

Tecnológico de Costa Rica

Área Académica de Ingeniería Mecatrónica



**Desarrollo de una máquina de aseguramiento de la  
calidad del Quadset.**

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


Luis Felipe García Cascante

Cartago, 28 de noviembre, 2017

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, 28 de noviembre de 2017  
Luis Felipe García Cascante  
Céd: 1-1554-0417

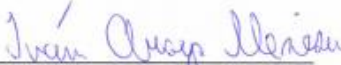
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
Proyecto de Graduación  
Tribunal Evaluador

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

Miembros del Tribunal

  
Ing. Greivin Barahona Guzmán  
Profesor Lector

  
Ing. Johanna Muñoz Pérez  
Profesora Lector

  
Ing. Iván Araya Meneses  
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 el Área Académica de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 28 de noviembre de 2017

# Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de una máquina de aseguramiento de la calidad del quadset, componente importante de un producto médico de la empresa Hologic Inc. El propósito principal es verificar que el quadset se encuentre bajo los parámetros de la compañía antes que el proveedor entregue los quadset a Hologic. Para esto se propone construir una máquina electroneumática que alimente el quadset con aire para probar de acuerdo a las especificaciones (que no tenga fugas de vacío y presión). Igualmente, que cumpla con las especificaciones mínimas de presión, vacío y caudal. Para lograr este objetivo se deben tomar en consideración aspectos mecánicos, neumáticos y eléctricos.

**Palabras Clave:** Caudal, Diseño Mecánico, Electrónica, Fugas, Mecatrónica, Neumática, Presión, Vacío.

# Abstract

This paper describes the development of a quadset quality assurance machine, an important component of a medical product from Hologic Inc. The main purpose is to verify that the quadset is under the parameters of the company before the supplier delivers the quadset to Hologic. For this purpose it is proposed to build an electropneumatic machine that feeds the quadset with air to test according to the specifications (that does not have vacuum and pressure leaks). As well as complying with the minimum specifications of pressure, vacuum and flow. To achieve this objective, mechanical, pneumatic and electrical aspects must be taken.

**Keywords:** Flow, Mechanical Design, Electronics, Leakage, Mechatronics, Pneumatics, Pressure, Vacuum.

# Agradecimientos

Primero quiero darle gracias a Dios por permitirme haber llegado al final de esta carrera, por darme fuerzas para continuar y por cada meta cumplida y por cumplir.

A mis padres Martín García y Laura Cascante por todo su apoyo y entrega incondicional, sin ellos jamás lo hubiera logrado; a mi hermana María Fernanda y mi hermano Nelson que siempre han estado pendientes de mis estudios y me han ayudado a mejorar y cumplir mis metas. A mis abuelos, tíos, tías, primos y primas por su amor y apoyo.

A mi novia Karol Alpízar por todo su amor y apoyo incondicional durante la realización de este proyecto, por todas las regañadas y toda la ayuda que me ha brindado para ser siempre mejor. Su compañía ha sido fundamental. También a mi suegra Marlen Soto por todos los consejos que me ha dado.

A todos mis amigos, compañeros y profesores que me acompañaron durante este largo camino y que de cada uno de ellos aprendí.

El resultado de este trabajo no hubiese sido posible sin la oportunidad que me brindo la empresa Hologic para realizar este proyecto y sin el apoyo de mi tutor en la compañía Marco Bedoya y los técnicos de automatización: Gerardo Carrillo y Henry Esquivel; quienes me brindaron la confianza para realizar este proyecto y me aconsejaron de la mejor manera.

Por último, pero no menos importante un especial agradecimiento a los profesores Iván Araya, Greivin Barahona y Johana Muñoz por cada observación, recomendación y toda la ayuda brindada para completar este documento de la mejor manera.

Luis Felipe García Cascante  
Cartago, 28 de noviembre de 2017

# Índice general

Resumen.....	4
Abstract .....	5
Agradecimientos .....	6
Índice general.....	7
Índice de figuras .....	10
Índice de tablas .....	11
Capítulo 1 .....	12
Introducción .....	12
1.1 Contexto .....	12
1.2 Problema .....	14
1.3 Solución propuesta.....	14
1.4 Objetivos .....	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	15
1.5 Estructura del documento.....	15
Capítulo 2 .....	16
Marco Teórico .....	16
2.1 Quadset .....	16
2.2 Conceptos importantes.....	17
2.2.1 Presión.....	17
2.2.2 Vacío.....	18
2.2.3 Caudal.....	18
2.3 Sistema neumático.....	19
2.3.1 Unidad de mantenimiento .....	19
2.3.2 Almacenador de aire .....	20
2.3.3 Válvulas .....	21
2.3.4 Actuadores .....	24
2.3.5 Otros equipos utilizados.....	26
2.3.6 Conectores neumáticos.....	27
2.3.7 Mangueras.....	27

2.4 Sistema mecánico.....	27
2.4.1 Sistema de construcción modular MB .....	27
2.4.2 Materiales usados .....	28
2.5 Sistema eléctrico .....	29
2.5.1 Sistema de controlador lógico programable 850 .....	30
2.5.2 Módulos de entradas y salidas analógicas y digitales .....	31
2.5.3 Fuentes de alimentación .....	32
2.5.4 Fusibles .....	32
2.5.5 Cables .....	33
2.5.6 Interfaz Hombre-Máquina (HMI) .....	35
2.5.7 Sensores .....	36
Capítulo 3 .....	37
Máquina de aseguramiento de la calidad del Quadset. ....	37
3.1 Estructura de la máquina .....	37
3.1.1 Componentes de soporte.....	37
3.1.2 Sistema de sellado.....	38
3.2 Panel Neumático .....	39
3.2.1 Almacenamiento de aire .....	39
3.2.2 Unidad de mantenimiento. ....	40
3.2.3 Pistones .....	40
3.2.4 Válvulas .....	42
3.2.5 Fitinería y Mangueras.....	43
3.2.6 Panel Eléctrico .....	43
3.2.7 Interfaz Usuario – Máquina.....	44
3.2.8 Plan de mantenimiento.....	45
Capítulo 4 .....	48
Resultados y Análisis .....	48
Estructura Mecánica .....	48
Capítulo 5 .....	57
Conclusiones .....	57
Recomendaciones .....	57
Bibliografía .....	58



Apéndices .....	60
Planos neumáticos .....	60
Planos eléctricos.....	62
Diseños mecánicos en SolidWorks .....	72

# Índice de figuras

Figura 1 Sistema de biopsia de mama eviva. Tomado de [19] .....	12
Figura 2 Diagrama general del proceso de ensamble del eviva .....	13
Figura 3 Diagrama de bloques general del sistema propuesto. ....	14
Figura 4 Quadset.....	16
Figura 5 Diagrama de un generador de vacío por el principio de Venturi. Tomado de [7].	18
Figura 6 Componentes generales de un circuito neumático. Tomado de [20] .....	19
Figura 7 Estructura de la lámina de aluminio compuesto Tomado de [15] .....	29
Figura 8 Microcontralor 850 Allen-Bradley .....	30
Figura 9 Equivalencias de calibre en milímetros. Tomado de [13].....	34
Figura 10 Amperaje que soportan los cables de cobre. Tomado de [13].....	35
Figura 11 Selección del primer pistón de acuerdo a la fuerza. Tomado de [17] .....	41
Figura 12 Selección del segundo pistón de acuerdo a la fuerza. Tomado de [18] .....	42
Figura 13 Diseño del tiempo de la prueba.....	44
Figura 14 Estructura de la máquina .....	48
Figura 15 Proceso de cableado panel eléctrico .....	49
Figura 16 Panel eléctrico finalizado.....	49
Figura 17 Panel neumático en proceso .....	50
Figura 18 Panel neumático cableado y con mangueras .....	50
Figura 19 Unidad de mantenimiento .....	51
Figura 20 Estación de trabajo.....	51
Figura 21 Sistema de bloqueo y de disparo.....	52
Figura 22 Puertos de conexión .....	52
Figura 23 Posición de sellado .....	53
Figura 24 Vista lateral máquina finalizada.....	53
Figura 25 Resultados de una estación.....	54
Figura 26 Resultados de todas las estaciones .....	55
Figura 27 Pantalla Válvulas de operación .....	56
Figura 28 Parámetros de operación en la pantalla .....	56
Figura 29 Diagrama neumático .....	61
Figura 30 Alimentación 120 VAC .....	62
Figura 31Alimentación 24 VAC .....	63
Figura 32 MICRO 850 Entradas Digitales Integradas #1 .....	64
Figura 33 Entradas Digitales Integradas #2 .....	65
Figura 34 Modulo Entradas Analógicas #1 B1 2085-IF8 .....	66
Figura 35 Modulo Entradas Analógicas #2 B1 2085-IF8 .....	67
Figura 36 Salidas Digitales Integradas .....	68
Figura 37 Modulo Salidas Digitales #1 2085-OW16.....	69
Figura 38 Modulo Salidas Digitales #2 2085-OW16.....	70
Figura 39 Modulo Salidas Digitales #3 2080-OW4I .....	71
Figura 40 Máquina de aseguramiento de la calidad del quadset .....	72
Figura 41 Estación de trabajo de las cuatro estaciones.....	72

Figura 42 Panel neumático de una sola estación .....	73
Figura 43 Área de trabajo de una sola estación.....	73
Figura 44 Sistema de sellado del quadset .....	74

## Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros de las pruebas del Quadset.....	14
Tabla 2 Pruebas realizadas al Quadset.....	17
Tabla 3 Propiedades típicas de materiales usados en Ingeniería. Tomado de [2] .....	38
Tabla 4 Plan de mantenimiento.....	45
Tabla 5 Guía para resolver problemas.....	46

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Contexto

Para cada producto, máquina, alimento, herramienta o aplicación que se crea, se desarrolla, se vende o que tiene una función para el ser humano, debe verificarse su funcionamiento y calidad. Esta acción permite fabricar a gran escala, reducir pérdidas de materia prima, aliviar costos, evitar problemas de seguridad y ergonomía, proteger la vida, entre otros.

