drásticamente.

Debido a esto, la calibración efectuada en el sensor fue válida solo durante un tiempo limitado, por lo que no fue posible observar el funcionamiento automático del prototipo durante un tiempo prolongado sin que este sensor afectara el módulo de orientación.

Aun así, se lograron producir suficientes subensambles armados automáticamente para concluir que el funcionamiento del prototipo se apegó a los requerimientos especificados.

## Capítulo 12. Análisis de productividad

### Análisis de calidad

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron visitas constantes al cuarto limpio durante los días que se producían códigos que pasan por la operación tapa-conector, en estas visitas se obtuvieron muestras de los componentes Luer Lock y Vented Cap que fueron utilizados durante diseño y la prueba del prototipo.

Con el propósito de comparar los resultados de los subensambles realizados por el prototipo contra los subensambles realizados de manera manual, se obtuvieron también durante estas visitas, muestras de subensambles tapa-conector armados a mano por distintos asociados de línea.

Para el subensamble tapa-conector no existe ningún documento especificando los parámetros de la elaboración del subensamble, el único documento que hace referencia al subensamble tapa-conector solo indica los componentes que lo conforman, las piezas Luer Lock y Vented Cap.

Ya que el subensamble consiste en la inserción de un componente dentro de otro, se recurrió a utilizar la métrica de la longitud total del subensamble para comparar la calidad de

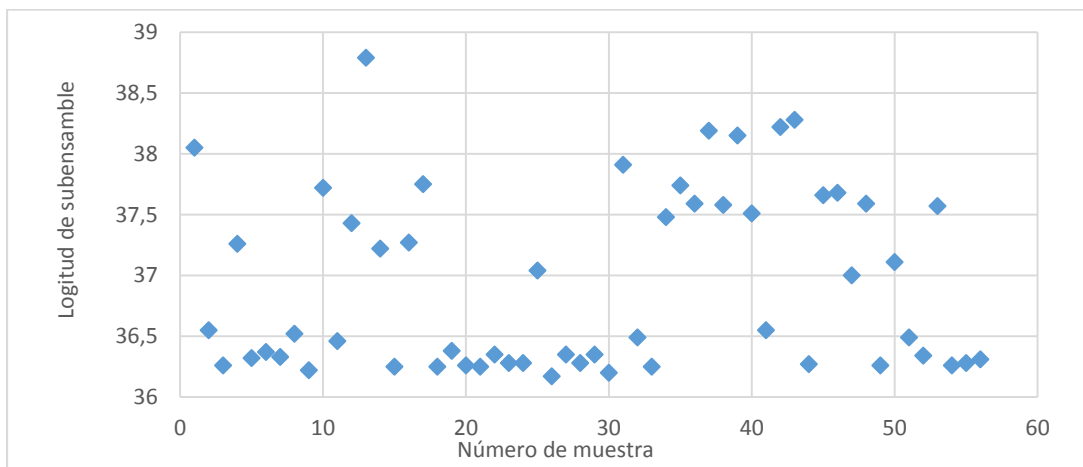


estos. El medir la longitud del subensamble indica que tan profundo fue insertada la tapa dentro del conector y por lo tanto, si este acople se realizó de manera correcta.

En la Fig. 11.1 se puede observar que la medidas de longitud de las muestras tienen una tendencia en la línea de 36.3 mm, este resultado es de esperarse ya que la longitud total del subensamble según los planos de las piezas de sus componentes, debe ser alrededor de 36.2 mm con una tolerancia de 0.4 mm. Esto indica que las muestras cuyas longitudes se agrupan en esta línea de tendencia inferior, fueron ensambladas al insertar completamente las piezas Vented Cap dentro de las piezas Luer Lock.

Sin embargo, también se nota en la misma figura, que gran parte de las medidas de longitud no cumplen con esta tendencia y se encuentran dispersas en un rango desde 36.2 mm hasta 38.8 mm. Esto se puede atribuir al hecho de que el subensamble, al ser armado a mano, no va a tener una calidad constante por factores humanos como el cansancio, distracciones y falta de interés, por lo que ocurre con regularidad que las tapas no son insertadas completamente.

*Figura 12.1 Gráfico de calidad de las muestras tapa-conector ensambladas manualmente*



Por otra parte en la Fig. 11.2 se pueden observar los resultados de las piezas armadas automáticamente por el prototipo implementado. De estos datos se determinó que la media de 36.42 mm es menor que la media obtenida de subensambles manuales de 36.90 mm, pero más relevante es que la varianza de los subensambles automáticos bajo a 0.03 mm<sup>2</sup> de una varianza de 0.50 mm<sup>2</sup> por parte de las muestras manuales.

Se observó también de la misma figura, que el rango de las medidas de los subensambles manuales va desde 36.23 mm a 36.84 mm para las muestras obtenidas, lo que equivale a un rango de 0.61 mm. Incluso utilizando una máquina automática que realiza una secuencia de movimientos constantes, se obtuvieron subensambles con una variación de medidas de longitud, pero tomando en cuenta la tolerancia del subensamble de 0.4 mm, esta variación se vuelve menos significativa.

Figura 12.2 Gráfico de calidad de las muestras tapa-conector ensambladas automáticamente.

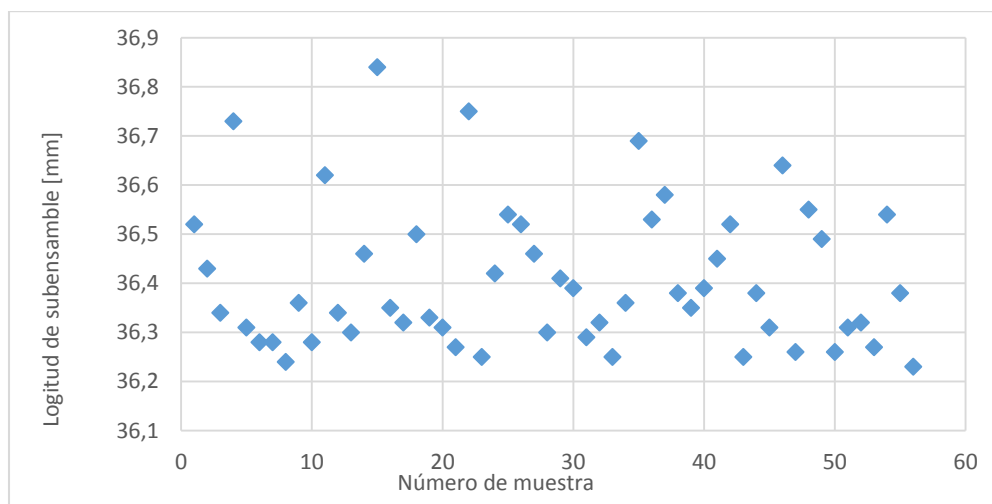
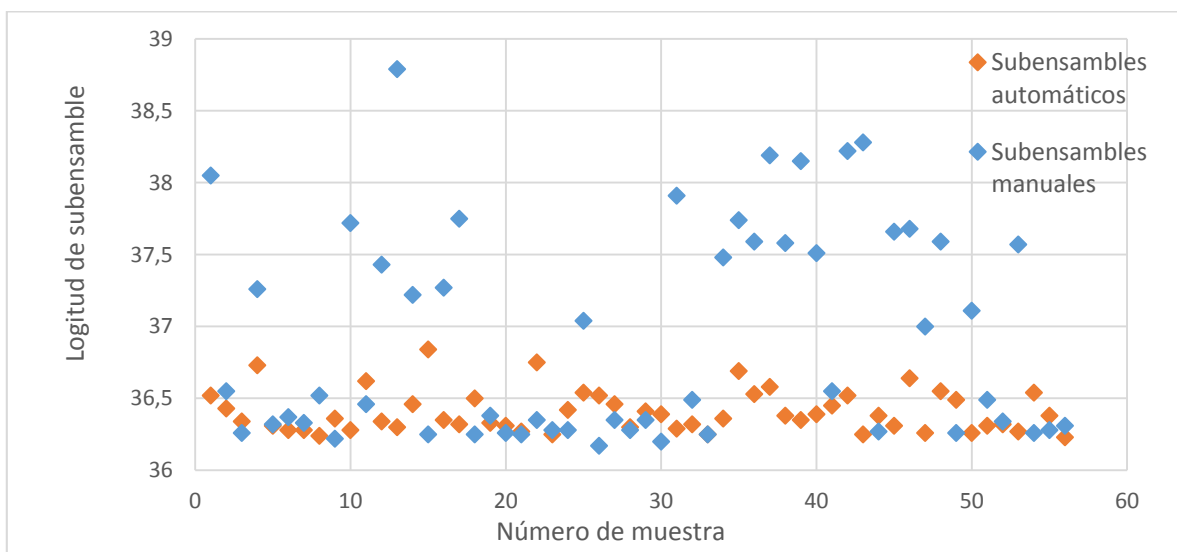


Figura 12.3 Gráfico de comparación de calidad de la muestras.



## Análisis de costos

Tabla 12.1 Costo de componentes utilizados en el prototipo.

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Controlador lógico CP1L	1	\$ 440.00	\$ 440.00
Drive para motores E-AC	2	\$ 437.00	\$ 874.00
Motores paso a paso EMMS	2	\$ 350.00	\$ 700.00
Cilindros de perfil plano EZH	5	\$ 35.00	\$ 175.00
Cilindros neumáticos ADVU	2	\$ 110.00	\$ 220.00
Deslizadera neumática DGC	2	\$ 200.00	\$ 400.00
2m de perfil de aluminio ITEM 30	1	\$ 250.00	\$ 250.00
Piezas impresas en 3D	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Sensor de fibra óptica	4	\$ 190.00	\$ 760.00
Sensor de proximidad ST 8	4	\$ 200.00	\$ 800.00
Terminal de electroválvulas CPV	1	\$ 350.00	\$ 350.00
Fuente de alimentación	1	\$ 150.00	\$ 150.00
<b>Total</b>			<b>\$ 5,089.00</b>

La tabla anterior muestra el costo agregado de los principales componentes que conforman el prototipo implementado, en este cálculo no solo se utilizaron los componentes impresos en 3D y el PLC que fue comprado, sino que también se incluyeron los componentes tomados del taller y de la bodega de PyP.

El valor obtenido de \$5,000 se puede asumir como una línea base para definir el costo total de la implementación de una máquina completa con un diseño similar al del prototipo. Los costos de material y de manufactura de los componentes estructurales en la máquina final serán mayores que el costo de las piezas impresas en 3D, pero por otra parte, el costo de algunos de los componentes será menor en la implementación de una máquina final, debido a que algunos de los utilizados para el prototipo están sobredimensionados.

Por otra parte, se calculó el monto ahorrado esperado al implementar una máquina automática. Primero se estimó la cantidad mínima de asociados de línea necesarios para mantener la demanda de producción en la operación tapa-conector una vez automatizado el armado del subensamble tapa-conector. En solo 4 de los 12 códigos que pasan por esta operación resultó una reducción de asociados de línea.

El resultado anterior se debe a que las líneas de producción están divididas en dos partes iguales las cuales tienen que estar balanceadas, con la misma cantidad de personas ubicada a cada lado de la banda transportadora que lleva el producto que se está ensamblando.

Ejemplo de esto es la configuración actual del código 2C6227, en el que es necesario un mínimo de 2.83 asociados de línea a cada lado de la línea de producción para realizar la operación tapa-conector. Con la automatización implementada, la cantidad de asociados de línea necesarios se reduce a 2.27 de cada lado de la línea. Ambos resultados hacen necesaria la asignación de 3 personas de cada lado de línea, para un total de 6, se aplique o no la automatización.

Usando el volumen de producción de los 4 códigos en los que se logra reducir la cantidad de asociados de línea necesarios, se calculó la cantidad de horas hombre ahorradas y por lo tanto el ahorro de costo de la operación, este ahorro resultó en un total de \$18,000 anuales.

La intención en la planta es implementar una ensambladora a cada lado de la línea para mantener ésta balanceada, lo que resulta en una inversión total de \$10,000, por lo que la inversión total es recuperada debido a los ahorros generados en un plazo de 7 meses.

Cabe resaltar en el cálculo anterior no se consideraron los insumos del prototipo durante su operación, estos insumos tienen la forma de consumo energía eléctrica en kilowatt/hora (kWh) y consumo de aire comprimido en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Por otra parte, tampoco se tomaron en cuenta otro tipo de ahorros generados al reducir la cantidad de asociados de línea como los cargos sociales que requieren la contratación de personal o los insumos generados por las facilidades de la empresa de las que hace uso dicho personal.

Debido a esto las cifras de ahorro e inversión expuestas en este documento deben tomarse solamente como una estimación inicial, en la cual se puede basar un estudio más a fondo.

## Capítulo 13. Conclusiones

Contrastando los resultados obtenidos de la implementación del prototipo contra los objetivos planteados al inicio del proyecto se generaron las siguientes conclusiones:

- Se diseñó un sistema de alimentación que capaz de ser cargado en masa con las piezas Luer Lock y Vented Cap, y con la capacidad de alimentar estas piezas a una tasa mayor que 40 ppm.
- Se diseñó un sistema de ensamble capaz de realizar el subensamble tapa-conector baje en un tiempo de 1.1s, con la longitud de los subensambles producidos menor a 37mm.
- Se implementó completamente un prototipo capaz de realizar el subensamble tapa-conector de manera automática, usando principalmente componentes existentes en la planta.
- Se determinó que la implementación de la máquina mejora significativamente la calidad de los subensambles producir y, mediante un análisis inicial de costos y ahorros, que la inversión de la máquina es recuperable en un plazo de 7 meses.

En conclusión, se logró alcanzar el objetivo principal planteado para el proyecto, al diseñar y construir una máquina automática con los componentes disponibles y apegándose a las especificaciones de tamaño y de tasa de entrega que se definieron.

Aunque no se pudieron realizar pruebas de funcionamiento exhaustivas, si se lograron detectar tanto las fortalezas como las debilidades del diseño utilizado, y con estas se generaron las recomendaciones expuestas en el siguiente capítulo.

## Capítulo 14. Recomendaciones

### Recomendaciones para la implementación de la máquina final

- Incluir resguardos mecánicos fijos en el diseño, que cubran las partes móviles de la máquina como los pistones y motores para evitar peligros de atrapamiento y aplastamiento.
- Manufacturar las piezas estructurales de la máquina, como los soportes de los actuadores y los canales de transferencia, en aluminio anodizado, esto permite mantener los estándares del cuarto limpio en el que la máquina se debe de instalar.
- Realizar un montaje ajustable de los pistones ADVU del módulo de empuje, para permitir la variación de la longitud final de los subensambles producidos por la máquina.
- Diseñar el montaje de los actuadores y sensores con fácil acceso para permitir que a estos se les pueda dar mantenimiento preventivo o que puedan ser reemplazados sin complicaciones.
- Dimensionar la tolva de los alimentadores para una capacidad de almacenamiento mayor, dependiendo de la frecuencia con la que se pretende cargar los componentes del subensamble tapa-conector.
- Montar la fibra óptica de los sensores con un radio de dobléz no menor a 10 mm, para evitar la pérdida de rango de sensado.
- Seleccionar una deslizadera DGC para el movimiento del tubo oscilante con una carrera de al menos 60 mm, esto ayudará a reducir la pérdida eficiencia que se detectó cuando la punta del tubo oscilante no sobrepasa el nivel de piezas dentro de la tolva.

- Diseñar los canales de transferencia por los que recorren las piezas, con tan pocas partes como sea posible, ya que las imperfecciones de la interfaz entre las distintas partes de los canales son puntos donde las piezas se pueden quedar atascadas.
- Rediseñar el montaje de las tapas de los canales de transferencia utilizando bisagras que permitan el acceso para tareas de mantenimiento o resolver problemas como atascamiento de piezas.
- Montar dentro de un gabinete eléctrico todos los componentes del sistema de control, este puede ser montado debajo de la máquina reduciendo así el espacio total de esta y también evita que los componentes electrónicos sean manipulados indebidamente.
- Implementar un sensor inductivo para la detección la posición de los motores paso a paso que permitan girar los motores hasta su posición inicial cuando la máquina es encendida.

## Bibliografía

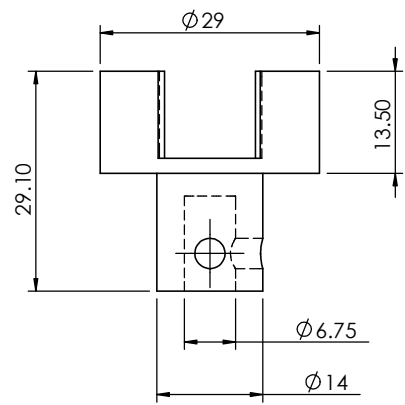
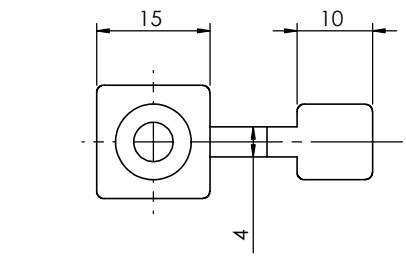
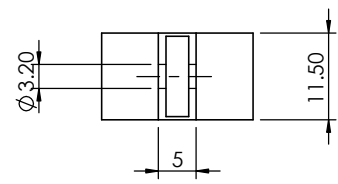
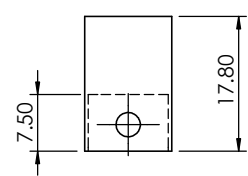
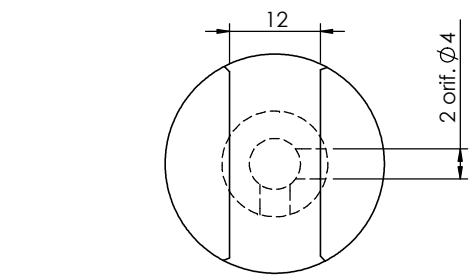
- [1] **Baxter Productos Médicos, Ltda.**, *Presentación de inducción inicial*, Cartago, 2015.
- [2] **Baxter Medical Products, Ltda.**, «Standard Operating Procedure: 2H7462,» Cartago, C.R., 2015.
- [3] **Baxter Productos Médicos, Ltda.**, *Presentación de orientación de departamento: Productos y Procesos*, Cartago.
- [4] **R. Crowson**, *Assembly Processes: Finishing, Packaging, and Automation*, Second ed., New York: Taylor & Francis, 2006.
- [5] **S. Gosh y S. Parteek Singh**, «Optimizing feeding systems,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.intechopen.com/books/assembly-line-theory-and-practice/optimizing-feeding-systems>.
- [6] **G. Boothroyd**, *Assembly Automation and Product Design*, Second ed., Boca Ranton: Taylor & Francis, 2005.
- [7] **B. Benhabib**, *Manufacturing: Design, Production, Automation, and Integration*, New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.
- [8] **F. Kreith y D. Y. Goswami**, *The CRC Handbook of Mechanical Engineering*, New York: CRC PRESS, 2004.



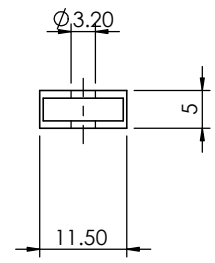
- [9] **F. J. Riley**, Assembly Automation: A Management Handbook, Second ed., New York: Industrial Press Inc., 1996.
- [10] **M. P. Groover**, Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas, Primera ed., Naucalpan: Prentice Hall Hispanoamérica, 1997.
- [11] **K. Roebuck**, 3D Printing: High-impact Emerging Technology - What You Need to Know: Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors., Emereo Publishing , 2012.
- [12] **V. Zukas y J. A. Zukas**, An Introduction to 3D Printing, Sarasota: First Edition Design Publishing, 2015.
- [13] **J. Hiemenz**, «3D Printing with FDM Technology: How it Works,» Stratasys, 8 Setiembre 2015. [En línea]. Available: <http://blog.stratasys.com/2012/09/08/excerpt-3-3d-printing-with-fdm-technology-how-it-works/>. [Último acceso: 24 Octubre 2015].
- [14] **M. Barón**, Enseñar y Aprender Tecnología: Propuestas didácticas desde la Teoría de Sistemas, Buenos Aires: Novedades Educativas, 2004.
- [15] **S. Millán Teja**, Automatización Neumática y Electroneumática, Barcelona: Marcombo, 1996.
- [16] **A. Creus Solé**, Neumática e Hidráulica, Segunda ed., Barcelona: Marcombo, 2011.

- [17] **V. Athani**, Stepper Motors: Fundamentals, Applications and Design, New Delhi: New Age International, 2005.
- [18] **J. Fraden**, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications, Fourth ed., New York: Springer, 2010.
- [19] **B. D. Gupta**, Fiber Optic Sensors: Principles and Applications, New Delhi: NIPA, 2006.
- [20] **E. Jiménez Macías**, «Tesis doctoral: Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales,» Universidad de la Rioja, La Rioja, 2004.
- [21] **Cubify**, «CubePro tech specs,» 2014. [En línea]. Available: <http://cubify.com/cubepro/techspecs>. [Último acceso: 25 Octubre 2015].
- [22] **National Instruments**, «How to Choose the Right Relay,» 19 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/2774/en/>. [Último acceso: 25 Octubre 2015].
- [23] **OMRON**, «Product Catalogue: CX-One,» 2015. [En línea]. Available: [https://industrial.omron.eu/en/products/catalogue/automation\\_systems/software/configuration/cx-one/default.html](https://industrial.omron.eu/en/products/catalogue/automation_systems/software/configuration/cx-one/default.html). [Último acceso: 2 Noviembre 2015].

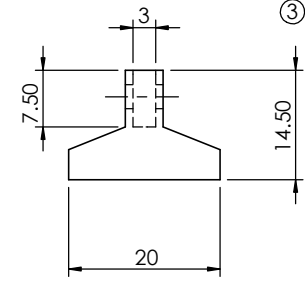
## Apéndice A.1 Planos del prototipo



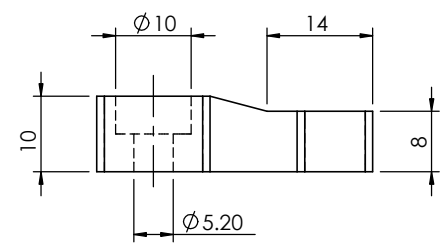
①



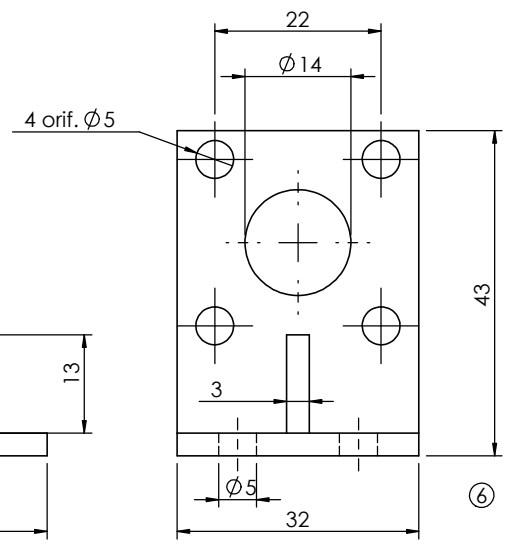
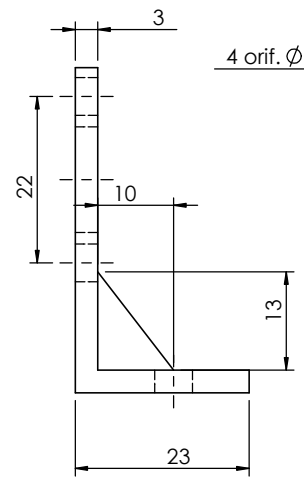
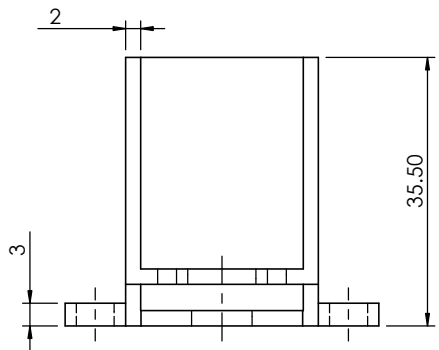
②



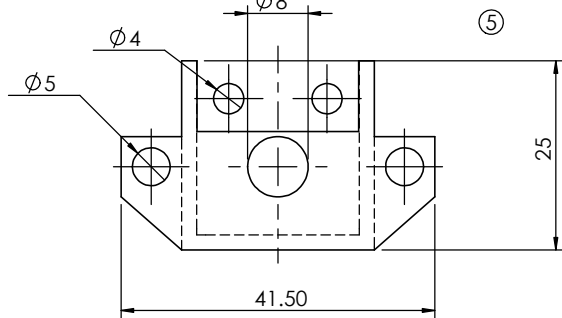
③



④



⑥

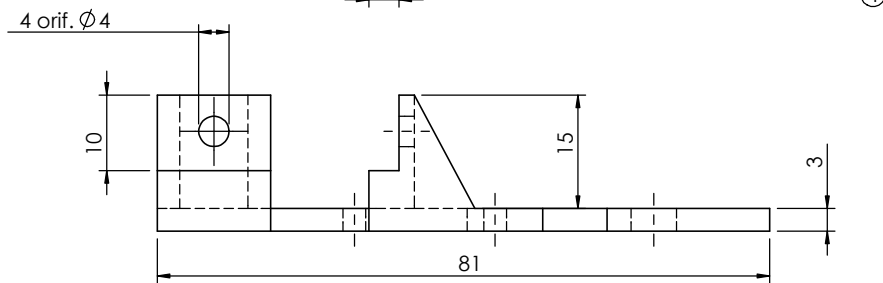
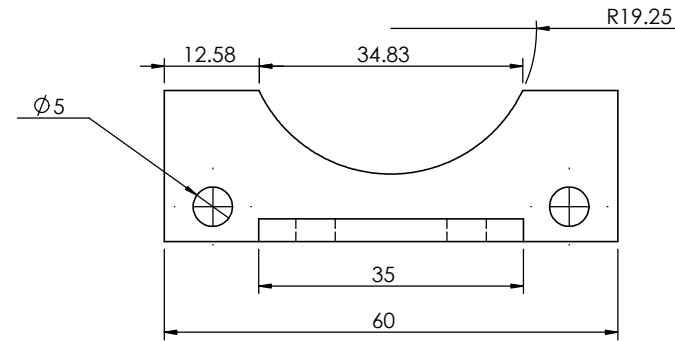
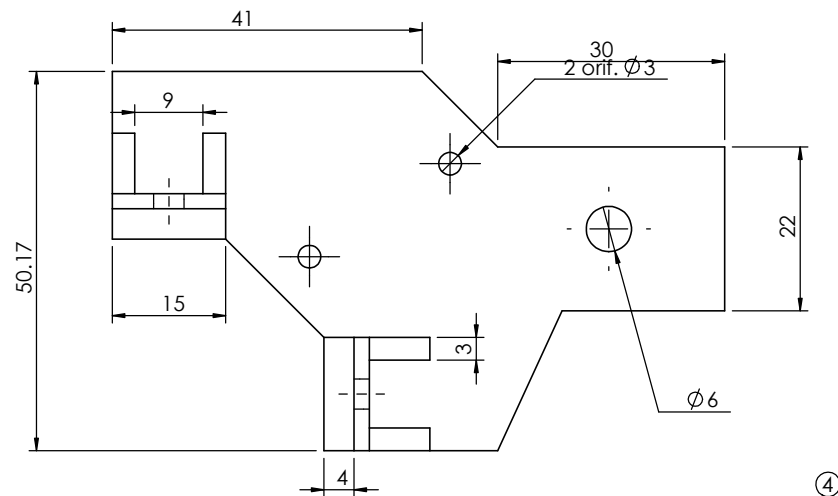
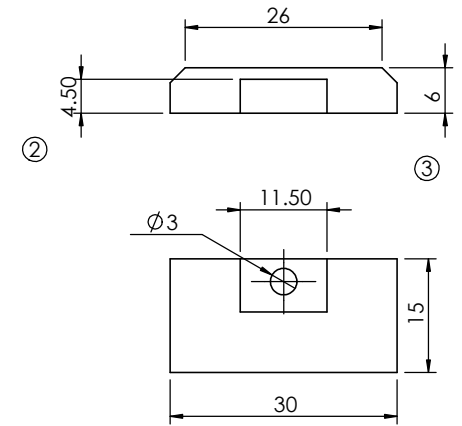
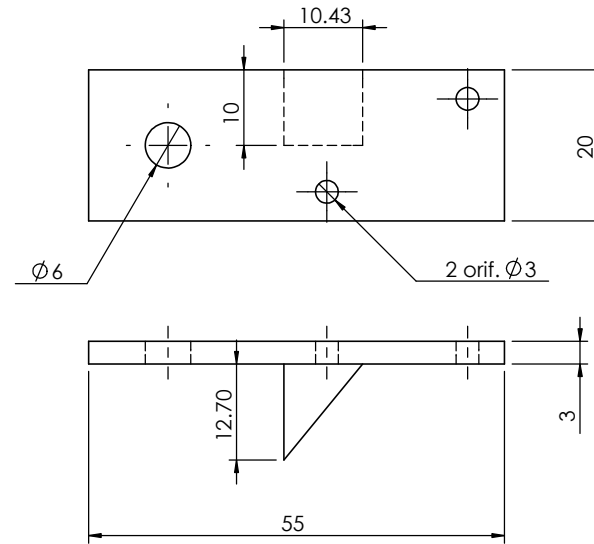
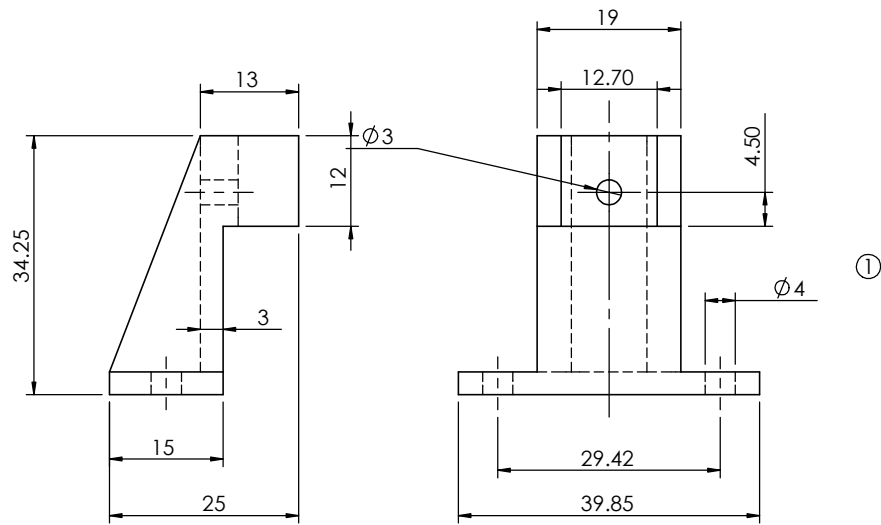