Cuando se trata de productos médicos las medidas de seguridad, calidad y aseguramiento de las funciones de los equipos y productos que se desarrollan y se venden son más críticos. El producto que se va a profundizar se llama eviva, mostrado en la Figura 1, el cual de manera ambulatoria recoge muestras de tejido de los senos de las mujeres para examinarlas y ver si existen enfermedades o problemas de salud.



Figura 1 Sistema de biopsia de mama eviva. Tomado de [19]

El eviva se compone principalmente de mangueras, por las cuales pasa aire y vacío, que controlan el dispositivo, llamado quadset. Otros accesorios son sellos (o-rings), motor neumático, canister (almacenador de tejido extraído), sleeves (diferentes tubos los cuales se acomodan para el correcto funcionamiento del motor, los sellos y el corte del tejido requerido), cánula (varilla que corta el tejido y por donde recorre el tejido al canister) y la carcasa del producto.

El quadset es un accesorio provisto por la empresa CRI Medical. Esta compañía no revisa el estado del dispositivo entregado y es hasta el final de la línea de ensamble del eviva en Hologic que se conoce si el producto cumple las funciones y especificaciones requeridas, si no es así; se analiza dónde está la falla. Una de las razones de falla y la más frecuente es el quadset defectuoso.

Cuando el quadset está dañado, todas las piezas que se ensamblaron al dispositivo se botan y hay grandes pérdidas, por ejemplo, según datos administrados por personal de Hologic, en el 2016 hubo gastos de \$126 000 por desechos y en lo que va en el 2017 hay gastos por \$118 094. Cada quadset completo le cuesta a la empresa \$23 y el eviva \$96. Desde otro punto de vista, Hologic en el 2016 produjo 251 315 unidades de eviva desechando 5 129 y en el 2017 ha producido 249 336 unidades teniendo 5 036 unidades malas. Dado este problema se determina construir una máquina que revise el funcionamiento del quadset antes de salir de CRI Medical.

El proceso de ensamble se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.

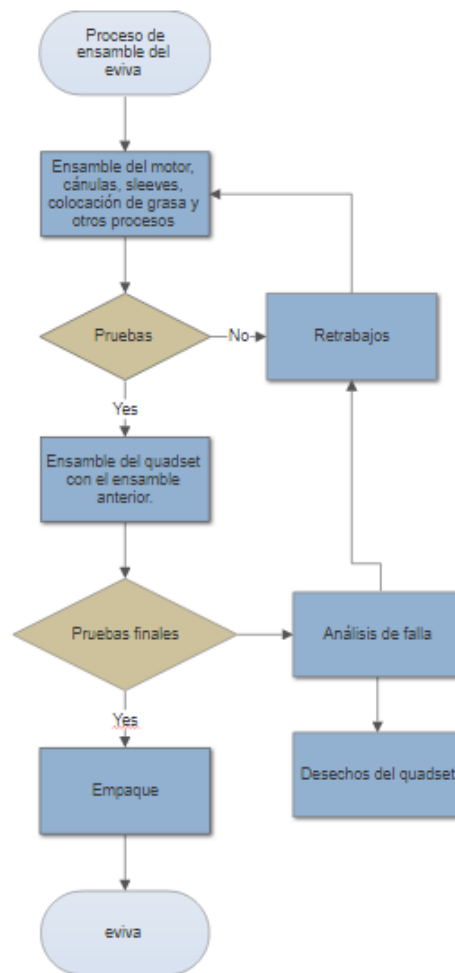


Figura 2 Diagrama general del proceso de ensamble del eviva

## 1.2 Problema

Existe la necesidad de verificar la calidad y el cumplimiento de las especificaciones del quadset, mostradas en la Tabla 1, antes de que llegue a Hologic debido a que hay gran cantidad de desechos cuando el quadset tiene algún problema, lo cual repercute en la parte económica y en la calidad que debe tener la empresa al ser del sector médico.

Tabla 1 Parámetros de las pruebas del Quadset.

Proceso	Parámetros
Línea de succión de vacío	23 inHg mínimo @ 5 s / pérdida 0.3 inHg @ 5 s
Línea salina 1	23 inHg mínimo @ 5 s / pérdida 0.3 inHg @ 10 s
Línea salina 2	23 inHg mínimo @ 5 s / pérdida 0.3 inHg @ 10 s
Línea negra posición de carga	Tiempo de Carga 4 s / Presión de carga 32 psi mínimo / Caída de presión 1.8 psi @ 5 s
Línea roja posición de disparo	Tiempo de Carga 4 s / Presión de carga 32 psi mínimo / Caída de presión 1.8 psi @ 5 s
Línea roja posición de disparo	Tiempo de Carga 4 s / Presión de carga 32 psi mínimo / Caída de presión 1.8 psi @ 5 s / Flujo mínimo 1.1 SCFM @ 5 s y 32 psi

## 1.3 Solución propuesta

La solución propuesta se basa en una máquina con un control automático mediante un microcontrolador, el cual acciona y resetea cada válvula electroneumática con características específicas para permitir el paso del aire o bloquearlo. Además, se debe diseñar y construir piezas mecánicas para realizar el sello de la carcasa del quadset. La máquina permitirá probar cuatro quadsets como máximo a la vez (cuatro estaciones). Los datos obtenidos en cada prueba y en cada estación se mostrarán en una pantalla. El sistema propuesto se muestra esquemáticamente en la Figura 3.

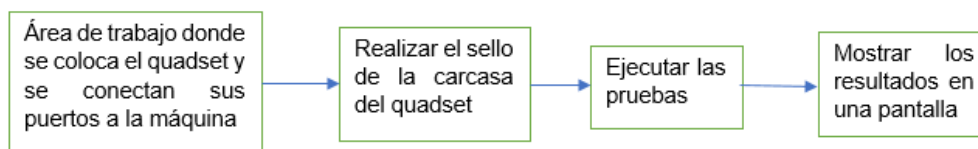


Figura 3 Diagrama de bloques general del sistema propuesto.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Evaluar las características funcionales del quadset mediante un control automático.

### 1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar la estructura de la máquina y todas las partes mecánicas que se necesite para su funcionamiento.
2. Diseñar el sistema electroneumático.
3. Elaborar un control automático del sistema de pruebas.
4. Construir la máquina diseñada.
5. Crear una interfaz máquina – usuario que indique si las pruebas son correctas o erróneas.
6. Formular un plan de mantenimiento que asegure el correcto funcionamiento de la máquina que evalúa los quadsets.

## 1.5 Estructura del documento

La estructura de este documento es la siguiente: en el capítulo 2 se incluye la teoría necesaria para la implementación de la solución; el capítulo 3 explica detalladamente la implementación realizada; el capítulo 4 contiene los resultados obtenidos y el capítulo 5 está dedicado a las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1 Quadset

El quadset, mostrado en la Figura 4, es uno de los componentes más importantes de uno de los productos de Hologic, llamado eviva. Se puede definir como un conjunto de mangueras que controlan cada función del eviva.

Se compone de:

- Puertos de conexión: succión ("A", "I"), spike ("B"), rojo ("C"), negro ("D")
- Mangueras: son seis: una que comunica el puerto "A" con el "I" pasando por el depósito "L", otra que comunica la conexión "B" con el "E" pasando por la válvula "K", una que comunica el puerto "C" con el "G", otra que comunica la conexión "D" con la "H" y la última que comunica el puerto "D" con el "F". Las dos últimas se unen con la válvula "J".
- Válvula remota ("J"): se encarga de direccionar el aire por el orificio "H" o por el "F".
- Válvula médica; conocida como "válvula y" ("K"): se encarga de permitir que el flujo de aire solo tenga una dirección y tiene una entrada para ingresar otro fluido si se requiere.
- Canister ("L"): es el almacenamiento donde se depositan los tejidos sustraídos.
- Carcasa: Contiene cuatro orificios por donde circula el aire y es el componente que se une con los componentes faltantes del eviva.

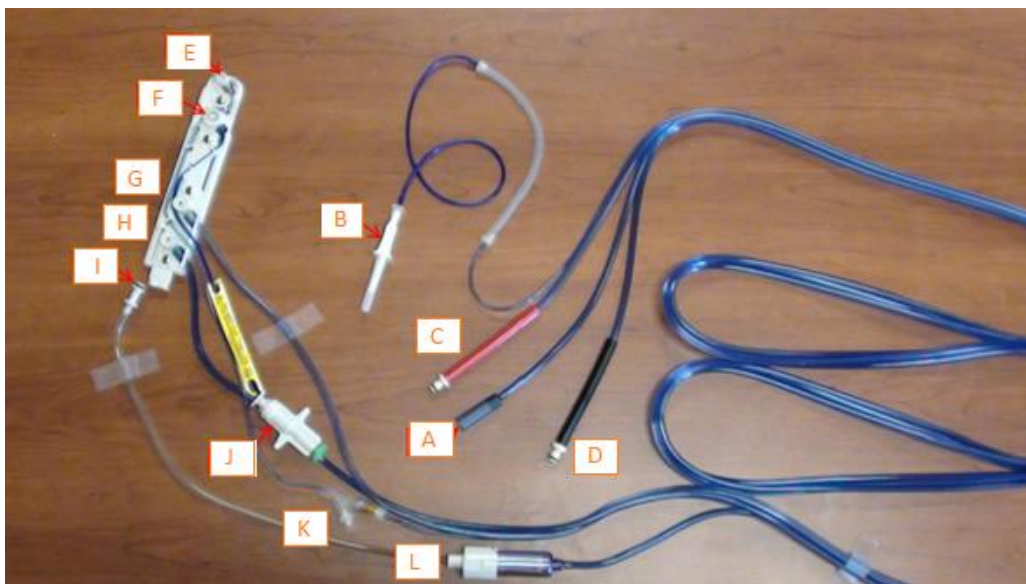


Figura 4 Quadset



Cada manguera tiene una función y un nombre:

- Línea salina: Se encarga de distribuir al paciente sustancias necesarias durante la cirugía.
- Línea roja: Se encarga de mover y detener el motor de aire del dispositivo.
- Línea negra: Se encarga de sacar e introducir la herramienta de corte de tejido, el movimiento hacia arriba o hacia abajo lo controla la válvula remota.
- Línea de succión: Se encarga de extraer los tejidos cortados al almacenamiento (canister).