⑤

N° de elemento	Código	Nombre
1	M01.01.01	Herramienta giratoria
2	M01.01.02	Herramienta de escape inferior
3	M01.01.03	Herramienta de escape superior
4	M01.01.04	Herramienta de empuje
5	M01.01.05	Soporte de pistón de expulsión
6	M01.01.06	Soporte de pistón de empuje

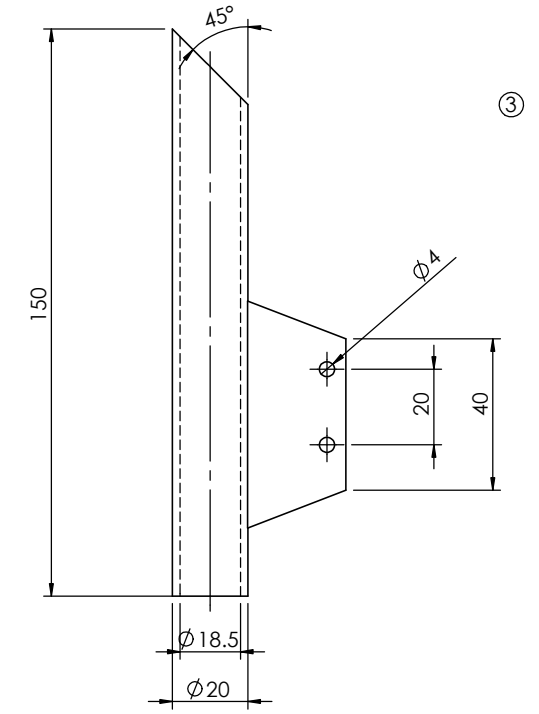
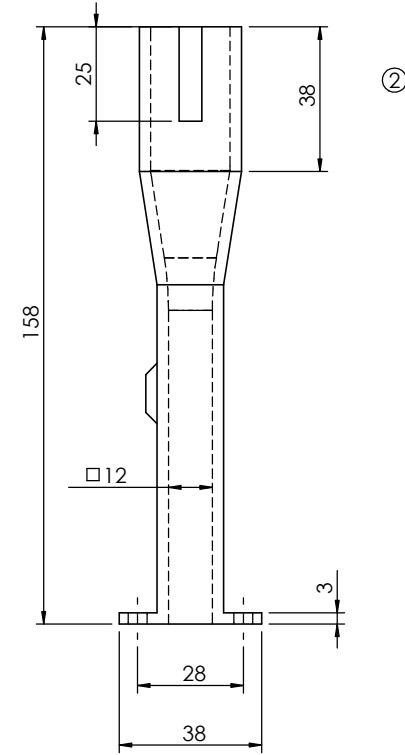
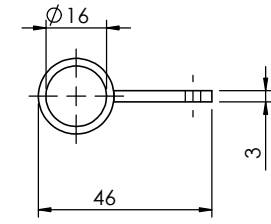
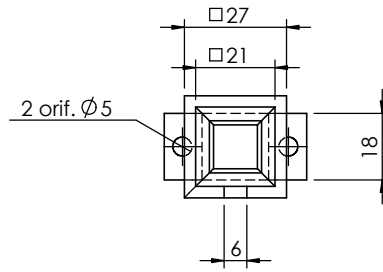
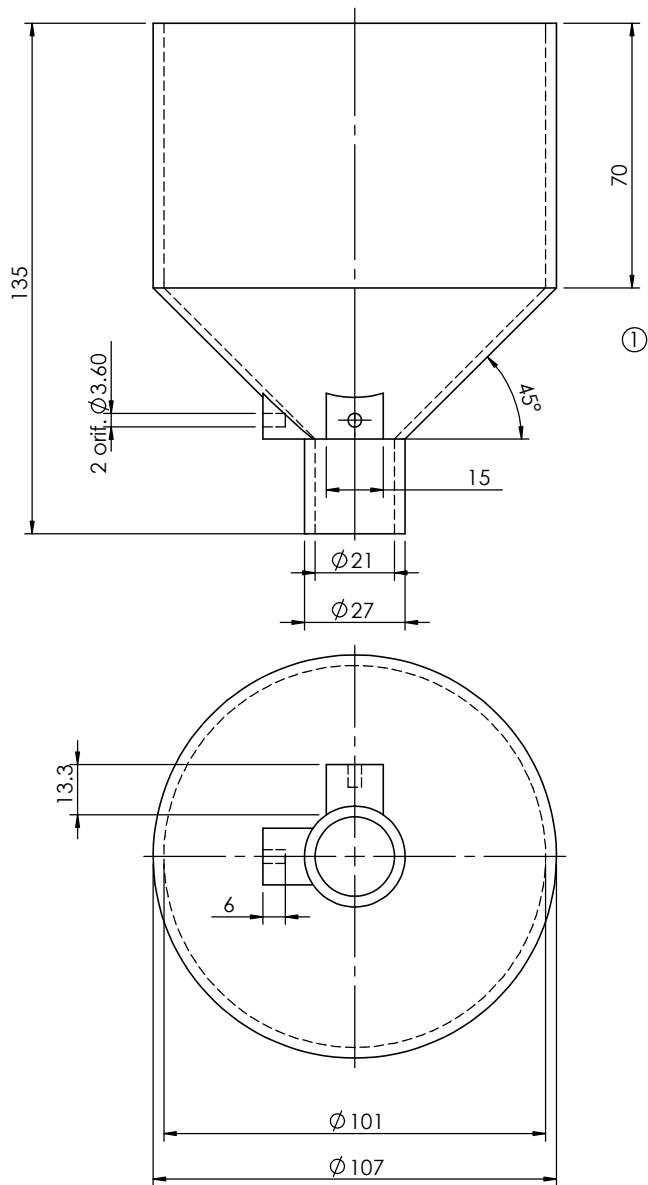
CÓDIGO: <b>M01.01.00</b>			PARTE: <b>Planos de piezas 1</b>			MATERIAL ABS	UNIDADES mm	ESCALA 1:1
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO: Ensambladora Luer-Cap			Hoja num: 1   Total de hojas: 8		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez							
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							
						<b>Baxter</b>		

Licencia educacional de SolidWorks  
Sólo para uso académico



N° de elemento	Código	Nombre
1	M01.02.01	Soporte pistón compuerta
2	M01.02.02	Soporte deslizadera-item
3	M0.02.03	Compuerta
4	M01.02.03	Soporte deslizadera-tolva
5	M01.02.05	Soporte motor

CÓDIGO: M01.02.00			PARTE: Planos de piezas 2			MATERIAL ABS	UNIDADES mm	ESCALA 1:1
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO: Ensambladora Luer-Cap			Hoja num: 2	Total de hojas: 8	
DIBUJ.	Ricardo Fernandez					<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							

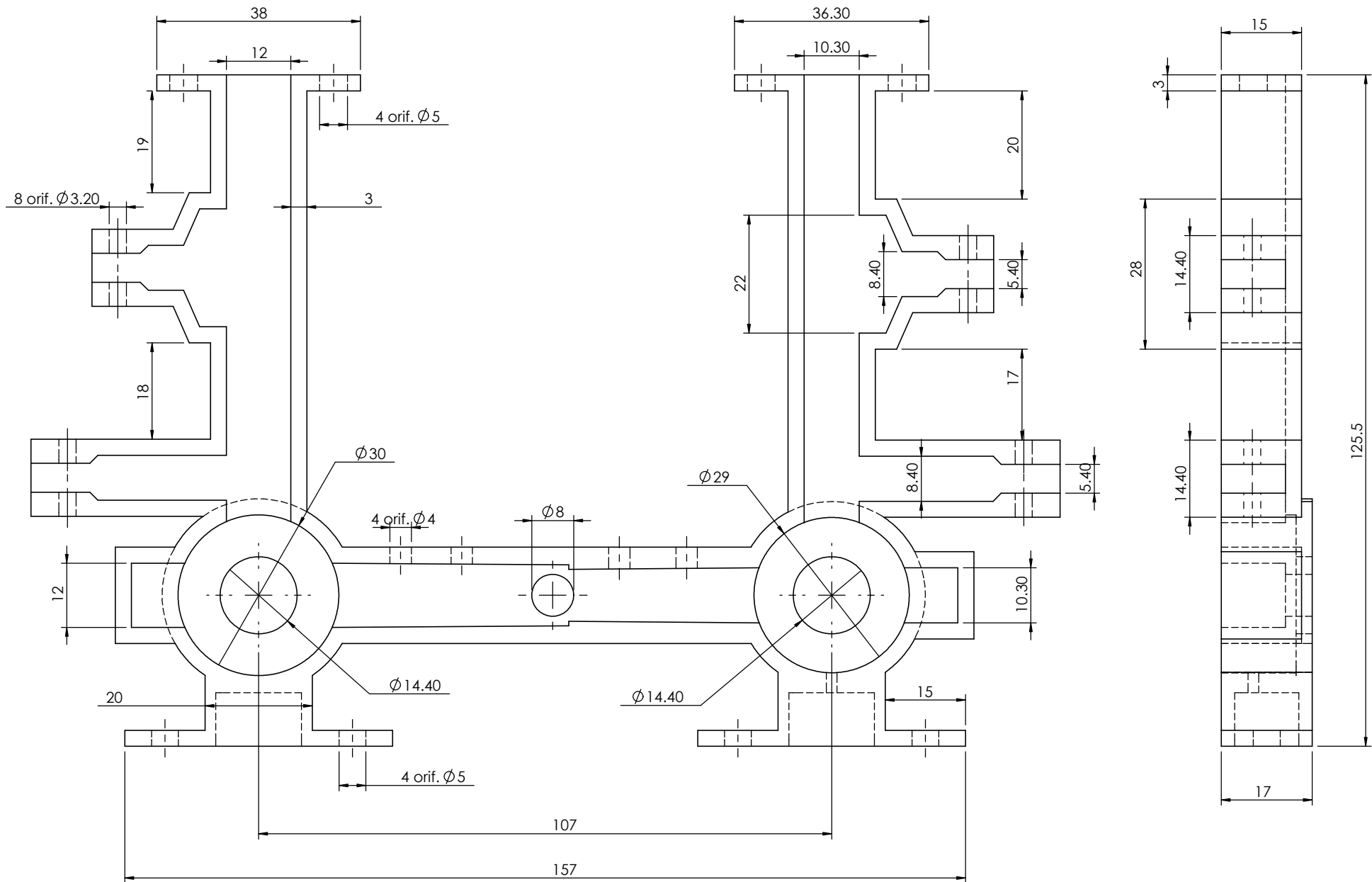


N° de elemento	Código	Nombre
1	M01.03.01	Tolva
2	M01.03.02	Guía de acople
3	M01.02.03	Tubo oscilante

CÓDIGO: M01.03.00			PARTE: Planos de piezas 3			MATERIAL: ABS	UNIDADES: mm	ESCALA: 1:2
TÍTULO:	NOMBRE:	FIRMA:	PROYECTO: Ensambladora Luer-Cap			Hoja num: 3 Total de hojas: 8		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez							
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							

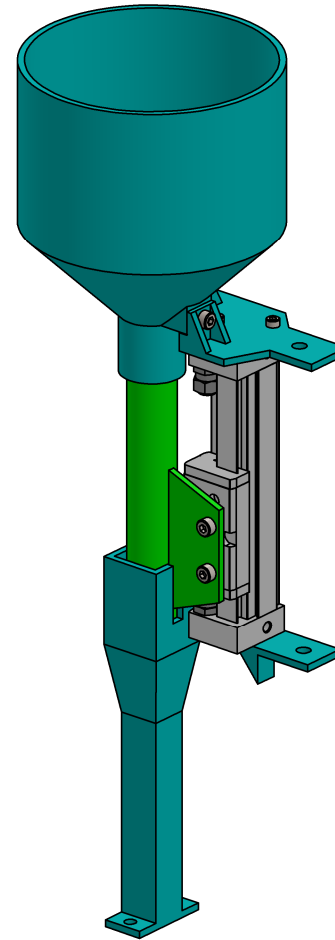
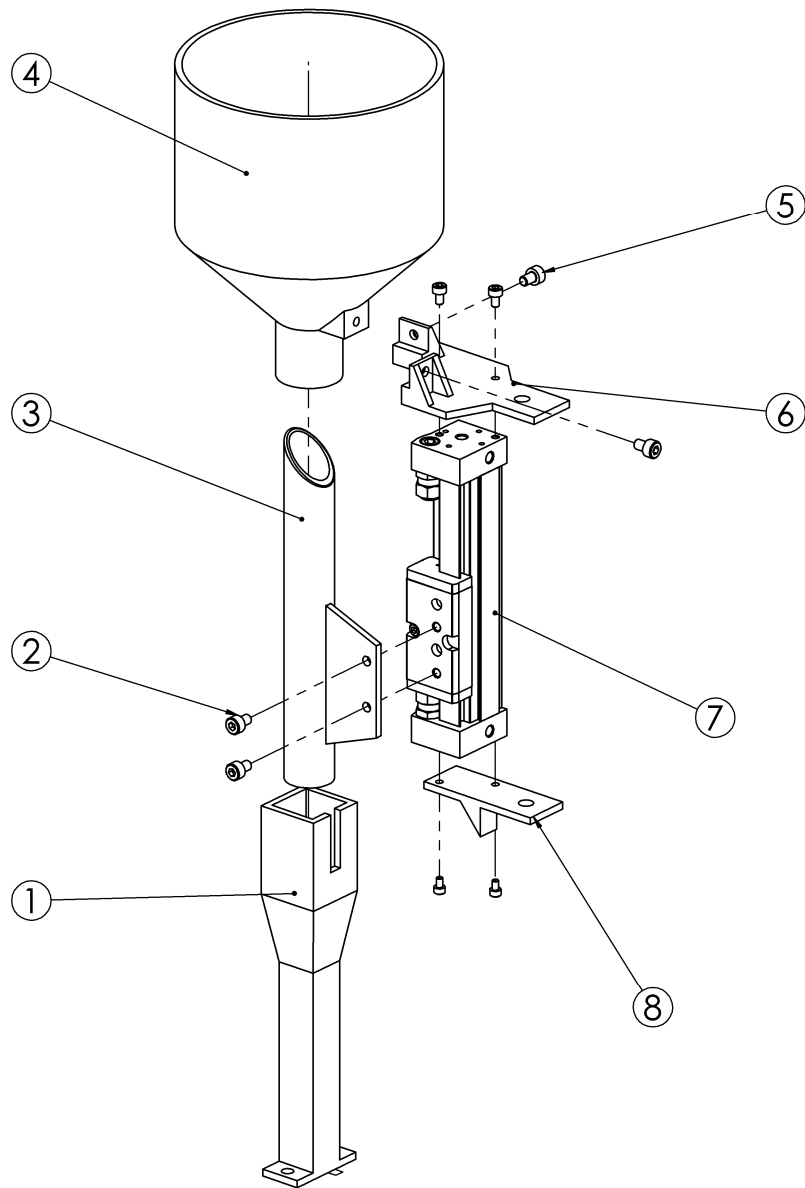
Licencia educacional de SolidWorks  
Sólo para uso académico





CÓDIGO: <b>M01.04.00</b>			PARTE: <b>Guía de ensamble</b>		MATERIAL ABS	UNIDADES mm	ESCALA 1:1
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO: Ensambladora Luer-Cap		Hoja num: 4	Total de hojas: 8	
DIBUJ.	Ricardo Fernandez				<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho						
FABRI.	Ricardo Fernandez						

**Licencia educacional de SolidWorks  
Sólo para uso académico**



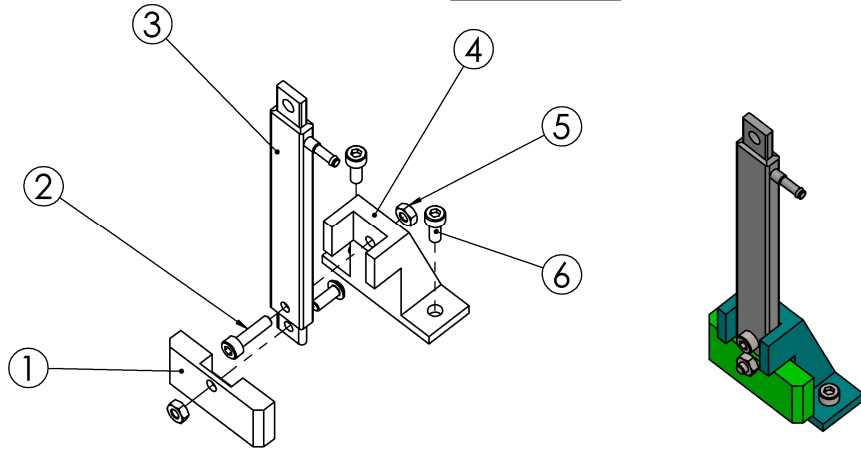
N°	Código	Nombre	Cantidad
1	M01.03.02	Guía acople	1
2	-	Tornillo M3	6
3	M01.02.03	Tubo oscilante	1
4	M01.03.01	Tolva	1
5	-	Tornillo M4	2
6	M01.02.04	Soporte deslizadera-tolva	1
7	-	Deslizadera DGC-8-130	1
8	M0.02.02	Soporte deslizadera-item	1

CÓDIGO: M01.05.00			PARTE: Subconjunto sistema de alimentación		MATERIAL ABS	UNIDADES mm	ESCALA 1:3
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO:		Hoja num: 5 Total de hojas: 8		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez		Ensambladora Luer-Cap		<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho						
FABRI.	Ricardo Fernandez						

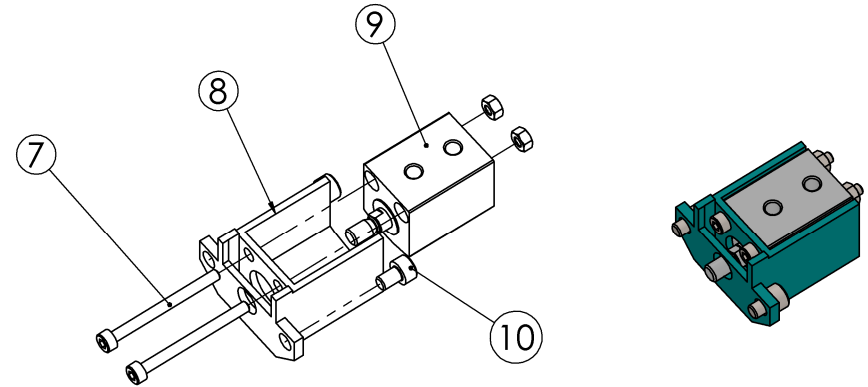
**Licencia educacional de SolidWorks  
Sólo para uso académico**



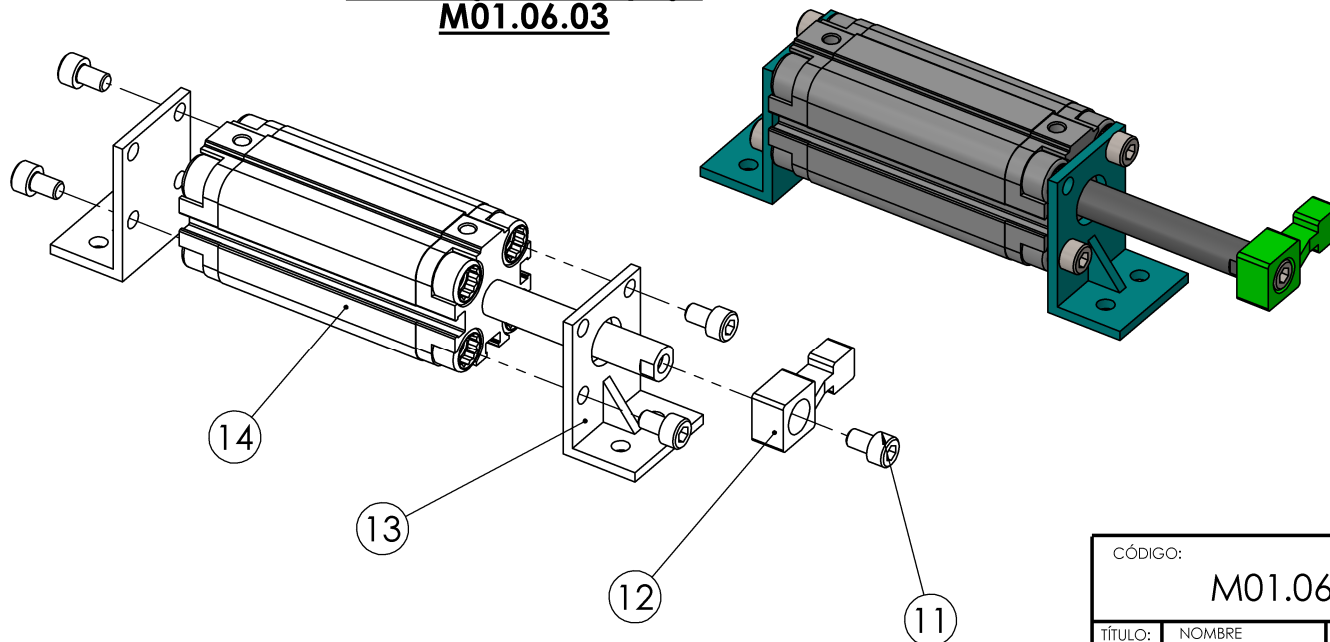
**Subconjunto compuerta**  
**M01.06.01**



**Subconjunto expulsión**  
**M01.06.02**



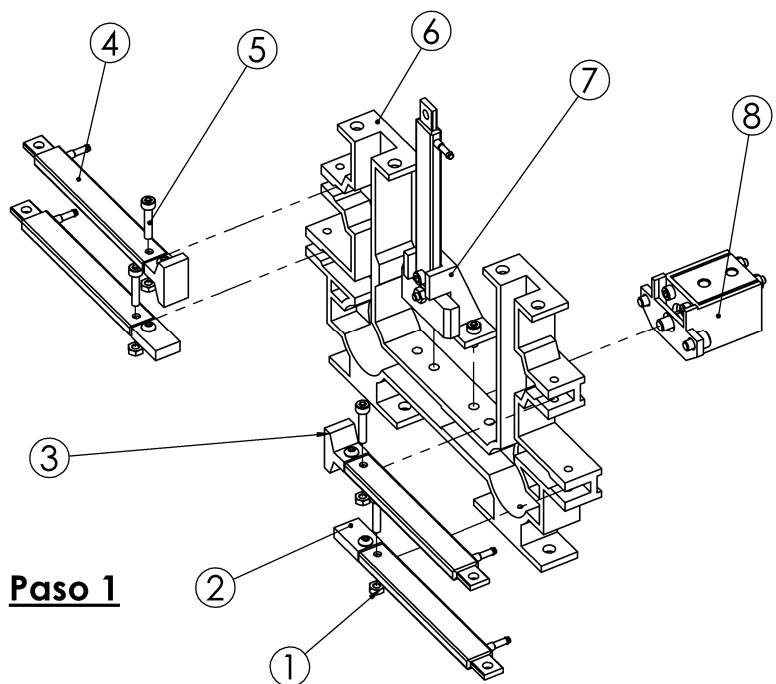
**Subconjunto empuje**  
**M01.06.03**



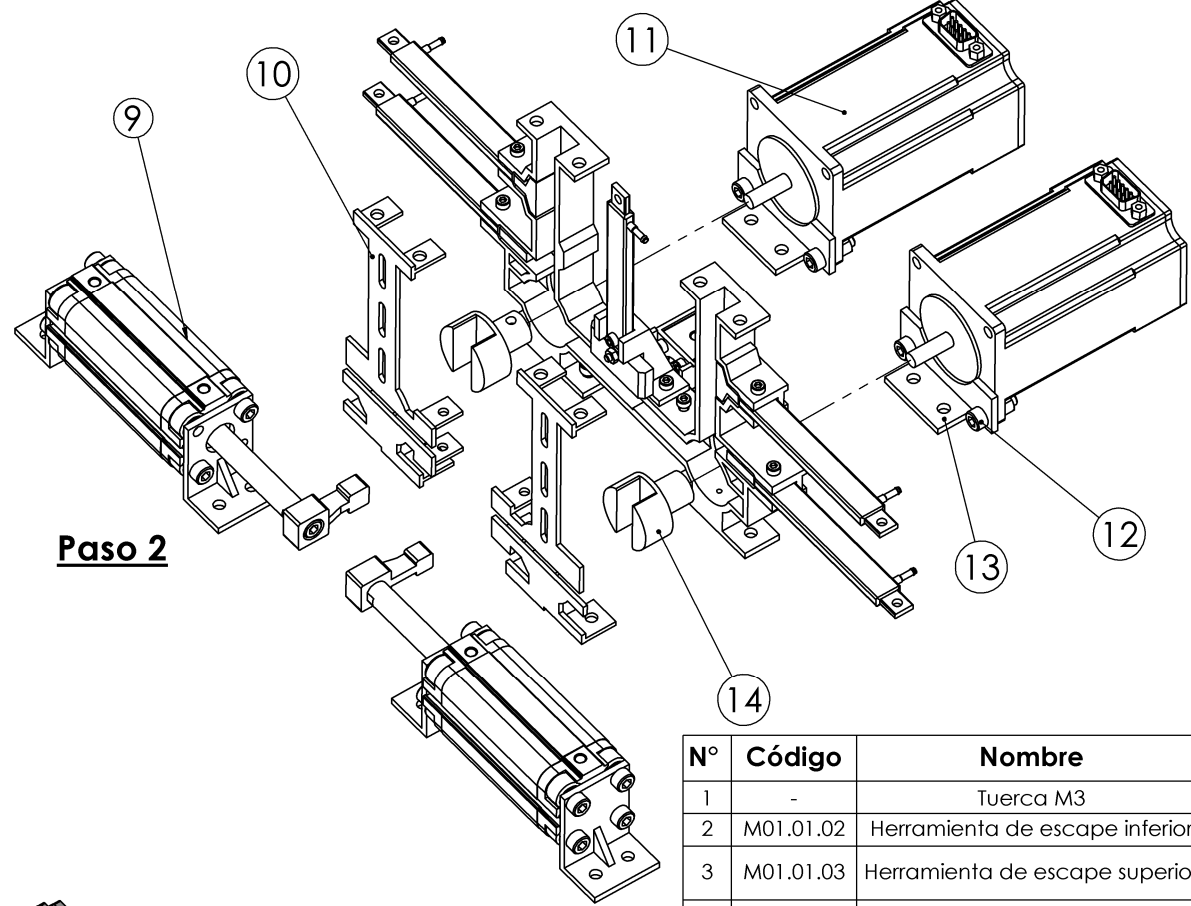
N°	Código	Nombre	Cantidad
1	M0.02.03	Compuerta	1
2	-	Tornillo M3x12	2
3	-	Pistón EZH 2.5/9-20	1
4	M01.02.01	Soporte pistón compuerta	1
5	-	Tuerca M3	4
6	-	Tornillo M4x10	2
7	-	Tornillo M3x35	2
8	M01.01.05	Soporte de piston de expulsión	1
9	-	Pistón ADVU-12-10	1
10	-	Tornillo M4x10	2
11	-	Tornillo M5 x 10	4
12	M01.01.04	Herramienta de empuje	1
13	M01.01.06	Soporte de pistón de empuje	2
14	-	Pistón ADVU-20-50	1

CÓDIGO: <b>M01.06.00</b>		PARTE: <b>Subconjuntos 1</b>		MATERIAL ABS	UNIDADES mm	ESCALA 1:2
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO: Ensambladora Luer-Cap		Hoja num: 6 / Total de hojas: 8	
DIBUJ.	Ricardo Fernandez				<b>Baxter</b>	
VERIF.	Esteban Camacho					
FABRI.	Ricardo Fernandez					

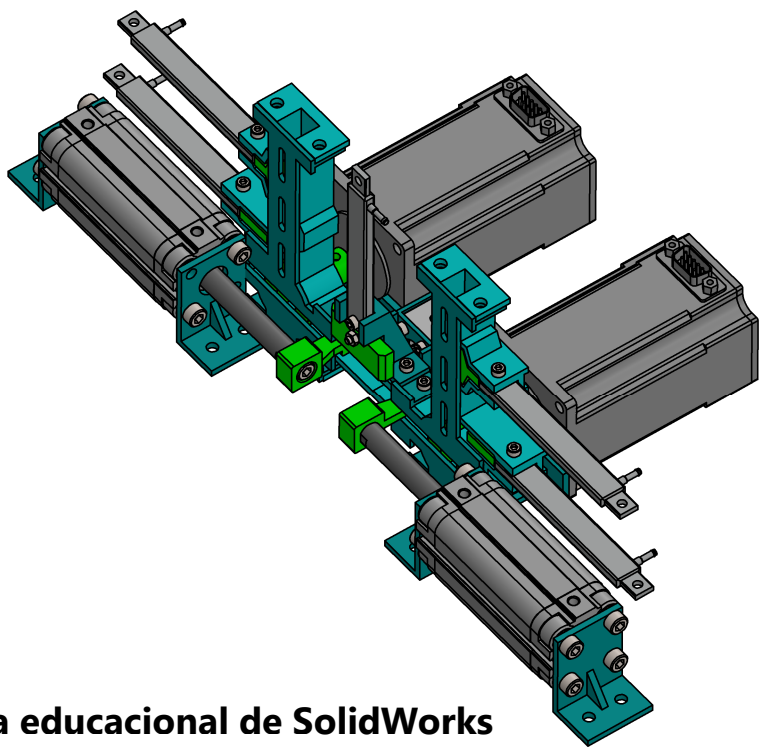
**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**