Al Quadset se le realizan las siguientes pruebas mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2 Pruebas realizadas al Quadset

<b>Capacidades de la Máquina</b>				
<b>Componente a probar</b>	<b>Prueba requerida</b>		<b>Puerto de medición</b>	<b>Prueba en pantalla</b>
Línea de succión	Vacío	Pérdida de vacío	Puerto al canister	Suction
Línea salina 1	Vacío	Pérdida de vacío	Spike al cradle	Saline Line 1
Línea salina 2	Vacío	Pérdida de vacío	Cradle al spike	Saline Line 2
Línea negra	Presión	Caída de presión	Posición de carga	Black Charge
	Presión	Caída de presión		Black Fired
Línea roja	Presión	Caída de presión	Posición de disparo	Red Line
	Flujo	Flujo Final		Red Line – Flow

## 2.2 Conceptos importantes

### 2.2.1 Presión

La presión se define como la fuerza por unidad de área ejercida sobre un cuerpo. En el sistema internacional de unidades (SI) la presión se mide en Pascales, sin embargo, existen algunas otras unidades que se pueden utilizar, como las atmósferas (atm), los bares (bar) o los milímetros de mercurio (mmHg). En el sistema inglés se utilizan las libras sobre pie cuadrado o libra sobre pulgada al cuadrado (psi). Existen varios tipos de presión:

- Presión atmosférica: Es la presión que ejerce la atmósfera sobre los cuerpos en la Tierra.

- Presión manométrica: Es la presión que se mide con un manómetro.
- Presión absoluta: Es la presión interna que tiene el sistema, ya sea un recipiente o una tubería. La ecuación 2.1 muestra la su definición.

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad (2.1)$$

### 2.2.2 Vacío

Es el estado de un gas en el cual su densidad parcial es inferior a la de la atmósfera de la superficie terrestre. Por norma, en neumática se indica la presión como sobrepresión (en relación a la presión ambiente). Ello también quiere decir que el vacío siempre se indica con un valor negativo (medido con respecto a la presión atmosférica). Como unidades se emplean el bar, milibar, Torr, atm, y mmHg.

Con base en la Figura 5 y como se explica en [7], el generador de vacío funciona cuando el aire que fluye desde la conexión de aire comprimido (1) pasa a través de una zona de estrangulación (tobera convergente) (2). En esa zona aumenta la velocidad del flujo de aire, llegando a ser superior a la velocidad del sonido. Cuando sale de la tobera convergente, el aire se expande y fluye a través de la tobera divergente (3), seguida de la conexión de escape (4). Durante esta operación se produce un vacío en la cámara que se encuentra alrededor de la tobera convergente. Así se aspira aire en la conexión de aspiración (5).

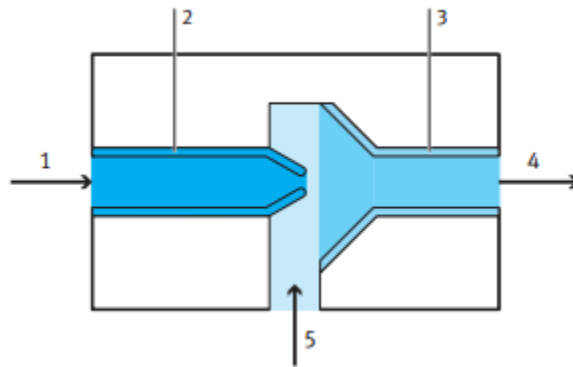


Figura 5 Diagrama de un generador de vacío por el principio de Venturi. Tomado de [7]

### 2.2.3 Caudal

Es el volumen por unidad de tiempo que atraviesa una superficie. En los cálculos técnicos se usan unidades como l /min, l /s, m<sup>3</sup>/min, m<sup>3</sup>/h, scfm y cfm.

## 2.3 Sistema neumático

Como se muestra en la Figura 6 un circuito neumático principalmente se compone de un compresor que se encarga de generar el aire comprimido, un depósito que almacena dicho aire, elementos de protección los cuales mejoran las propiedades del aire para que no dañe o afecte ningún componente neumático, elementos de control que distribuyen el aire como la aplicación lo requiera, elementos de transporte y elementos de trabajo que se accionan mediante los elementos de control y son los que realizan la tarea requerida.

En todo tipo de industrias donde la calidad del aire es de suma importancia para el proceso de producción se utiliza aire comprimido libre de aceite (Oil Free Air (OFA)).

Los compresores de aire libres de aceite se emplean principalmente en la industria farmacéutica y el procesamiento de alimentos y bebidas. Como mencionan en [9] también se usan en el tratamiento de aguas residuales, químicos, en petroquímica y para la fabricación de semiconductores y electrónica. Por último, en el sector medicinal, la pulverización de pintura para la industria automotriz y la fabricación de textiles, así como en muchas otras aplicaciones. La ventaja de este sistema es que no existe riesgo residual de contaminación del producto o proceso de fabricación durante su contacto con el aire comprimido.

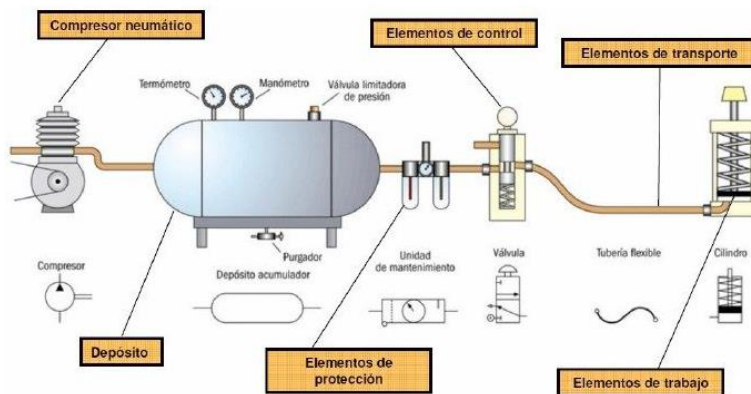


Figura 6 Componentes generales de un circuito neumático. Tomado de [20]

### 2.3.1 Unidad de mantenimiento

Justo antes de que el aire comprimido alimente los elementos neumáticos, debe ser tratado para mejorar sus condiciones ya que los dispositivos conectados en los diferentes puntos de un circuito neumático necesitan recibir aire con una presión uniforme y libre de impurezas por lo que se utilizan unidades de mantenimiento.

Estas están formadas por la combinación de tres elementos: el filtro, el regulador y el lubricador. En [4] estos componentes se definen como:

- Filtro: Tiene como objetivo detener del aire comprimido todas las impurezas o partículas sólidas (polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, entre otras) y el agua condensada.

- o Filtro de partículas: Los elementos filtrantes pueden variar dependiendo del tamaño de las partículas (5, 25 o 50 micrones).

- o Filtro coalescente: Retienen partículas sólidas y aceite.

- o Filtro regulador: Filtra y regula la presión de aire a la misma vez.

- Regulador de presión: Tiene como tarea mantener el aire que utiliza el circuito neumático a una presión constante, independientemente de las variaciones de presión que se produzcan.

- Lubricador: Son dispositivos que regulan y controlan la mezcla de aire-aceite. Tiene como función lubricar los elementos neumáticos con medida ya que el lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.

### 2.3.2 Almacenador de aire

Según [8] los tanques acumuladores de aire sirven para:

- Almacenar aire comprimido para cuando la demanda momentánea exceda la capacidad del compresor.

- Incrementar la refrigeración y captar posibles condensados residuales y pequeñas gotas de aceite.

- Compensar las variaciones de presión que tengan lugar en la red de tuberías.

- Evitar ciclos de carga-descarga del compresor demasiado frecuentes.

Las unidades más comunes al seleccionar el volumen de los tanques son litros, metros cúbicos y galones.

El principal riesgo que presentan los depósitos de aire, al estar sometidos a presión interna, es el de explosión, que puede venir determinada por alguna de las siguientes causas, ver [8]:

- Defectos de diseño del recipiente.

- Defectos en la fase de construcción y montaje, en las cuales se tendrán muy en cuenta el proceso de soldadura y los efectos que el calor aportado por ella puede tener sobre las características de los materiales.

- Sobrepresión en el acumulador de aire por fallo de los sistemas de seguridad.

- Sobrepresión por presencia de fuego exterior.

- Sobrepresión y riesgo de explosión por autoignición de depósitos carbonosos procedentes del aceite de lubricación del compresor.

- Disminución de espesores de sus materiales, por debajo de los límites aceptables por diseño, debido a la corrosión.
- Corrosiones exteriores, localizadas en el fondo o en la generatriz inferior, según se trate de un depósito vertical u horizontal.
- Erosiones o golpes externos.
- Fisuras debidas a las vibraciones transmitidas por compresores instalados sobre los propios acumuladores o por una fundación del compresor inadecuada.
- Esfuerzos locales en la zona de conexión de la tubería de aire comprimido proveniente del compresor, debido a mal alineamiento, dilataciones y presión interna de la tubería.
- Fatiga de materiales debido a trabajo cíclico.

Los pulmones de aire cuyo diseño y construcción deberán seguir todos los pasos establecidos en el código de diseño elegido referente a materiales, espesores de los mismos, procesos de soldadura, tratamientos térmicos, ensayos no destructivos, entre otros, deberán contar con un certificado de calidad que asegure que los anteriores pasos han sido seguidos cuando se trate de un aparato de construcción única, y del correspondiente registro de tipo si se trata de un aparato construido en serie. Independientemente de ello, deberán contar con los siguientes elementos de seguridad, cuyas prescripciones son obligatorias en la mayor parte de los casos de la legislación vigente.