**Paso 1**



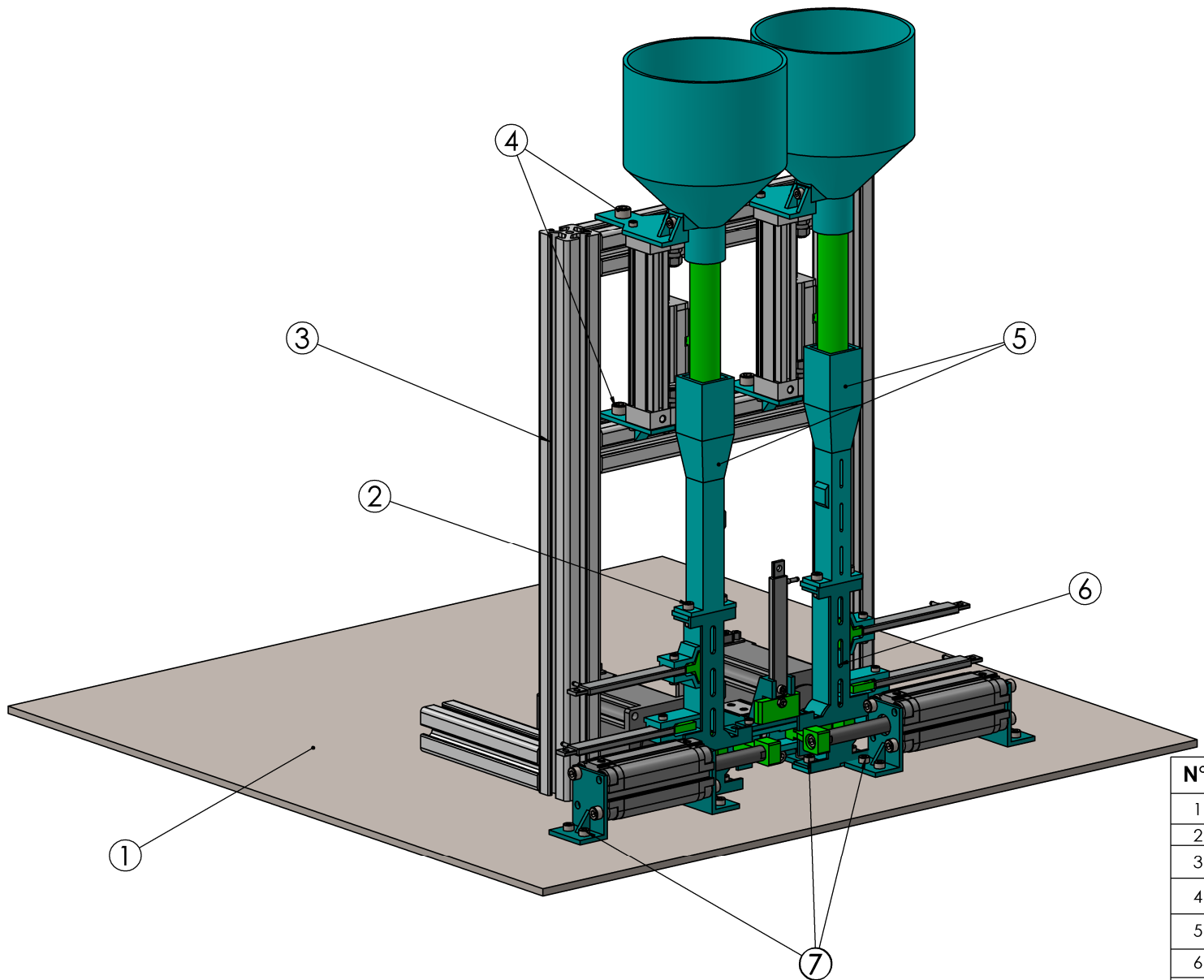
**Paso 2**



N°	Código	Nombre	Cantidad
1	-	Tuerca M3	4
2	M01.01.02	Herramienta de escape inferior	2
3	M01.01.03	Herramienta de escape superior	2
4	-	Pistón EZH 2.5/9-20	4
5	-	Tornillo M3x16	4
6	M01.04.00	Guía de ensamblaje	1
7	M01.06.01	Subconjunto compuerta	1
8	M01.06.02	Subconjunto expulsión	1
9	M01.06.03	Subconjunto empuje	2
10	-	Tapas	2
11	-	Motor EMMS-ST-57_M	2
12	M01.02.05	Soporte motor	2
13	-	Tornillo M5x10	4
14	M01.01.01	Herramienta giratoria	2

CÓDIGO: <b>M01.07.00</b>			PARTE: <b>Subconjunto sistema ensamble</b>		MATERIAL ABS	UNIDADES mm	ESCALA 1:3
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO:		Hoja num: 7 / Total de hojas: 8		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez		Ensambladora Luer-Cap		<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho						
FABRI.	Ricardo Fernandez						

**Licencia educacional de SolidWorks  
Sólo para uso académico**

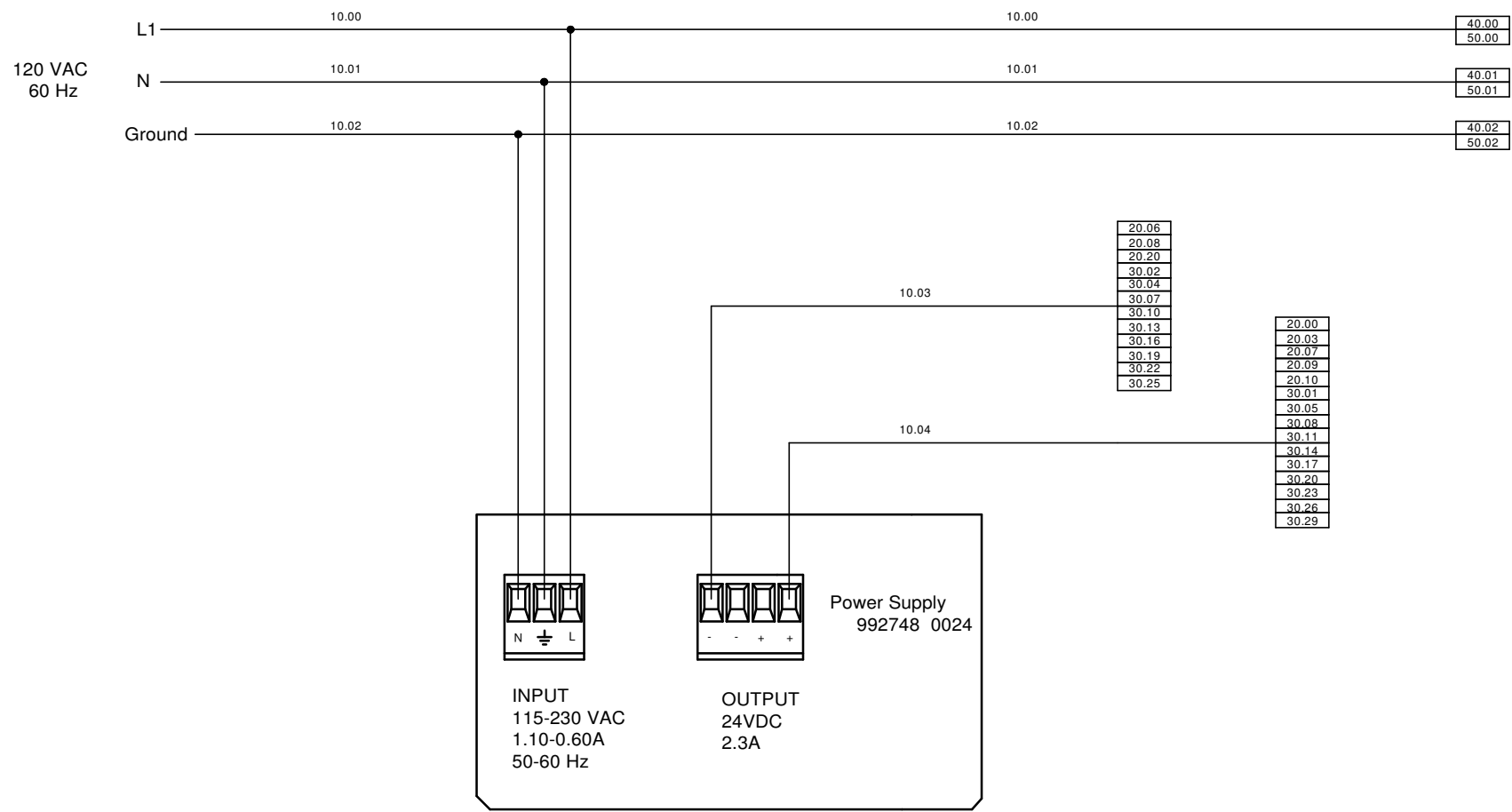


N°	Código	Nombre	Cantidad
1	-	Placa base de aluminio	1
2	-	Tornillo M4x12	4
3	-	Estructura ITEM 30	1
4	-	Tornillo M6x12	4
5	M01.05.00	Subconjunto sistema de alimentación	2
6	M01.07.00	Subconjunto sistema ensamble	1
7	-	Tornillo M4 x 8	16

CÓDIGO:		M01.08.00		PARTE:		Ensambladora Luer-Cap		MATERIAL	UNIDADES	ESCALA
TÍTULO:		NOMBRE		FIRMA				ABS	mm	1:4
DIBUJ.		Ricardo Fernandez				PROYECTO:		Hoja num: 8		Total de hojas: 8
VERIF.		Esteban Camacho				Ensambladora Luer-Cap		<b>Baxter</b>		
FABRI.		Ricardo Fernandez								

**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**

## Apéndice A.2 Diagramas de conexión

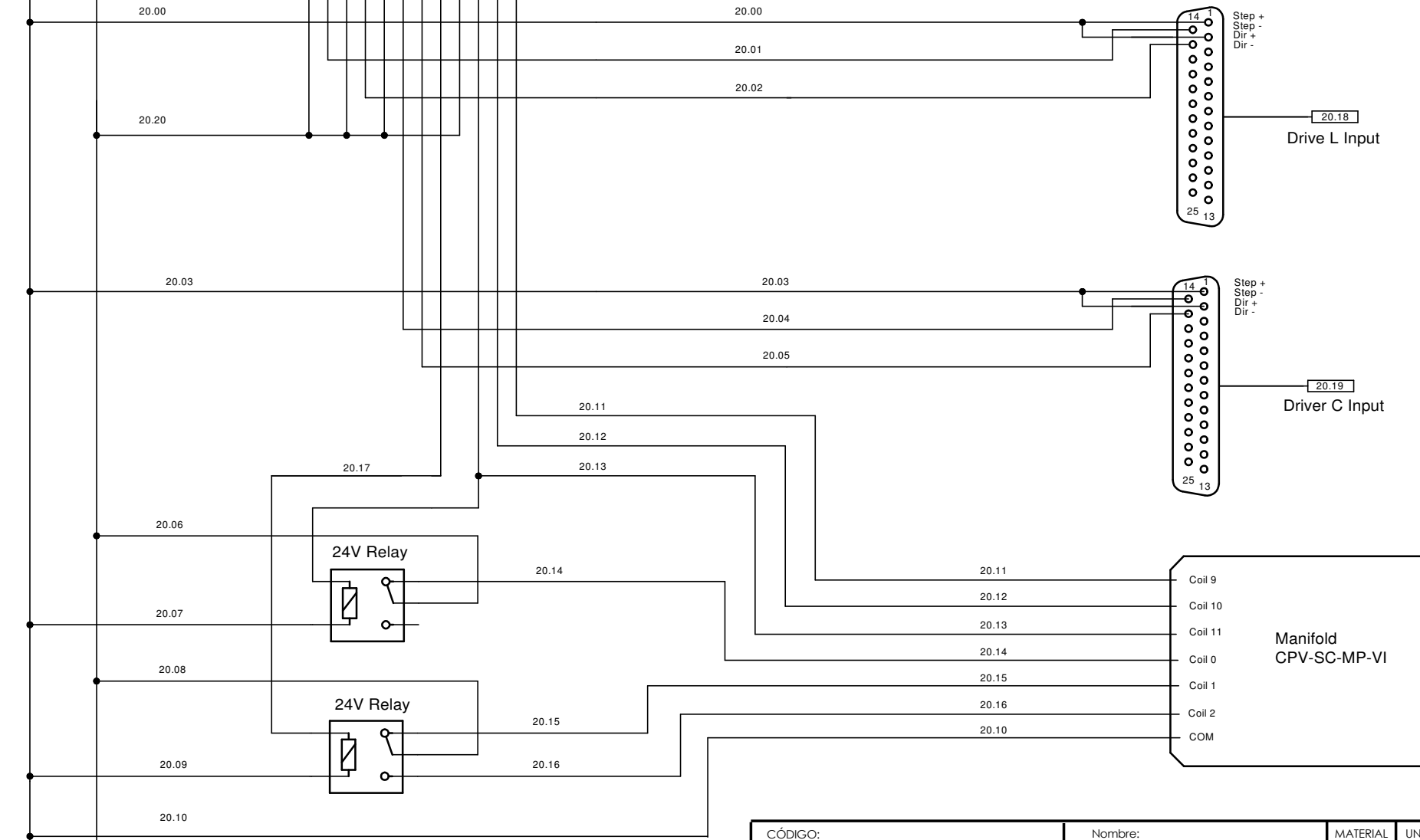
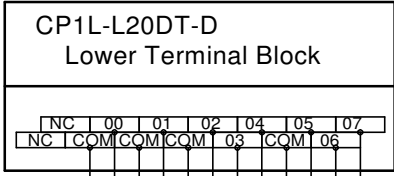


CÓDIGO: <b>E010</b>			Nombre: <b>Distribución de alimentación</b>			MATERIAL	UNIDADES	ESCALA
						N/A	N/A	N/A
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO:			Hoja num: 1   Total de hojas: 5		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez		Ensambladora Luer-Cap			<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							

**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**

24 VDC DC COM

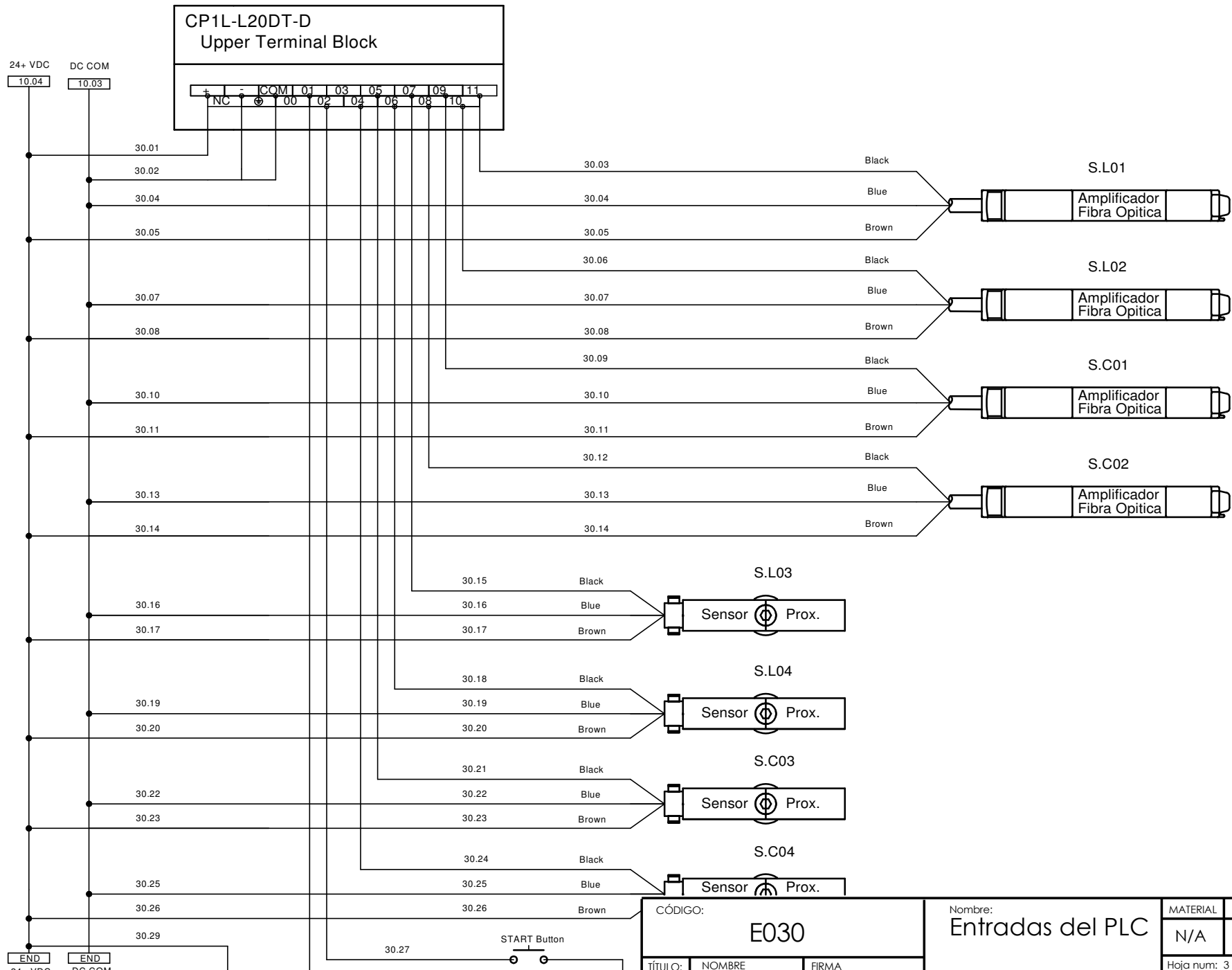
10.04 10.03



END END  
24+ VDC DC COM

CÓDIGO: <b>E020</b>			Nombre: <b>Salidas del PLC</b>			MATERIAL N/A	UNIDADES N/A	ESCALA N/A
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO: <b>Ensambladora Luer-Cap</b>			Hoja num: 2	Total de hojas: 5	
DIBUJ.	Ricardo Fernandez					<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							

**Licencia educacional de SolidWorks  
Sólo para uso académico**



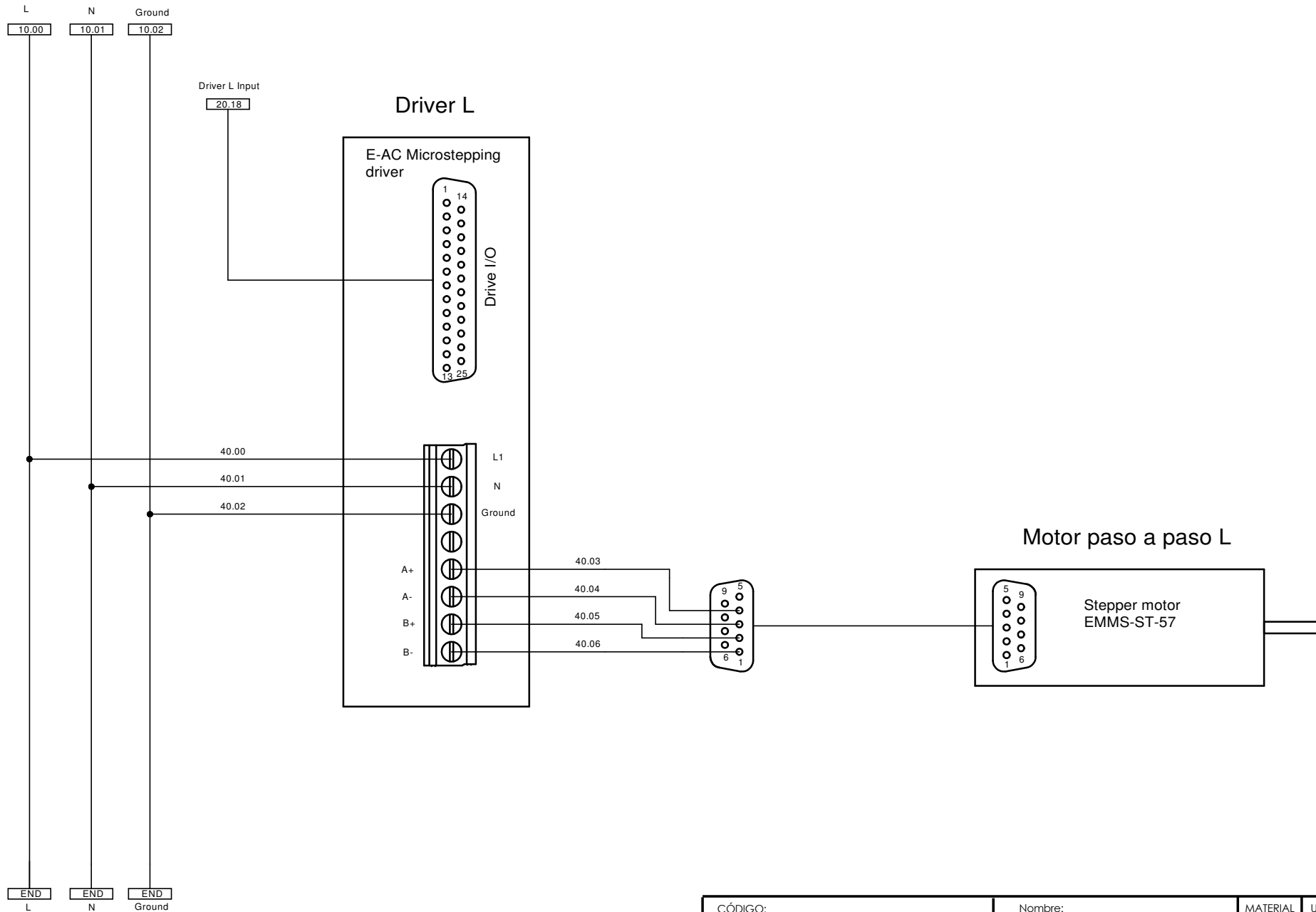
CÓDIGO: <b>E030</b>		
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA
DIBUJ.	Ricardo Fernandez	
VERIF.	Esteban Camacho	
FABRI.	Ricardo Fernandez	

Nombre: Entradas del PLC
PROYECTO: Ensambladora Luer-Cap

MATERIAL	UNIDADES	ESCALA
N/A	N/A	N/A
Hoja num: 3	Total de hojas: 5	

**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**

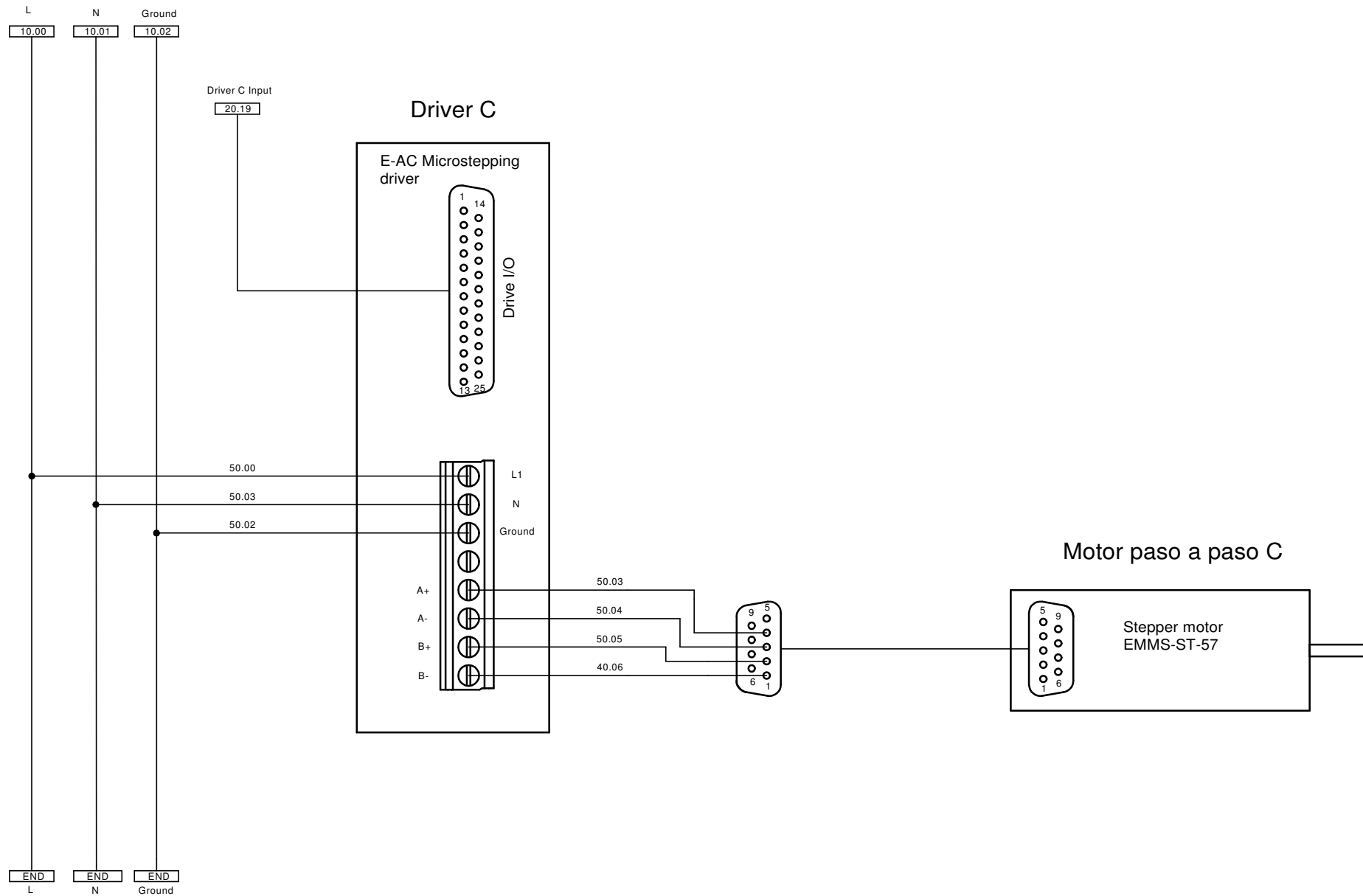




CÓDIGO: <b>E040</b>			Nombre: <b>Conexiones Motor Luer</b>			MATERIAL	UNIDADES	ESCALA
						N/A	N/A	N/A
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO:			Hoja num: 4   Total de hojas: 5		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez		Ensambladora Luer-Cap			<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							

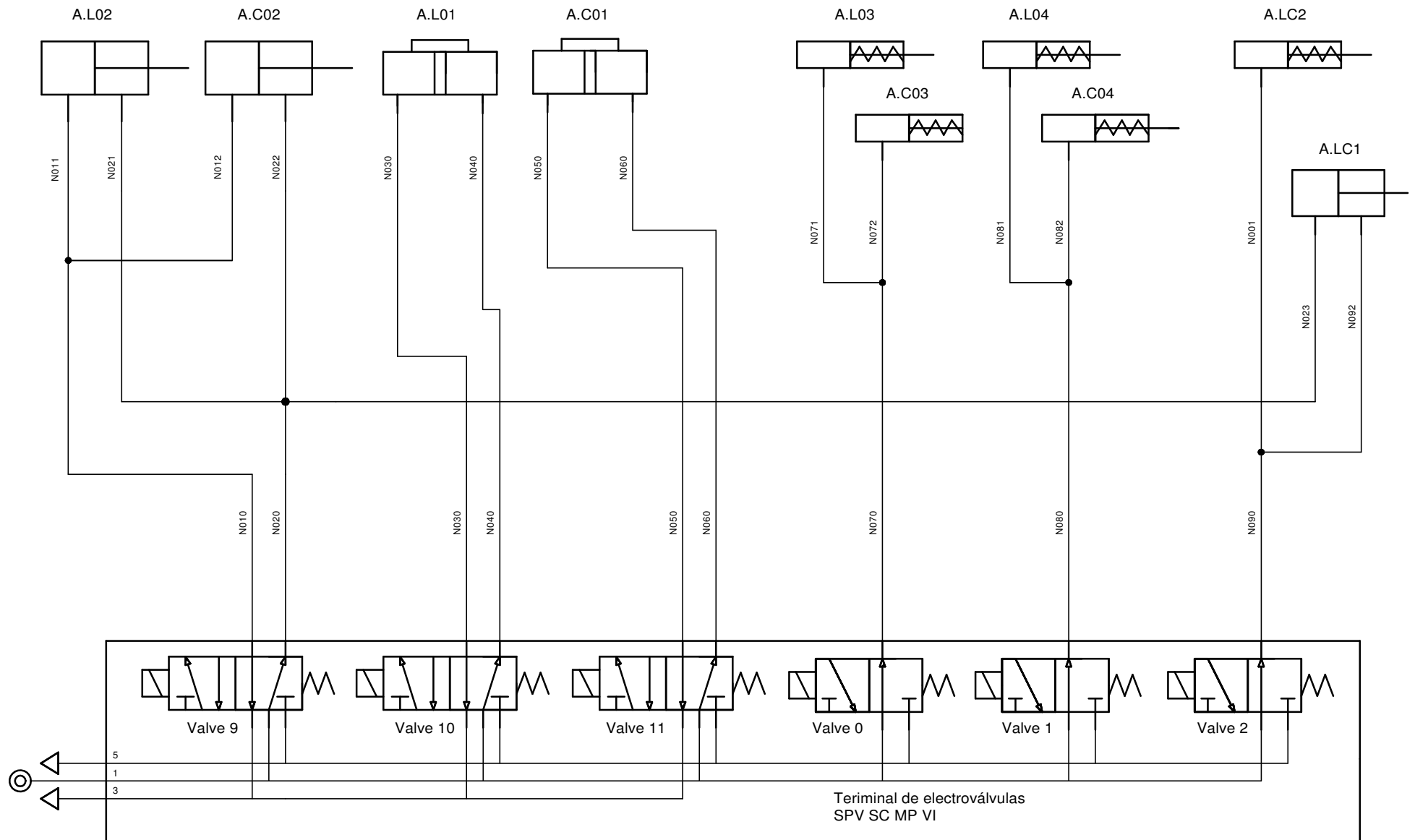
**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**





**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**

CÓDIGO: <b>E050</b>			Nombre: <b>Conexiones Motor Cap</b>			MATERIAL N/A	UNIDADES N/A	ESCALA N/A
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO: <b>Ensambladora Luer-Cap</b>			Hoja num: 5 Total de hojas: 5		
DIBUJ.	Ricardo Fernandez					<b>Baxter</b>		
VERIF.	Esteban Camacho							
FABRI.	Ricardo Fernandez							



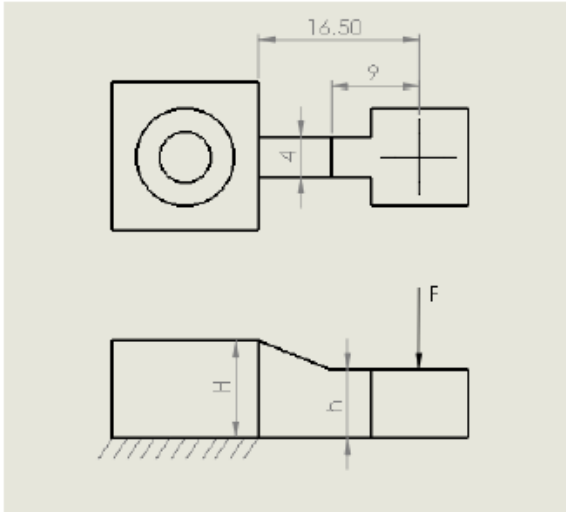
CÓDIGO:		PARTE:		MATERIAL	UNIDADES	ESCALA
N001		Diagrama Neumático		N/A	N/A	N/A
TÍTULO:	NOMBRE	FIRMA	PROYECTO:		Hoja num: 1	Total de hojas: 1
DIBUJ.	Ricardo Fernandez		Ensambladora Luer-Cap			
VERIF.	Esteban Camacho					
FABRI.	Ricardo Fernandez					

**Licencia educacional de SolidWorks**  
**Sólo para uso académico**

**Baxter**

## Apéndice A.3

### Cálculo de espesor para pieza Herramienta de empuje



La fuerza teórica transmitida por el pistón a 6 Bar es 188 N, el factor de seguridad mínimo es de 2 con un esfuerzo de flexión permisible para plástico ABS

$$\sigma_{perm} = 70 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{flex}} \rightarrow \sigma_{flex} = 70/2 = 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{Mc}{I}$$

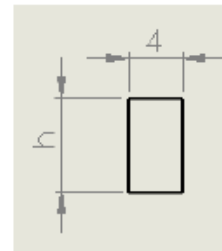
#### Cálculo de h

$$M = Fr = 188 (0.009) = 1.692 \text{ Nm}$$

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = \frac{1}{12} (0.004)(h)^2 = 3.33 \times 10^{-4} h^3 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{flex} = \frac{1.692(0.5h)}{3.33 \times 10^{-4}} = \frac{2538}{h^2} \text{ Pa}$$

$$h = \sqrt{\frac{2538}{35 \times 10^6}} = 8.51 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow h = 9 \text{ mm}$$



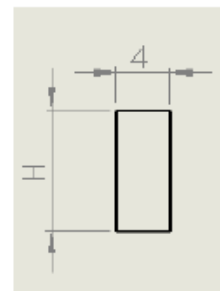
#### Cálculo de H

$$M = Fr = 188 (0.0165) = 3.102 \text{ Nm}$$

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = \frac{1}{12} (0.004)(H)^2 = 3.33 \times 10^{-4} H^3 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{flex} = \frac{3.102(0.5h)}{3.33 \times 10^{-4}} = \frac{4700}{H^2} \text{ Pa}$$

$$H = \sqrt{\frac{4700}{35 \times 10^6}} = 11.58 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow H = 12 \text{ mm}$$



## Anexo B.1 Cotizaciones de alimentadores vibratorios



845 S. Westgate Dr. Addison IL 60101 Tel 630-833-0298 Fax 630-833-0568

Quotation **Q-2748-00**

August 5, 2015

### **BAXTER PRODUCTOS MEDICOS**

Cartago, Costa Rica  
Tel: (506) 8317-4654

RE: F-439

Here is our budgetary quote for the vibratory feeder systems for your **Vented Cap and Luer Lock** project as described below.