- La válvula de seguridad de resorte es el dispositivo más empleado para el alivio de presión. Su capacidad y presión de descarga será adecuada al caudal máximo del aire comprimido que suministra al compresor. También se le conoce con los nombres de válvula de alivio, válvula de alivio de seguridad, válvula de alivio de presión y válvula de seguridad de presión.
- Manómetro de presión interna del depósito.
- Sistema de drenaje con la capacidad de descarga adecuada a la cantidad de líquido a eliminar, así como minimizar los residuos que puedan quedar retenidos.

### 2.3.3 Válvulas

Las válvulas son las que gobiernan el arranque, paro y sentido de circulación del aire comprimido. Su objetivo es mantener y cambiar, según ordenes o señales recibidas, las conexiones entre los conductos a ellos conectados, para obtener unas señales de salida de acuerdo con el programa establecido. En [11] se explica que de acuerdo a la norma DIN 24300 y las recomendaciones del CETOP (Comité Europeo de Transmisiones Oleo hidráulicas y Neumáticas), las válvulas se subdividen en cinco grupos:

## ○ Válvulas de vías o distribuidores

Su objetivo principal es distribuir. Se pueden clasificar de varias maneras, por su construcción interna, por su accionamiento y por el número de vías y posiciones.

Se denomina vía a cada uno de los orificios a través de los cuales puede circular el aire en su proceso de trabajo o evacuación. Se le llama posición al número de posibilidades diferentes de comunicar las vías entre sí.

- Válvulas 2/2 (2 vías, 2 posiciones): Actúan solamente como llave de paso.
- Válvulas 3/2 (3 vías, 2 posiciones): El flujo de aire puede ir en dos direcciones distintas y realizar el escape en su posición cerrada.
- Válvulas 5/2 (5 vías, 2 posiciones): Se suele usar para manejar cilindros de doble efecto. El tener dos escapes ayuda a que se pueda manejar y regular mejor la velocidad.

Por su posición las válvulas pueden ser monoestables o biestables.

- Válvulas monoestables: Son aquellas que tienen una posición de reposo estable, que es en la que permanecerá la válvula de forma indefinida si no actúa sobre ella una señal. El regreso a la posición de reposo suele realizarse con un muelle.

- Válvulas biestables: Son aquellas que no tienen una única posición de reposo estable, es decir, que, aunque se anule la señal que provocó la posición en la que se encuentra, la válvula seguirá en esa misma posición hasta que se active la señal correspondiente a una nueva posición.

## Tipos de accionamiento

- Accionamiento manual: El operador decide cuando quiere que el aire fluya. Las opciones para este tipo de accionamiento son mediante un pulsador, una palanca o un pedal. Unas válvulas se devuelven manualmente y otras por resorte.

- Accionamiento mecánico: En este caso interviene alguna acción mecánica que activa la válvula al hacer contacto con algo. Las más comunes son levas o rodillos que funcionan como final de carrera.

- Accionamiento neumático: Se accionan únicamente con la presión de aire; si entra aire, trabaja de una manera y si sale de otra.

- Accionamiento eléctrico: Se requiere un circuito eléctrico para activar las válvulas. Es importante saber qué tensión y tipo de corriente es la que se ocupa en el proceso o tarea a desarrollar.

## ○ Válvulas de bloqueo

Su función es impedir, condicionar o dificultar el paso del flujo en uno u otro sentido. En este tipo de válvulas se encuentra la válvula antirretorno, de simultaneidad, de selección de circuito y de escape.

- Válvulas de presión

Se utilizan principalmente como válvulas de seguridad ya que no admiten que la presión en el sistema sobrepase un valor admisible. Se destacan las válvulas reguladoras de presión, las válvulas limitadoras de presión y las válvulas de secuencia.

- Válvulas de caudal y de cierre.

Su tarea es variar la cantidad de aire comprimido que pasa a través de ellas. Puede ser de estrangulación regulable y de estrangulación regulable con retorno.

- Válvula de arranque progresivo: Su propósito es evitar movimientos incontrolados de los actuadores en la puesta en marcha de la instalación. Estas válvulas garantizan un aumento gradual de la presión en la instalación actuando sobre la velocidad de llenado. Así cada uno de los elementos de trabajo retorna a su posición de partida de una forma lenta y controlada.

### Criterios de selección de las válvulas

Se deben de considerar cinco aspectos importantes:

- Función operativa dentro del circuito

Se refiere a las válvulas como generadores de señales de entrada al circuito, a cómo va a trabajar la válvula, como inicio de ciclo, final de carrera o como detector de presencia de un cilindro o mecanismo en una determinada posición. Para inicio de ciclo se emplean válvulas con mando manual de pulsador, palancas, pedales; que deben seleccionarse en función de las condiciones deseadas.

- Tamaño

Se refiere al tamaño de roscas, pasos internos, caudal y velocidad del actuador controlado.

- Función interna

Contempla el número de vías a usarse, se determina según la maniobra que se desea en el actuador, teniendo en cuenta si éste es de simple, doble efecto, con bloqueo o con libertad de movimientos en posiciones intermedias.

- Condiciones ambientales

Son definitivas y condicionan el éxito o el fracaso de la instalación. La temperatura obliga a elegir válvulas con diferentes tipos de materiales de empaques para que soporten los márgenes requeridos. La necesidad o independencia de la lubricación interna también condiciona la aplicación de las válvulas.

La humedad o ambiente marino también exige la elección de válvulas resistentes a estos ambientes.

- Resistencia a las vibraciones

En ciertas aplicaciones pueden estar las válvulas sometidas a vibraciones e impactos por lo que pueden generarse movimientos indeseados que desencadenen ciclos peligrosos por lo que cuando amerita se deben emplear válvulas compatibles con las vibraciones o usar medios de amortiguación adecuados.

### 2.3.4 Actuadores

Los actuadores neumáticos son aquellos componentes capaces de transformar la energía potencial latente en el aire comprimido en trabajo mecánico, para el accionamiento de máquina o mecanismos.

Según la forma de entregar este trabajo mecánico, los actuadores se clasifican en cilindros, actuadores de giro y motores rotativos. Los cilindros entregan el trabajo en forma rectilínea de empuje-tracción; los actuadores de giro en movimientos angulares y los motores rotativos tienen un eje que puede girar para accionar mecanismos rotativos.

Los cilindros neumáticos representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Existen dos tipos fundamentales:

- Cilindros de simple efecto

Cuentan solo con una entrada de aire para producir una carrera de trabajo. Los cilindros de simple efecto se utilizan para sujetar, marcar, expulsar y otras aplicaciones.

- Cilindros de doble efecto

Tienen dos entradas de aire para producir carreras de trabajo de salida y retroceso. El campo de aplicación de los cilindros de doble efecto es mucho más extenso que el del simple efecto por lo que son más habituales en el control neumático.

### Cálculo de cilindros

Los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de calcular un cilindro son la fuerza del émbolo, la longitud de carrera, la velocidad del émbolo, el consumo de aire y las fijaciones. Sin embargo, lo más recomendable es acudir siempre a los datos aportados por el fabricante.

- Fuerza del émbolo

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende principalmente de la presión de aire, del diámetro del cilindro y del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica del émbolo se describe en la ecuación 2.2, ver [1]:



$$F_{teorica} = P * S = P * \pi \frac{D^2}{4} \quad (2.2)$$

Si se necesita calcular la fuerza de salida y de retorno se utilizan las ecuaciones 2.3 y 2.4; ver [1], donde  $S_2$  es  $S_1$  menos el área del vástago; con lo que se deduce que la fuerza de salida es mayor a la fuerza de retroceso.

$$F_{salida} = P * S_1 \quad (2.3)$$

$$F_{retorno} = P * S_2 \quad (2.4)$$

- Longitud de carrera

La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe exceder de 2000 mm. Con émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire y precio de los actuadores. La carrera viene definida por la diferencia de posición entre las dos situaciones extremas del embolo. Siendo  $D$ , el diámetro interior del tubo y  $d$  el diámetro del vástago, la superficie activa viene dada por la ecuación 2.5, ver [1]:

$$S_2 = \pi \frac{D^2 * d^2}{4} \quad (2.5)$$

- Velocidad del émbolo

La velocidad del émbolo, en circuitos neumáticos depende de la fuerza antagonista, de la presión del aire, de la longitud de la tubería, de la sección entre los elementos de mando y trabajo y del caudal que circula por el elemento del mando.

La velocidad media del émbolo, en cilindros estándar, está comprendida entre 0,1 y 1,5 m/s.

- Consumo de aire

Se mide en litros por segundo en condiciones normales y depende de su diámetro, de su carrera y del número de ciclos de ida y vuelta que efectúa en la unidad de tiempo. El volumen del cilindro en el sentido de salida del vástago para la carrera  $C$  se calcula de acuerdo a la ecuación 2.6 y el volumen del cilindro en el sentido de entrada del vástago según la ecuación 2.7, ver [1].

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * C \quad (2.6)$$

$$V_1 = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * C \quad (2.7)$$

La suma de  $V + V_1$  representa el volumen del cilindro en una carrera de ida y vuelta. Como el cilindro se llena de aire a presión, es preciso corregir este volumen por medio de la aplicación de la ley de Boyle, multiplicando el volumen por la presión absoluta (presión manométrica + 1).

Por lo tanto, el volumen de aire consumido por el cilindro en cada ciclo viene dado por la ecuación 2.8, ver [1].

$$\text{Consumo} = (V + V_1) * (P + 1) \quad (2.8)$$

valor que multiplicando por el número de ciclos que efectúa el cilindro en la unidad de tiempo proporcionara el consumo total.

#### - Fijaciones

El tipo de fijación es importante ya que el cilindro puede ir equipado de los accesorios de montaje necesarios.

### 2.3.5 Otros equipos utilizados

#### ○ Transductores digitales

Un transductor convierte la señal de presión o vacío en una señal eléctrica analógica. Se utilizan para el control de sistemas de presión. Pueden leer señales de vacío, presión y flujo (caudal).