#### **Prices:**

##### **Vented Cap**

1 EA. 15" Feeder bowl w/controls, 2-lanes	<b>\$12,250.00</b>
1 EA. Inline Track (24" long each) 2-lanes	<b>\$4,900.00</b>

##### **Luer Lock**

1 EA. 15" Feeder bowl w/controls, 2-lanes	<b>\$12,250.00</b>
1 EA. Inline Track (24" long each) 2-lanes	<b>\$4,900.00</b>

##### **Optional**

2 EA. Hopper 1 Cu Ft.	<b>\$2,900.00ea</b>	<b>\$5,800.00</b>
-----------------------	---------------------	-------------------

**Terms:** 40% with purchase order  
60% balance due 30 days after delivery

**Delivery date:** 18 - 20 weeks as of now, actual delivery date is to be agreed upon date of purchase.

**FOB:** Addison, IL

**Valid:** 30 Days

Thank you for the opportunity to quote.

Best Regards,

Alex Fuentes

August 14, 2015

BAXTER PRODUCTOS MEDICOS  
 AVENDIA 20, PARQUE INDUSTRIAL,  
 GUADALUPE, CARTAGO,  
 COSTA RICA

Attention: RICARDO FERNANDEZ



Quote #: 15-192  
 Revision 0

Dear Sir:

We are pleased to offer this budgetary quotation for the Cap Feeder System for your consideration. VTR will comply with specifications as noted in this document.

If you have any questions or comments feel free to contact the undersigned. (905) 643-7300

Thank you  
 Frank Vromans

**A: CAP (Linear Feeder)**

# of Variants: 1 # of Lanes: 2

PPM: 40

Orientation: Single File : Diameter to diameter, hanging by flange, large splines down, radially at random.

**ITEM I) VIBRATORY HOPPER**

- 1 - 1 Cu Ft Stainless Steel Trough Hopper
- 1 - Low Level Sensor for Bowl Loading.
- 1 - Speed Controller (REOVIB 443).

**ITEM II) VIBRATORY BOWL FEEDER**

- 1 - 15" Tooled Stainless Steel Bowl Dual Lines of Feed.
- 1 - 15" Round Drive Unit c/w Stainless Steel Shroud.
- 1 - Speed Controller (REOVIB 443).

**ITEM III) VIBRATORY TRACK FEEDER**

- 1 - 24" Lg Dual Lane Stainless Steel Track.
- 1 - 2 Hanger In-Line Drive Unit.
- 2 - Hi-Level Sensor.
- 1 - Speed Controller (REOVIB 443).

**ITEM IV) RIGID SUPPORT FRAME**

- 1 - 1" Thick Plate Nickel Flash Bolted Plate c/w Frame Painted c/w Isolation Feet.
- 1 - All mounting of above equipment.

Item #	Description of Product Supplied	Price
I	Hopper	\$ 3,007.00
II	Bowl	\$ 16,661.00
III	Track	\$ 4,658.00
IV	Table	\$ 3,644.00
	<b>Total Price for above in US Funds</b>	<b>\$ 27,970.00</b>

**Parts Required:** 500 at time of Order  
 7200 for test and debug of VTR supplied equipment.  
 7200 for FAT at VTR.  
 Note: these parts are a consumable product.

## Anexo B.2 Cotización de actuador giratorio neumático



PAGINA 1 / 1

### Cotización #61417

Tel: (506)2431-0444 Fax: (506)2440-2393 Div. KAESSEF (506)2441-2627

Fecha: 30/09/2015 Valido hasta 30/10/2015 Su Asesor Tecnico Ing. Esteban Mena  
2443-7552/89245440  
emena@enesa.net

#### Credito 30 Dias

**Para**  
**Randall Mena**  
**Baxter Productos Medicos Ltd.**  
Randall\_mena@baxter.com  
Tel. 2590-1000  
Fax. 2573-8547

**A Cotizar**  
**Baxter Productos Medicos Ltd.**  
Cartago parte Occidental Parque  
Industrial Cartago

**Direccion de Envio**  
**Baxter Productos Medicos Ltd.**  
Cartago parte Occidental Parque  
Industrial Cartago

Item	Codigo	Cantidad	Descripción del Producto	Tiempo Entrega	Precio Unitario	Precio Total
1	1723197ECR	1	Actuador Giratorio DRRD	2 a 3 semanas	USD 1,632.77	\$1,632.77
Subtotal:						\$1,632.77

**\$0.00**

Impuesto: \$0.00

Total: **\$1,632.77**

**Nota: No se aceptan ordenes de compra en colones, el pago debe ser al tipo de cambio de fecha de cancelación de la factura.**

Importante: Nos reservamos el derecho de venta previa. Los precios Cotizados son los vigentes a la fecha y estan sujetos a cambios sin previo aviso.

La oferta se limita a proveer el producto listado, no a los usos que se le de al mismo o beneficios deseados. Todo credito esta sujeto a aceptación expresa de la jefatura del Departamento de Contabilidad de Equipos Neumaticos S.A.

## Anexo B.3 Cotización de PLC

### DISTRIBUIDORA TECNICA S.A.

CARRETERA INTERAMERICANA  
ENTRADA A CARTAGO, B. LA LIMA  
2573-5757, FAX:2573-7800  
e-mail: info@ditesacr.com

**COTIZACION 13CO8095**

**02/10/2015**



www.ditesacr.com

**Cliente: B014 BAXTER PRODUCTOS MEDICOS, LTDA.**

Tel: 590-1000

Plazo	45	Días					
Codigo	Cantidad	UN	Descripcion	Precio Un	Total		
1CP1LL20DTD	1.00	UN	PLC CP1L, 12 ENTRADAS, 8 SALIDAS A TRANSISTOR NPN, ALIM 24DC, CP1	234,289.36	234,289.36		

**\*\*Nota: Precios sujetos a cambio sin previo aviso. Tiempo de validez de la oferta 8 Días**

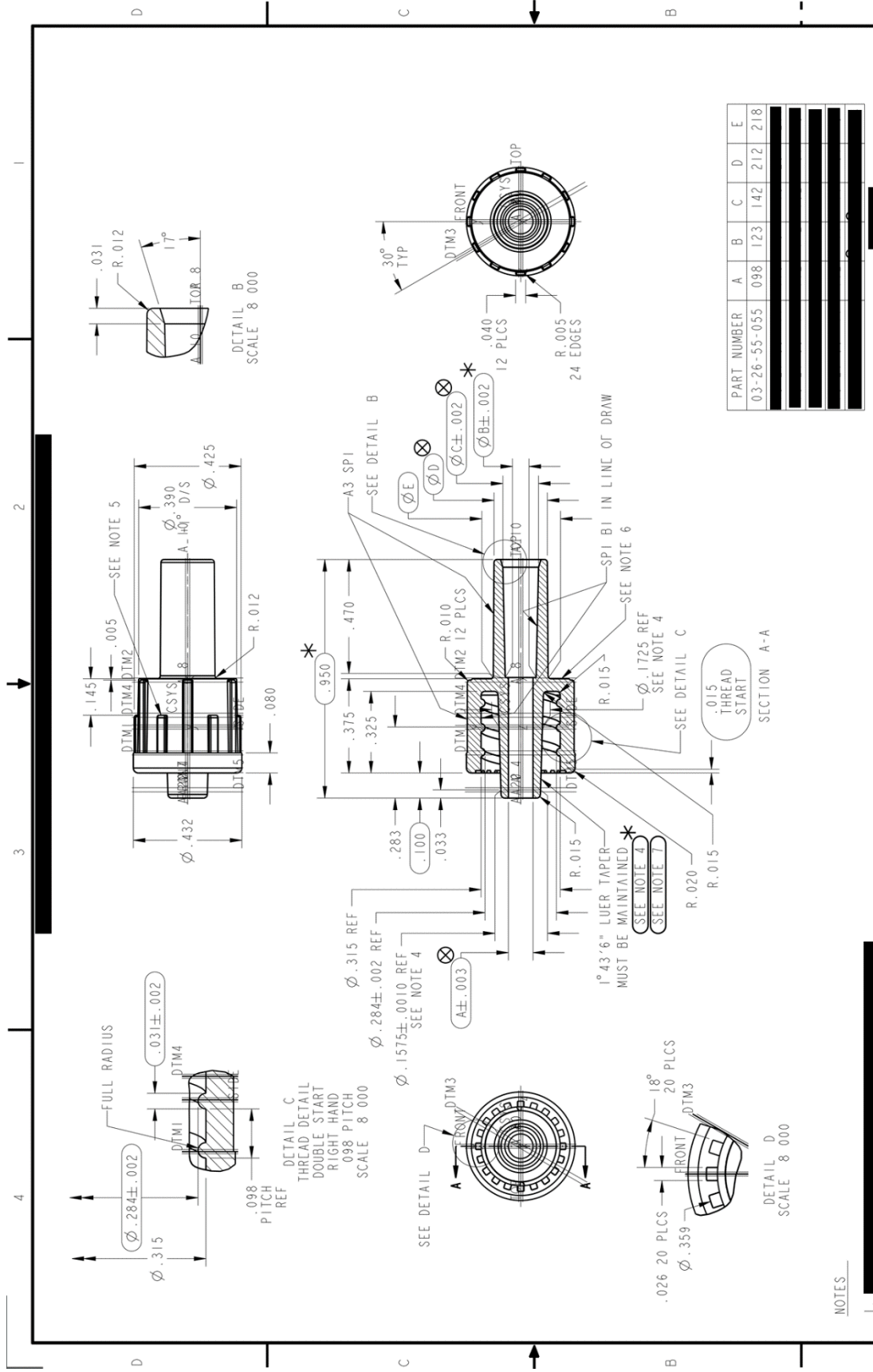
**Descuentos se aplican por pagos en efectivo. No se aceptan devoluciones de articulos contra pedido**

**Observaciones: \*\*ENTREGA INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA\*\***

				<b>Subtotal:</b>	¢ 234,289.36
				<b>I.V.</b>	¢ 0.00
<b>Vendedor</b>	<b>16</b>	<b>CESAR BRENES TORRES</b>		<b>TOTAL</b>	<b>¢ 234,289.36</b>







SCALE 4.000		SIGN DATE		ORIGINATING MEDICATION DELIVERY	
DWN	P RDN	8/11/11	12-09-08		
CHK'D	J M11	12-09-08			
APPV	J M11	12-09-08	VERIFIED		
TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED			SHT 1 OF 1		
DIMENSIONS IN INCHES DO NOT SCALE DRAWING					
ANGULAR DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED					
DECIMAL DIMENSIONS TO 0.0005					

Baxter					
TITLE					
MALE LUER LOCK					
***					
***					

PART NUMBER	A	B	C	D	E
03-26-55-055	098	123	142	212	218

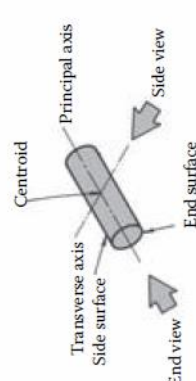
- NOTES
1. [REDACTED]
  2. [REDACTED]
  3. [REDACTED]
  4. [REDACTED]
  5. [REDACTED]
  6. [REDACTED]
  7. [REDACTED]

SCALE 8.000

# Anexo B.5 Sistema de codificación de partes pequeñas

THIRD DIGIT

Part is BETA symmetric (see note 9)		Part is not BETA symmetric [code the main feature or features causing BETA asymmetry] (see note 10)									
		BETA asymmetric projections [can be seen in silhouette]		Through grooves can be seen in end view		Through grooves can be seen in a side view		Holes or recesses [cannot be seen in silhouette in end views]		Other features, slight asymmetry, features too small or non-geometric features [such as paint, lettering, etc.]	
To be fed end-to-end (see note 11)	To be fed side-by-side (see note 11)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Part is ALPHA symmetric (see note 2)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Part can be fed in a slot supported by large end or protruding flange with center of mass below supporting surfaces (see note 4)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BETA symmetric steps or chamfers on external surfaces (see note 5)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
On both side and end surfaces		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BETA symmetric grooves, holes or recesses (see note 6)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
On side surface only		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
On end surfaces only		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BETA symmetric hidden features with no corresponding exposed features (see note 7)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BETA asymmetric features or BETA symmetric parts with features other than steps, chamfers or tapers but too small for orientation purposes (see note 9)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BETA symmetric step, chamfer or taper too small for orientation purposes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Other features, slight asymmetry, features too small or non-geometric features [such as paint, lettering, etc.] (see note 8)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9



SECOND DIGIT

[code the main feature or features, causing ALPHA asymmetry] (see note 3)

Parts can easily be fed (but not necessarily oriented) using conventional hopper feeders (see note 1)														
Rotational parts (see note 2)	$L/D < 0.8$ (see note 5)	Discs	0											
	$0.8 \leq L/D \leq 1.5$ (see note 5)	Short cylinders	1											
	$L/D > 1.5$ (see note 5)	Long cylinders	2											
Triangular or square prismatic parts (see note 3)	$L/D < 0.8$ (see note 5)	Flat parts	3											
	$0.8 \leq L/D \leq 1.5$ (see note 5)	Cubic parts	4											
	$L/D > 1.5$ (see note 5)	Long parts	5											
Rectangular parts (see note 4)	$A/B \leq 3, A/C > 4$ (see note 6)	Flat parts	6											
	$A/B > 3$ (see note 6)	Long parts	7											
	$A/B \leq 3, A/C \leq 4$ (see note 6)	Cubic parts	8											
Parts are difficult to feed using conventional hopper feeders (see note 1)			9											

## Anexo B.6 Hojas de datos de componentes utilizados

### Stepper motors EMMS-ST

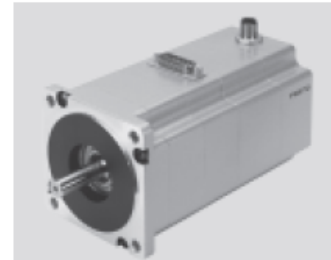
Technical data

FESTO

EMMS-ST-57-M-S-G2

Overall length options

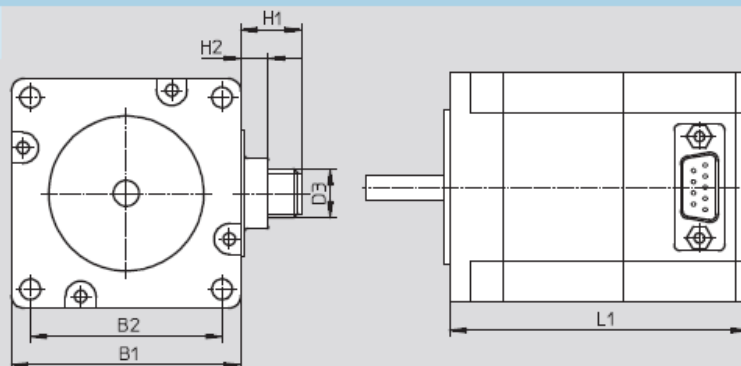
Flange dimensions



Size	57-S	57-M
<b>Motor</b>		
Nominal voltage	[V DC] 48	
Nominal current	[A] 5	
Max. rotational speed <sup>1)</sup>	[rpm] 2,720	1,940
Holding torque	[Nm] 0.8	1.4
Stepper angle	[°] 1.8 ±5%	
Winding resistance	[Ω] 0.15 ±10%	0.25 ±10%
Winding inductance	[mH] 0.5	0.95
Output mass moment of inertia	[kg cm <sup>2</sup> ] 0.29/0.30 <sup>2)</sup>	0.48/0.5 <sup>2)</sup>
Radial load on shaft	[N] 52	
Axial load on shaft	[N] 10	
Mass moment of inertia of rotor	[kg cm <sup>2</sup> ] 0.29	0.48
<b>Brake</b>		
Operating voltage	[V DC] 24 ±10%	
Power	[W] 8	10
Holding torque	[Nm] 0.4	1
Mass moment of inertia	[kg cm <sup>2</sup> ] 0.01	0.02
Response delay	[ms] 2/6	2/6
Separation time	[ms] 10	12

### Dimensions

Sizes 42, 57, 87  
EMMS-ST...-S

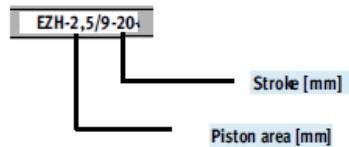


Type	B1	B2	D1	D2	D3	D4
EMMS-ST-57-M-S-G2	56.4	47.14	6.35-0.013	38.1±0.025	-	5
Type	H1	H2	L1	L2	L3	L4
EMMS-ST-57-M-S-G2	-	6.5	95±0.8	20.6±0.5	1.6	5

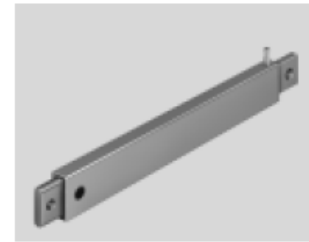
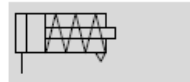
## Flat cylinders EZH

Technical data

FESTO



Function  
**EZH...**  
 Without end-position sensing



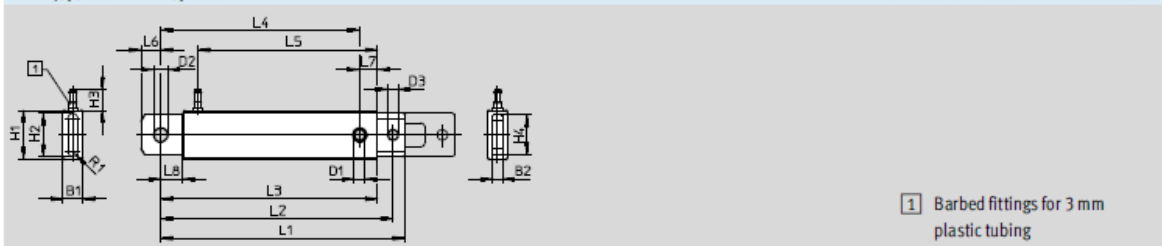
General technical data						
Piston area	1.5x6.5	2.5x9	2.5x9	5x20	5x20	10x40
Stroke length	10	10	20	25	50	40
Equivalent piston $\varnothing$	3.6	5.6	5.6	12	12	22
Pneumatic connection	Barbed fitting PK-3 for 3 mm plastic tubing					G $\frac{1}{8}$
Constructional design	Piston, piston rod					
Cushioning	None					
Position sensing	-	-	-	-	-	For proximity sensing
Type of mounting	With transverse bore					
Mounting position	Any					

Operating and environmental conditions						
Piston area	1.5x6.5	2.5x9	2.5x9	5x20	5x20	10x40
Stroke length	10	10	20	25	50	40
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:4:4]					
Note on operating/pilot medium	Operation with lubricated medium possible (in which case lubricated operation will always be required)					
Operating pressure [bar]	3.0 ... 6.0	2.8 ... 6.0	2.8 ... 6.0	2.5 ... 6.0	2.5 ... 6.0	2.5 ... 6.0
Ambient temperature <sup>1)</sup> [°C]	0 ... +60					
Corrosion resistance class CRC <sup>2)</sup>	2					

Forces [N]						
Piston area	1.5x6.5	2.5x9	2.5x9	5x20	5x20	10x40
Stroke length	10	10	20	25	50	40
Theoretical force at 6 bar, advancing	3.8	10	10	52	49	205
Theoretical spring return force						
min.	1	3	2.8	8	10.6	18
max.	1.7	4	4.4	10.6	13.6	28

EZH-2,5/9-... and EZH-5/20-...

Download CAD data → [www.festo.com](http://www.festo.com)



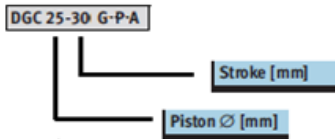
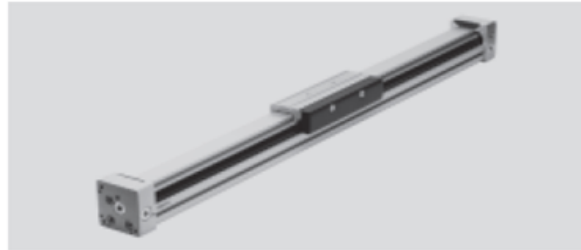
Type	B1	B2	D1 $\varnothing$	D2 $\varnothing$ H11	D3 $\varnothing$	H1	H2	H3	H4
EZH-2,5/9-20	4.9 $\pm$ 0.05	2.5	3.1	4	3.1	12	9.9	10.7	9
Type	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	R1
EZH-2,5/9-20	94.5 $\pm$ 0.7	90.5 $\pm$ 0.8	86.1	81.6	75.5	4.5	4.5	5.5	1.2

# Linear drives DGC-G



Technical data

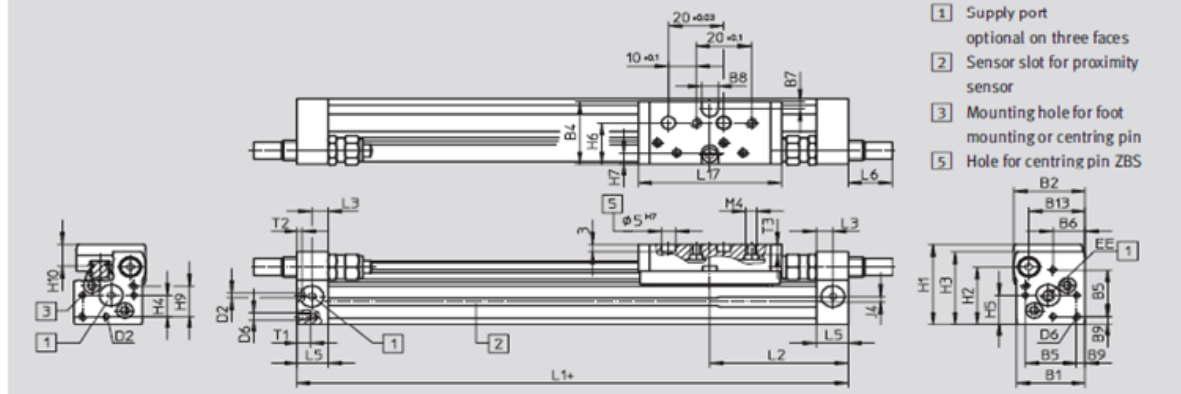
Function



General technical data		8	12	18	25	32	40	50	63
Piston Ø		8	12	18	25	32	40	50	63
Stroke	[mm]	1 ... 1,500	1 ... 2,000	1 ... 3,000	1 ... 8,500			1 ... 5,000	
Pneumatic connection		M5			G $\frac{3}{8}$		G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$	
Mode of operation		Double acting							
Design		Rodless drive							
Driver principle		Slotted cylinder, mechanically coupled							
Guide		Basic design							
Mounting position		Any							
Cushioning → 15	P	Non-adjustable at either end			-				
	PPV	-			Adjustable at both ends				
	YSR...	Self-adjusting at both ends			-				
Cushioning length with PPV cushioning	[mm]	-	-	16.5	15.5	17.5	29.5	29.8	31.1
Position sensing		For proximity sensor							
Type of mounting		Profile mounting							
		Foot mounting							
		Direct mounting							
Max. speed	[m/s]	1	1.2	3					

## Dimensions

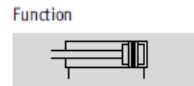
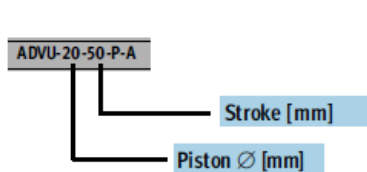
Ø 8 and 12



Ø [mm]	B1	B2	B4	B5	B6	B7	B8 ±0.05	B9 ±0.1	B13	D2 H8	D6	EE
8	25	26	25.5	18.6	11.7	3	6	3.2	20.5	2	M3	M5
Ø [mm]	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H9	H10	l4	L1	L2
8	32	23	29	8.5	11.7	16.5	4.5	12.3	8.7	2.2	100	50.1
Ø [mm]	L3	L5	L6			L17	T1	T2	T3	Stroke tolerance		
			P	YSR	YSRW							
8	6	11.5	0	16	16.2	52	5	2	4	0 ... 1.7		

# Compact cylinders ADVU

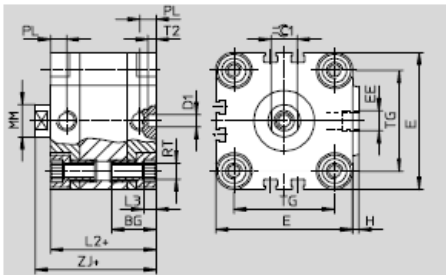
Technical data – Double acting, basic version



General technical data												
Piston Ø	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
Pneumatic connection	M5	M5	M5	M5	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{1}{4}$	
End of piston rod	Female thread	M3	M4	M5	M5	M6	M6	M8	M8	M10	M12	M16
	Male thread	M6	M8	M10x1.25				M12x1.25		M16x1.5	M20x1.5	M27x2
Operating medium	Filtered compressed air, lubricated or unlubricated											
Constructional design	Piston											
	Piston rod											
Cushioning	Non-adjustable at both ends											
Position sensing	Via proximity sensor											
Type of mounting	Via through-holes											-
	Via female thread											
	Via accessories											
Mounting position	Any											

Operating pressure [bar]												
Piston Ø	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
Piston rod at one end	1.2 ... 10		1.0 ... 10		0.8 ... 10		0.6 ... 10		0.5 ... 10			
Through piston rod S2/S20	1.5 ... 10	1.3 ... 10	1.2 ... 10		1.0 ... 10		0.8 ... 10		0.5 ... 10			

Forces [N] and impact energy [J]												
Piston Ø	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
Theoretical force at 6 bar, advancing	68	121	188	295	483	754	1178	1870	3016	4712	7363	
	S2/S20	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4418	6881
Theoretical force at 6 bar, retracting	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4418	6881	
	S2/S20	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4418	6881
Max. impact energy at end positions	0.09	0.10	0.14	0.10	0.40	0.52	0.64	0.70	0.75	1.00	4.00	
	S20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.40



Ø	B	BG	D1	E	EE	H	L2	L3	L4	MM	PL	RT	T2	TG	VD	ZJ	$\approx C1$
[mm]	d11		Ø H9							Ø			-0.2				h13
20	-	18.5	6	36	M5	1.5	38	4	18	10	8	M5	4	22	-	42.5	9

## Low Cost, Small Package, 120VAC Microstepping Drive



### E-AC Specifications

	Parameter	Value
<b>Power Input</b>	AC	95 - 132 VAC @ single phase 50/60 Hz
<b>Performance</b>	Accuracy	±5 arc min (0.0833°) typical. Unloaded-bidirectional with Compumotor supplied motors. Other motors may exhibit different absolute accuracy. ±1 arc min (0.0167°) typical/per each frictional load equal to 1% rated torque. Loaded-in addition to unloaded accuracy.
	Repeatability	±5 arc sec (0.0014°) typical. Unloaded-one revolution returning to start point from same direction.
	Hysteresis	Less than 2 arc min (0.0334°) unloaded-bidirectional.
	Resolution	16 selectable choices: 200, 400, 1000, 2000, 5000, 10000, 12800, 18000, 20000, 21600, 25000, 25400, 25600, 36000, 50000, 50800
	Waveform	Selectable. Allows waveform shaping for optimum smoothness or relative accuracy. Pure sine; -4%, -6%, -8%, 3rd harmonic.
<b>Amplifier</b>	Type	20 kHz fixed frequency, variable duty cycle pulse width modulated (PWM) Current Controlled, bipolar chopper
	Number of Phases	2
	Output Current	0.02-3.5 Amps peaks of Sine
	Standby Current Reduction	50% of selected motor current
	Nominal Chopping Frequency	20 kHz
	Max Stepping Rate	2 MHz max pulse rate; 50 rps max speed
	Step Input	High-going pulse, 200 nsec min width; max pulse rate is 2 MHz; User-supplied driver for the step and direction inputs should be capable of providing a minimum of 6.5 mA to maximum of 15 mA
	Direction Input	Logic High = positive (CW) rotation—3.5-5.0V Logic Low = negative (CCW) rotation—0-0.4V User-supplied driver for the step and direction inputs should be capable of providing a minimum of 6.5 mA to a maximum of 15 mA. The direction input must be stable for at least 200 µsec before the drive receives the first pulse
	Fault Output	Open-Collector/Emitter, Vce = 70 VDC, Vce sat = 0.3 VDC, Ic = 40 mA (max) Maximum dissipation = 40 mW Conducting = normal operation Non conduction = drive fault
<b>Protective Circuits</b>	Short Circuit*	Phase-to-phase, phase-to-ground If AC supply drops below 85VAC
	Overtemperature*	The drive will fault if heat plate exceeds 55°C
<b>Environmental</b>	Drive Temp	Max allowable ambient temperature is 122°F (50°C). Fan cooling may be required if airflow is restricted.
	Humidity	0 to 95%, Non-condensing
<b>Physical</b>	Drive Dimensions	5.35 x 4.34 x 1.9in (133 x 109 x 48 mm)
	Weight	1.2 lbs
<b>Motor</b>	Type	Two-phase hybrid permanent magnet, 1.8°
	Number of Leads	4, 6, or 8
	Inductance Range	0.5 minimum; 5 to 50 mH recommended range; 100 mH max