○ Fast Test: Son dispositivos que brindan conexiones rápidas, sin daños y sin fugas. Los fast test se sellan externamente y el movimiento uniforme del sello hace que la conexión sea hermética y rápida, incluso sobre superficies roscadas, ásperas o aceitosas. Además como se indica en [22]:

- Son ideales para procesos automatizados y pruebas de producción de alto volumen.
- Proporciona sellado instantáneo desde el vacío a 500 psi (34.4 bar)
- Sella los diámetros exteriores de 0.030 "a 5.040" (0.76 mm a 128 mm)
- El aire comprimido activa los sellos para una prueba de fuga de flujo completo con aire, gas o líquido
- Ideal para aplicaciones de manipulación de piezas de recogida y colocación

### 2.3.6 Conectores neumáticos

Las conexiones se utilizan para interconectar componentes en un sistema neumático con tubería flexible o tubería rígida. Existe una gran variedad de conectores que incluyen:

- Métodos de conexión: uniones rectas, uniones en codo, uniones en T, acoplamientos de liberación rápida, reducciones, nipples, entre otras.
- Tamaño de la rosca: Uso de rosca G, NPT, PT, métrica, entre otras; si la conexión es macho o hembra.
- Tamaño de la tubería: En milímetros o pulgadas.
- Ángulos de conexión: El ángulo más común es 45°
- Número de conexiones
- Materiales de conexiones: Plástico, acero inoxidable o recubiertos.
- Aplicaciones: Uso de distribuidores en bloque, tapones, reguladores de flujo, válvulas check, entre otras.
- Estándares de la industria

### 2.3.7 Mangueras

Al igual que los conectores existe gran variedad de tipos de manguera. Principalmente se escogen por su tamaño que se encuentra en medidas estándar en milímetros o pulgadas. Se presenta en diferentes materiales, el más común es el poliuretano ya que reduce las deformaciones. Su presentación puede variar en color: azul (aire comprimido), amarillo (vacío), transparente u otro color. Además, la manguera puede ser flexible o rígida. El largo se compra a la medida y existen cortadoras especiales de tubería.

## 2.4 Sistema mecánico

En esta sección se detallan los materiales utilizados para la construcción de la máquina. Todos se tuvieron que maquinar y realizar su respectivo plano.

### 2.4.1 Sistema de construcción modular MB

Es una de las principales soluciones para todas las tareas de construcción en ingeniería y construcción mecánica. Sus campos de aplicación van desde un simple bastidor hasta la línea de producción completamente automatizada.

Este sistema es de fácil adaptabilidad y los componentes modulares se pueden combinar prácticamente sin limitaciones. Su fiabilidad y capacidad de ampliación garantizan una larga vida útil de las instalaciones.

Este sistema incluye (ver [12]):

- Perfiles de aluminio: Con los perfiles de aluminio altamente resistentes, se pueden diseñar todo tipo de construcciones de forma limpia y rápida, sin necesidad de modificar la superficie. Todos los perfiles están anodizados y adaptados a unas dimensiones modulares que garantizan su compatibilidad dentro de unas series determinadas.

- Uniones: Proporcionan gran rigidez entre perfiles. Las uniones pueden ser a escuadra, uniones de perfiles cruzados, uniones de perfiles paralelos y uniones en ángulo.

- Tuercas: Los diferentes tipos de tuercas y perfiles tuerca para procesos específicos crean los contraapoyos para el tornillo en la ranura. Hay tuercas St, Zn, PA, F y HD.

- Tornillos y fijaciones universales: Diversos tornillos y elementos de fijación universal para unir accesorios a estructuras hechas con perfiles. Se usan tornillo cabeza botón, cilíndricos, cabeza plana y avellanados.

- Bridas para panelados: La unión rígida se consigue utilizando diferentes componentes según los requerimientos en términos de fuerza, instalación y diseño. Los paneles rígidos pueden montarse utilizando perfiles estándar o perfiles brida especiales.

- Manetas: Las puertas batientes, correderas y levadizas se abren y cierran con manetas o sistemas de agarre. Las manetas se sujetan directamente a paneles rígidos, o se sujetan al perfil que forma el marco del panel.

- Elementos de suelo: El grupo de elementos de suelo comprende:

- Pies ajustables para utillajes, máquinas y cerramientos

- Ruedas para aparatos, contenedores y otras estructuras móviles

- Elementos especiales para fijar estructuras al suelo o a la pared

- Placas de base o de transporte para unir pies ajustables y ruedas a diversas estructuras

## 2.4.2 Materiales usados

- Lámina de acero inoxidable:

Es una lámina disponible en piezas planas o en rollos. En la mayor parte del mundo, el espesor de la chapa se especifica en milímetros o se utiliza su calibre. Cuanto mayor sea el número de calibre, más delgado es el metal. Ofrece una buena resistencia a la corrosión a la vez que mantiene la forma y la soldabilidad.

- Aluminio:

Es un material resistente a la corrosión y extremadamente dúctil. Se utiliza como placa y como barra. El aluminio se anodiza, proceso electrolítico de pasivación utilizado para incrementar el espesor de la capa natural de óxido en la superficie de piezas metálicas.

Esta técnica se usa principalmente para proteger al aluminio de la abrasión y corrosión, y permite su tinte en una amplia variedad de colores.

- Delrin:

También conocido como resina acetálica, es un material termoplástico, semicristalino de gran dureza y resistencia, con excelentes resultados en su mecanización y con múltiples aplicaciones. Se utiliza en color blanco y negro en forma como placa y como barra. Teflón:

Es un polímero que se utiliza como recubrimiento en todas las roscas de los conectores neumáticos para evitar fugas. Así mismo en su presentación como barra tiene la capacidad antifricción, es antiadherente y resistente a la temperatura.

- Aluminio compuesto:

Es un material decorativo que puede utilizarse en diseños interiores o exteriores de edificios o máquinas. Es durable, estético y es ideal para el uso de fachadas ya que cuenta con un acabado resistente a condiciones climáticas extremas.

En [15] se menciona que soporta climas con alcalinidad, salinidad o bien en zonas donde exista polución ácida (industrial) sin ser afectados por los cambios de temperatura, ni alteraciones producidas por los rayos ultravioleta. También se usa en estructuras publicitarias, recubrimientos de muros y anuncios. En la Figura 7 se muestra la estructura de este material.



Figura 7 Estructura de la lámina de aluminio compuesto Tomado de [15]

## 2.5 Sistema eléctrico

En esta parte del capítulo 2 se presentan los detalles del sistema eléctrico que se usó para el desarrollo de la máquina.

## 2.5.1 Sistema de controlador lógico programable 850

Incluyen una nanodimensión, están diseñados para aplicaciones de control de máquinas independientes pequeñas y de automatización remota que requieren comunicaciones flexibles y capacidades de E/S. Estos controladores admiten hasta 36 puntos de E/S con muchas funciones incorporadas como Ethernet, ranura microSD para registros de receta y datos y E/S analógica.

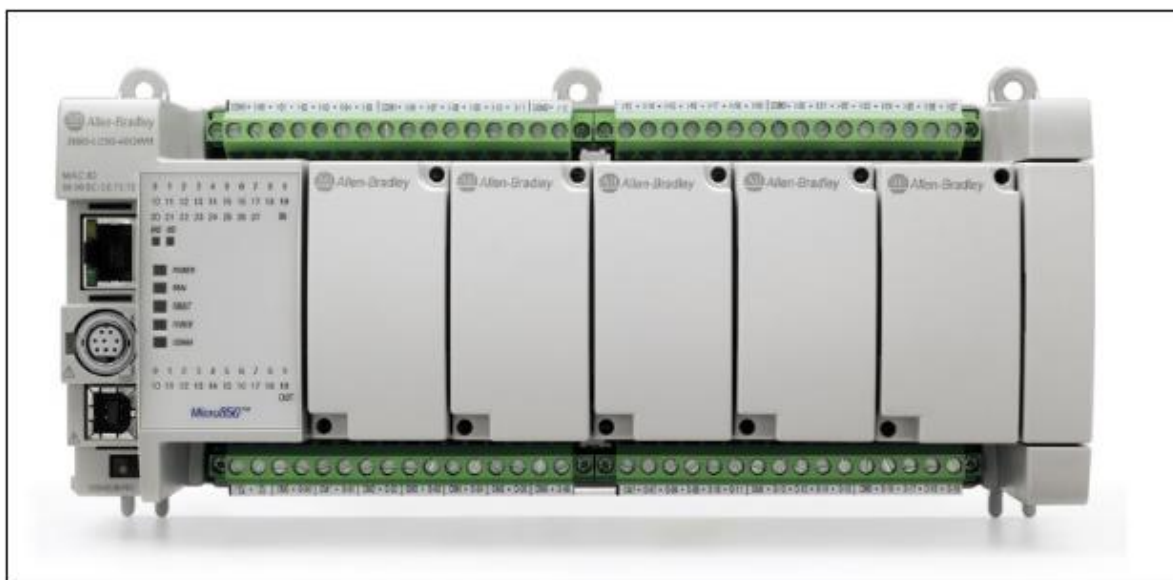


Figura 8 Microcontralor 850 Allen-Bradley

Como se muestra en la Figura 8 y según [23], sus características son:

- Ofrece controladores de 20 puntos
- Proporciona entrada analógica de cuatro canales no aislada e incorporada de 0 a 10 V y una entrada analógica de un canal para control de velocidad de un variador de CA
  - Proporciona comunicaciones incorporadas a través de un puerto serial no aislado (para comunicaciones RS-232 y RS-485) y puerto Ethernet
  - Se comunica a través de Ethernet/IP.
  - Proporciona ranura microSD incorporada para transferencia de programas, registro de datos y administración de recetas
  - Proporciona soporte incorporado para hasta cuatro entradas de temperatura de termistor de 10 mil.
  - Admite la descarga de programas a través de USB con una LCD remota
  - Admite hasta dos módulos enchufables Micro800.

## Ventajas

### Una solución rentable

- Reducción de las dimensiones del controlador mediante el empleo de módulos enchufables para la ampliación de las funciones del dispositivo
- Registro de la posición exacto sin instalaciones adicionales con función TouchProbe integrada
- Producción de sistemas de control de bucle cerrado confiables con cálculos de punto flotante e instrucciones PID integradas

### Instalación, programación y mantenimiento fáciles

- Sencillez de programación de los controladores y otros dispositivos gracias al software Connected Components Workbench™
- Reducción del tiempo de programación gracias a los bloques de funciones definidos por el usuario (UDFB)
- Producción de equipos con características atractivas y diferenciadoras a través de las herramientas de ingeniería de la automatización del Accelerator Toolkit Connected Components

### Comodidad en la conexión de los controladores

- Comunicación sencilla con distintos dispositivos gracias a los puertos Ethernet, seriales y USB integrados
- Complementación de los dispositivos de terceros nuevos o existentes mediante la conexión a través de Ethernet/IPTM, DeviceNet™, Modbus TCP, Modbus RTU, ASCII y socket abierto

## 2.5.2 Módulos de entradas y salidas analógicas y digitales

Los controladores con E/S de expansión Micro850® Boletín 2085 amplían las capacidades de los controladores Micro850 al maximizar la flexibilidad del conteo y del tipo de E/S. El módulo E/S se encaja de manera firme al costado derecho del controlador Micro850 y se monta tanto en panel como en riel DIN.

### Características

- Brinda capacidades adicionales de E/S analógicas, E/S digitales y especiales.
- Ofrece bloques de terminales extraíbles para una mayor sencillez en la instalación, mantenimiento y cableado.
- Soporta 132 puntos de E/S en cada controlador Micro850® (máximo 4 módulos de E/S de expansión).

### Módulos de expansión de E/S análogos 2085

- Módulos con entrada y salida análoga disponibles: 4 canales, 8 canales, aislado

- Alta resolución
- Alta precisión

#### Módulos de expansión de E/S digitales 2085

- Una variedad de módulos discretos de CA y CC disponibles para utilizarse con distintas aplicaciones
  - Módulos de salida de estado sólido disponibles para aplicaciones que requieren más que relés
  - Módulo de E/S discretas de alta densidad disponible para reducir el consumo de espacio

#### Módulos de expansión de E/S de especialidad 2085

- Detector de temperatura de resistencia (RTD) disponibles (4 canales, aislado)
- Módulos termopar (TC) disponibles: 4 canales, aislado
- Alta precisión

#### Módulos de expansión de E/S de terminación de bus 2085

- Terminación de tapa final

### 2.5.3 Fuentes de alimentación

Cuando se trabaja con componentes electrónicos la tensión de estos suele ser baja, mucho menor a 120 V, que es la tensión más común de los equipos electrónicos. Por lo que se usan fuentes externas o convertidores de la tensión principal de la máquina para alimentar dichos componentes.

Para la selección de una fuente de alimentación los factores más comunes son:

- Tensión de salida: Los valores más comunes son 48 V, 36 V, 24 V, 15V, 12 V, 10 V y 5 V.
- Tipo: Chasis metálico, modular, abierto o tipo libro.
- Potencia: 15 a 480 W.
- Tamaño.
- Rango de temperatura.
- Montaje.

### 2.5.4 Fusibles

Es un dispositivo de seguridad utilizado para proteger dispositivos eléctricos y electrónicos. El fusible está constituido por una lámina o hilo metálico que se funde con el calor producido por el paso de la corriente.



Este dispositivo permite el paso de la corriente mientras ésta no supere un valor establecido. Si el valor de la corriente, es superior a éste, el filamento del fusible se corta, se abre el circuito y no pasa corriente.

Si esto no sucediera, el equipo que se alimenta se puede recalentar por consumo excesivo de corriente (corto circuito) y hasta causar un incendio. El fusible normalmente se coloca entre la fuente de alimentación y el circuito a alimentar. El fusible se escoge de acuerdo a la corriente con la que va a trabajar su equipo. Sin embargo, entre sus especificaciones también aparece el voltaje máximo al que puede trabajar.

## 2.5.5 Cables

Un cable eléctrico es un elemento fabricado y pensado para conducir electricidad. El material principal con el que están fabricados es con cobre (por su alto grado de conductividad) aunque también se utiliza el aluminio que, aunque su grado de conductividad es menor también resulta más económico que el cobre.

Los cables eléctricos están compuestos por el conductor, el aislamiento, una capa de relleno y una cubierta. Cada uno de estos elementos que componen un cable eléctrico cumplen con un propósito que se detallan a continuación ver [13]:

- **Conductor eléctrico:** Es la parte del cable que transporta la electricidad y puede estar constituido por uno o más hilos de cobre o aluminio.
- **Aislamiento:** Este componente es la parte que recubre el conductor, se encarga de que la corriente eléctrica no se escape del cable y sea transportada de principio a fin por el conductor.
- **Capa de relleno:** La capa de relleno se encuentra entre el aislamiento y el conductor, se encarga de que el cable conserve un aspecto circular ya que en muchas ocasiones los conductores no son redondos o tienen más de un hilo. Con la capa de relleno se logra un aspecto redondo y homogéneo.
- **Cubierta:** La cubierta es el material que protege al cable de la intemperie y elementos externos.

### Selección del cable

A la hora de seleccionar el cable se deben de tomar en cuenta los siguientes factores:

- Tensión de los cables eléctricos

Dependiendo de la tensión para la que están preparados para funcionar los cables se categorizan en grupos de tensiones que van por rangos de voltios.

- Cables de muy baja tensión (Hasta 50V)
- Cables de baja tensión (Hasta 1000V)
- Cables de media tensión (Hasta 30kV)

- Cables de alta tensión (Hasta 66kV)
- Cables de muy alta tensión (Por encima de los 770kV)

- Medidas de los cables eléctricos

Las medidas de los cables y alambres eléctricos se suelen categorizar en calibres si se habla del sistema AWG (American Wire Gauge), sin embargo, es más común conocerlos dependiendo del diámetro del cable en el sistema métrico decimal y categorizarlos en milímetros cuadrados dependiendo del diámetro de la sección. En la Figura 9 se muestra las equivalencias del calibre en milímetros.

FOTO	CALIBRE / AWG	DIAMETRO EN MM	CONSUMO DE CORRIENTE	EJEMPLOS
	6	16mm	Muy alto	Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts).
	8	10mm	Alto	Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica.
	10	6mm	Medio - alto	Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.
	12	4mm	Medio	Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.
	14	2.5mm	Medio - bajo	Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.
	16	1.5mm	Bajo	Extensiones de bajo consumo, lámparas.
	18	1mm	Muy bajo	Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.

Figura 9 Equivalencias de calibre en milímetros. Tomado de [13]

- Amperaje que soportan los cables eléctricos

En la Figura 10 se muestran el amperaje soportado por cada medida o calibre del cable de cobre.

Amperaje que soportan los cables de cobre							
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C			
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT			
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A		
12 AWG	20 A	20 A	20 A				
10 AWG	30 A	30 A	30 A				
8 AWG	40 A	50 A	55 A				
6 AWG	55 A	65 A	75 A				
4 AWG	70 A	85 A	95 A				
3 AWG	85 A	100 A	115 A				
2 AWG	95 A	115 A	130 A				
1 AWG	110 A	130 A	145 A				
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A				
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A				
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A				
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A			12 AWG	25 A

Figura 10 Amperaje que soportan los cables de cobre. Tomado de [13]

### 2.5.6 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Es una pantalla que sirve como interfaz entre el proceso y el operario. Es la principal herramienta utilizada para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real.

Proporcionan gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso. Suministran información operativa al proceso, y permiten el control y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso.

Los factores a la hora de seleccionar el HMI son:

- Tamaño de la pantalla
- Número de puertos seriales
- Número de puertos Ethernet
- Número de puertos USB
- Software usado
- Protocolo de transferencia de archivos (Servidor Web, FTP, Registro de datos)
- Lenguaje o tipo de programación
- Puertos para expansión
- Rango de temperatura

## 2.5.7 Sensores

El sensor traduce la información que le llega del exterior en un impulso eléctrico, normalmente digital (pasa o no pasa corriente), que puede ser analizado y procesado por la unidad de control del sistema.

Según [14] existen varios tipos de sensores:

- Inductivos: Detectan la presencia de metales mediante un campo electromagnético,
- Capacitivos: Reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad, mediante un campo electrostático. Se emplean para la identificación de objetos, para funciones contadoras y para toda clase de controles de nivel de carga de materiales sólidos o líquidos.
- Ultrasónico: Detectan todo tipo de material mediante ondas de sonido.
- De contacto: Se emplean para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Los principales son los llamados finales de carrera.
- Ópticos o fotoeléctricos: Detectan la presencia de una persona o de un objeto que interrumpen el haz de luz que le llega al sensor. Los principales sensores ópticos son las fotorresistencias, las LDR.
- Térmicos: Se trata de resistencias cuyo valor asciende con la temperatura (termistor PTC) o bien disminuye con la temperatura (termistor NTC). Los termistores son los principales sensores de temperatura.
- De humedad: Los sensores de humedad se aplican para detectar el nivel de líquido en un depósito, o en sistemas de riego de jardines para detectar cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no.
- Magnéticos: Detecta los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas. El principal es el llamado interruptor Reed; consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito.
- Infrarrojos: Existen diodos capaces de emitir luz infrarroja y transistores sensibles a este tipo de ondas y que por lo tanto detectan las emisiones de los diodos.

# Capítulo 3

## Máquina de aseguramiento de la calidad del Quadset.

La máquina propuesta se compone principalmente de tres secciones: la eléctrica, que se encarga de la lógica de funcionamiento mediante un controlador y la comunicación con la interfaz máquina – ser humano; la neumática, que se encarga de la distribución del aire y la mecánica, que contempla la estructura externa e interna de todos los componentes.

La máquina puede probar hasta cuatro quadsets a la vez por lo que cuenta con cuatro estaciones.

### 3.1 Estructura de la máquina

El cliente nombra como requisito que las medidas de la máquina deben ser 70” X 19.5” X 38.5” (1778 mm X 495.3 mm X 977.9 mm).

Se decide utilizar un sistema de construcción modular MB, perfil 40 ya que es sencillo de manipular, ensamblar y es resistente. Este material se usa para el cuerpo de la máquina donde van montados el panel eléctrico, la pantalla, todos los componentes neumáticos y la estación de trabajo. Al finalizar la construcción las paredes se forran con aluminio compuesto.

Para la estación de trabajo se decide utilizar una hoja de 4mm de acero inoxidable ya que es resistente, fácil de manipular y es de uso frecuente en las máquinas. Sirve como bandeja para los paneles neumáticos.

#### 3.1.1 Componentes de soporte

La máquina cuenta con tres secciones importantes: el panel neumático, el panel eléctrico y la estación de trabajo. Cada parte se desarrolla sobre una lámina de aluminio diseñada con dimensiones específicas. Sobre estas láminas se montan todos los componentes los cuales ya tienen previstas para sujeción o de acuerdo a su forma se diseñan soportes para sujetarlos a los paneles o a la estructura de la máquina.

### 3.1.2 Sistema de sellado

Por cada agujero de la carcasa del quadset sale aire y como esta se ubica en una extremidad del dispositivo se debe sellar para medir las presiones, el vacío y sus respectivas caídas por lo que se diseña este sistema de sellado. Los cálculos se hacen para el agujero más pequeño ya que al tener todas las salidas la misma fuerza, el esfuerzo será mayor. La fuerza ejercida sobre el sistema de sello se deduce de la ecuación 3.1 y el esfuerzo soportado se calcula según la ecuación 3.2.

$$F = P * A_{manguera} \quad (3.1)$$

$$F = 32 \text{ psi} * \frac{\pi * 0.25 \text{ in}^2}{4} = 1.571 \text{ lbf} = 6.99 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{contacto}} \quad (3.2)$$

$$\sigma = \frac{1.571 \text{ lbf}}{\frac{\pi * 0.125 \text{ in}^2}{4}} = 128 \text{ psi} = 0.882 \text{ MPa}$$

Material	Peso específico lb/in. <sup>3</sup>	Tensión, ksi	Compresión, <sup>2</sup> ksi	Cor-tante, ksi	Tensión, ksi	Cor-tante, ksi	Módulo de elas-ticidad, 10 <sup>6</sup> psi	Módulo de rigidez, 10 <sup>6</sup> psi	Coefficiente de expan-sión, 10 <sup>-6</sup> /°F	Ductilidad, porcentaje de elonga-ción en 2 in.
<b>Acero</b>										
Estructural (ASTM-A36)	0.284	58			36	21	29	11.2	6.5	21
Alta resistencia-baja aleación										
ASTM-A709 Grado 50	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
ASTM-A913 Grado 65	0.284	80			65		29	11.2	6.5	17
ASTM-A992 Grado 50	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
Templado										
ASTM-A709 Grado 100	0.284	110			100		29	11.2	6.5	18
Inoxidable AISI 302										
Laminado en frío	0.286	125			75		28	10.8	9.6	12
Recocido	0.286	95			38	22	28	10.8	9.6	50
Acero de refuerzo										
Resistencia media	0.283	70			40		29	11	6.5	
Alta resistencia	0.283	90			60		29	11	6.5	
<b>Fundición:</b>										
Fundición gris										
4.5% C, ASTM A-48	0.260	25	95	35			10	4.1	6.7	0.5
Hierro fundido										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	0.264	50	90	48	33		24	9.3	6.7	10
<b>Aluminio</b>										
Aleación 1100-H14 (99% Al)	0.098	16		10	14	8	10.1	3.7	13.1	9
Aleación 2014-T6	0.101	66		40	58	33	10.9	3.9	12.8	13
Aleación 2024-T4	0.101	68		41	47		10.6		12.9	19
Aleación 5456-H116	0.095	46		27	33	19	10.4		13.3	16
Aleación 6061-T6	0.098	38		24	35	20	10.1	3.7	13.1	17
Aleación 7075-T6	0.101	83		48	73		10.4	4	13.1	11

Tabla 3 Propiedades típicas de materiales usados en Ingeniería. Tomado de [2]

De acuerdo con las resistencias últimas del aluminio que se muestran en la Tabla 3 el aluminio cumple con el esfuerzo que tendrán las piezas diseñadas de sistema de sellado.

## 3.2 Panel Neumático

De acuerdo a los parámetros que deben cumplir las pruebas se escogen los componentes. Como se muestra en la Tabla 1 la presión manométrica mínima de entrada a la máquina debe ser de 80 psi (0.552 MPa), el flujo mínimo en cada estación debe ser de 1.1 scfm ( $0.000082 \text{ m}^3/\text{s}$ ), las pruebas de vacío en cada estación deben tener como mínimo 23 inHg (77.9 kPa) y la presión manométrica mínima de prueba en cada estación debe ser 32 psi (0.22 MPa).

### 3.2.1 Almacenamiento de aire

Como son cuatro estaciones que pueden trabajar al mismo tiempo se evalúa de qué tamaño debe ser el almacenamiento de aire para que cumpla con el requerimiento de flujo. El caudal por estación es de 1.1 scfm, la presión manométrica del sistema es de 80 psi y trabaja a temperatura ambiente.

De acuerdo a la ecuación 2.1 la presión absoluta del sistema es la siguiente:

$$P_{abs} = 80 \text{ psi} + 13 \text{ psi} = 93 \text{ psi} = 0.641 \text{ MPa}$$

De acuerdo a [16] el flujo en scfm se puede convertir en cfm al utilizar la ecuación 3.3 como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} scfm &= cfm * \frac{P_{actual}}{14.7 \text{ psi}} * \frac{528 \text{ }^\circ\text{R}}{T_{actual}} \\ 4.4 \text{ scfm} &= cfm * \frac{93 \text{ psi}}{14.7 \text{ psi}} * \frac{528 \text{ }^\circ\text{R}}{528 \text{ }^\circ\text{R}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$cfm = 0.695 \text{ ft}^3/\text{min} = 0.000328 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se requiere que el flujo se mantenga en un minuto, tiempo máximo de prueba, por lo que el volumen del almacenamiento de aire es de  $0.695 \text{ ft}^3$  ( $0.0197 \text{ m}^3$ ). En galones equivale a 5.20. Se escoge un pulmón de 7 galones (26.50 litros) teniendo un factor de seguridad de 0.74 con la ventaja que si se reduce el tiempo el volumen necesario disminuye.

Al pulmón se le escoge una válvula de seguridad de 150 psi (1.034 MPa) ya que la máxima presión admisible del pulmón es de 200 psi (1.379 MPa) y una válvula de drenaje por si se necesita vaciar.

### 3.2.2 Unidad de mantenimiento.

Como se trata de un dispositivo médico no se permite que exista cualquier tipo de contaminación. En Hologic se trabaja con un sistema de aire OFA, pero en CRI Medical no por lo que en la entrada de aire se coloca una unidad de mantenimiento para luego entrar al depósito de aire.

La unidad de mantenimiento escogida se compone de una unidad de corte para cerrar el flujo de aire, un separador de agua, un filtro regulador, un separador de partículas de 0.3  $\mu\text{m}$  y otro de 0.01  $\mu\text{m}$  con el fin de que el aire que se utilice esté limpio y seco.

### 3.2.3 Pistones

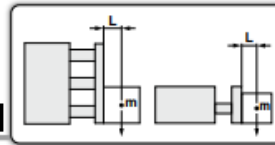
Se escogen de acuerdo a su función y a la presión que se utiliza. En la máquina diseñada se necesitan dos: uno para realizar el sello del quadset y otro para mover el gatillo de la válvula remota del dispositivo.

La fuerza que se requiere para el sello es la suma de las áreas de los agujeros por la presión de entrada y se calcula de acuerdo a la ecuación 3.4.

$$F = P * A \tag{3.4}$$
$$F = 80\text{psi} * \frac{\pi}{4} (0.125\text{in}^2 + 0.125\text{in}^2 + 0.5\text{in}^2 + 0.23\text{in}^2)$$
$$F = 21 \text{ lbf} = 93.41 \text{ N} = 9.53 \text{ kgf}$$

De acuerdo a la Figura 11 se elige el pistón MGPM32-100Z para efectuar el sello ya que tiene una carrera de 100 milímetros y con el tamaño de émbolo escogido puede mover una masa de carga mayor que 10 kilogramos.

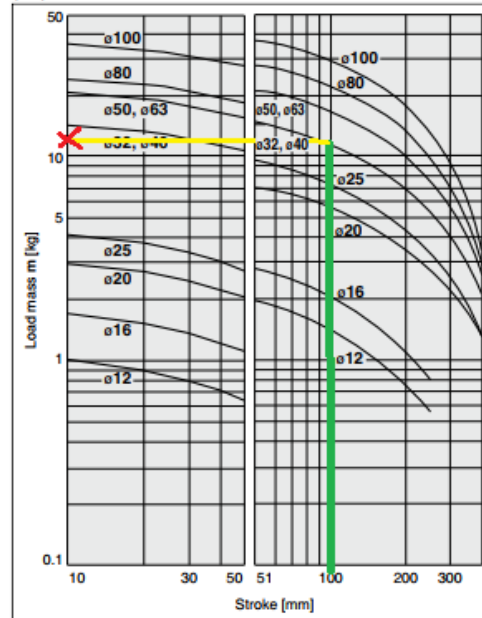




Horizontal Mounting Slide Bearing

MGPM12 to 100

(13) L = 50 mm, V = 200 mm/s or less



(14) L = 100 mm, V = 200 mm/s or less

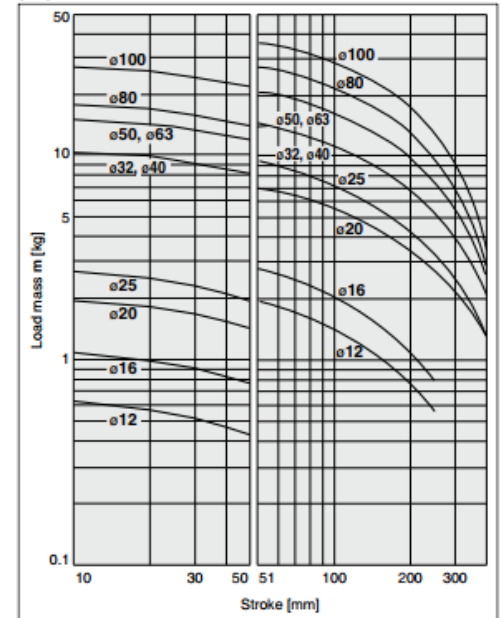


Figura 11 Selección del primer pistón de acuerdo a la fuerza. Tomado de [17]

El segundo pistón no es tan crítico, se elige el pistón CDPX2N15-25 ya que debe tener una carrera menor que veinticinco milímetros y la fuerza máxima de carga es de 29.4 Newton como se muestra en la Figura 12. Además, su funcionalidad es útil para el movimiento de disparo de la válvula remota.

## Specifications

Type		Non-lube	Air-hydro type
Fluid		Air	Hydraulic fluid
Proof pressure		1.5 MPa	
Max. operating pressure		1.0 MPa	
Min. operating pressure	CX2N10	0.15 MPa	—
	CX2□15	0.15 MPa	
	CX2□25	0.10 MPa	
Ambient and fluid temperature		-10°C to +60°C	
Piston speed (Non-lube)	With adjusting bolt	30 to 200 mm/s	Refer to Table (1).
	With shock absorber	30 to 500 mm/s	
Cushion		With shock absorber (Option)	
Stroke adjustable range		Standard stroke: ±2 mm	
Max. load mass <sup>(1)</sup>	CX2N10	9.8 N	
	CX2□15	29.4 N	
	CX2□25	58.8 N	
Non-rotating accuracy (Except piston rod deflection)	CX2N10	±0.1°	
	CX2□15	±0.04°	
	CX2□25	±0.02°	
Accessory (Option)		Straight knock pin (2 pcs.), Adjusting bolt (-X138) <sup>(2)</sup> Shock absorber	

Note 1) Place the center of gravity of the load as close to the center of the slide unit as possible during operation. If they are placed far apart, consult with SMC.

Figura 12 Selección del segundo pistón de acuerdo a la fuerza. Tomado de [18]

### 3.2.4 Válvulas

Se eligen de acuerdo a la prueba, a la función y a los parámetros de prueba. Todas las válvulas son monoestables y la tensión es de 24 VDC.

- Válvula de arranque progresivo: Se escoge con la función de regular la entrada y salida de aire.
- Válvula 5/2: Como son válvulas que siempre proporcionan aire por una de las dos salidas se escogen para actuar los pistones, generar vacío y hacer el sello del fast test.
- Válvula 3/2: Ya que solo tienen una salida se escogen para dar o cerrar el paso de aire o vacío.
- Válvula 2/2: Como se presentan secciones que hay que cerrar el sistema para medir la caída de aire o presión. Esta válvula realiza dicha función sin pérdidas.

- Generador de vacío: El vacío que se genera con un Venturi depende de la altura sobre el nivel del mar y como la máquina va a operar en la provincia de Cartago se elige un generador de vacío con mayor parámetro que el de las especificaciones.
- Otros componentes
- Transductores: Se eligen ya que son dispositivos que muestran medidas de presión, vacío, caudal. Los transductores de presión y vacío muestran los datos en tiempo real y el PLC lee estos valores para realizar operaciones internas y mostrarlos en pantalla. El medidor de caudal solo envía el dato al PLC y lo muestra en los resultados de la prueba en la interfaz de usuario.
  - Conector de tubos u objetos redondos (Fast Test): Se elige ya que es ideal para sujetar una boquilla del dispositivo sin que exista pérdida de presión o vacío.

### 3.2.5 Fitinería y Mangueras

Debido a que son cuatro estaciones y debe de haber una presión mínima de 30 psig en cada una de ellas se elige trabajar con diferentes tamaños de manguera. De la entrada de aire al manifold de distribución de cada estación se utiliza manguera de  $\frac{1}{2}$ , de las salidas del manifold al manifold de entrada de distribución de cada estación se utiliza manguera  $\frac{5}{16}$  y para todo lo demás manguera  $\frac{1}{4}$ .

La fitinería se escoge de acceso rápido en codo o lineal de acuerdo al tamaño de la manguera y al tamaño de rosca de la válvula. Para las válvulas de vacío se utilizan fittings especiales de acero inoxidable y para toda la parte de presión de plástico. Para los pistones se utilizan fittings con reguladores de flujo.

### 3.2.6 Panel Eléctrico

Al tener 12 entradas analógicas, 24 entradas digitales y 53 salidas digitales se escogió un micro controlador Allen Bradley 850 ya que cumple con los requerimientos y su costo era el menor. Se utilizan dos módulos de entradas analógicas y tres de entradas digitales. Además, se utilizan dos fuentes de 24 V y borneras como puentes para las entradas y salidas del sistema.

Como requerimiento de usuario el tiempo máximo de funcionamiento por ciclo es de 60 segundos por lo que se diseña un orden de pruebas donde se puedan realizar dos en paralelo teniendo en cuenta pérdidas de presión, vacío y de flujo. Como se muestra en la Figura 13 mientras se distribuye vacío no se distribuye presión y viceversa; la presión se aplica cuando se está midiendo la caída de vacío.

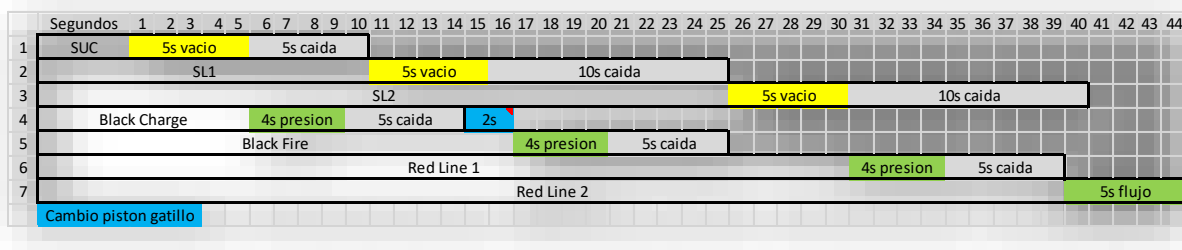


Figura 13 Diseño del tiempo de la prueba

De este modo la lógica de funcionamiento se programa con base en el orden diseñado de las pruebas.

De acuerdo con la Figura 13 la primera prueba es succión y como se muestra en la Tabla 2 consiste en una prueba de vacío del puerto al canister por lo que en el puerto se alimenta con vacío y el canister está sellado. Como se muestra en la Figura 29 son tres válvulas las que se deben de utilizar. Primero se actúan las tres válvulas para que haya vacío en esa manguera durante cinco segundos como se muestra en la Tabla 1, luego resetean dos válvulas: la que entrega presión al generador de vacío y la que sella el sistema para medir cuanto vacío hay después de cinco segundos.

Mientras se espera el tiempo para medir la caída de vacío se realiza la prueba de Black Charge. De acuerdo a la Tabla 2, es una prueba de presión en la posición de carga alimentando la línea negra y haciendo sello en la carcasa. Como se muestra en la Figura 29, actúan cinco válvulas. Dos son para accionar los pistones: uno para hacer el sello y otro para la posición de carga. Las otras tres son primero para alimentar de presión la línea negra y después de cuatro segundos cerrar el paso y medir la caída de presión en esa manguera.

Y así sucesivamente con las pruebas de la línea salina, la línea roja y de flujo.

### 3.2.7 Interfaz Usuario – Máquina

Se escoge una pantalla HMI de 17" marca Red Lion apta para mostrar los resultados de las pruebas, que sea táctil, tenga comunicación Ethernet y que cumpla con todas las características del sistema.

Se elaboran tres pantallas:

- Pruebas: Se muestran los resultados de cada prueba de las cuatro estaciones. Las pruebas que están correctas cambian a color verde y las que están malas a color rojo. Durante la prueba se muestra cuáles pruebas se están efectuando y al final de la prueba se emite un mensaje si paso o no paso.

También se observa en pantalla si hay o no hay quadset en cada una de las estaciones. Además, se enseña el flujo, el vacío y la presión que existe en cada estación en tiempo real, así como el tiempo que tardó la prueba.

- Parámetros: Se muestran los parámetros de cada prueba (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), con el fin de verificarlos o modificarlos.
- Válvulas de operación: Se observan las trece válvulas de cada estación con el fin de activarlas o desactivarlas manualmente para realizar inspecciones sin necesidad de efectuar toda la prueba o colocar un quadset.

### 3.2.8 Plan de mantenimiento

Al ser la primera vez que se va a implementar la máquina se decide realizar una tabla con los posibles problemas y los componentes que se deben revisar periódicamente

Tabla 4 Plan de mantenimiento

Actividad		Frecuencia
Inspección	Revisión de que la máquina entregue la presión adecuada al efectuar pruebas sin ningún quadset.	En el momento de la instalación, posteriormente cada semana.
	Revisión de que los paros de emergencia funcionen correctamente.	En el momento de la instalación, posteriormente cada seis meses.
	Revisión de que cada válvula se actúe manualmente	En el momento de la instalación, posteriormente cada tres meses.
	Revisión de que los transductores estén calibrados.	En el momento de la instalación, posteriormente cada seis meses.
Mantenimiento Preventivo	Limpiar o purgar los filtros de la unidad de mantenimiento.	En el momento que a la vista se observe que están llenos o sucios o cada tres meses.
Mantenimiento Correctivo	Cambiar cada filtro de vacío	En el momento que a la vista se observe que están llenos o sucios o cada tres meses.
	Cambiar los fusibles	En el momento que el fusible se dispare.
	Cambiar los hules de sellado	En el momento que la máquina no realice sello.

	Cambiar los puertos de conexión.	Después de tres pruebas seguidas con la misma prueba rechazada.
--	----------------------------------	---

Además, se elaboró una guía de problemas por cada prueba, indicando cuales son los posibles componentes afectados y las soluciones posibles a la falla.

Tabla 5 Guía para resolver problemas

<b>Guía para resolver problemas</b>		
<b>Modo de Falla</b>	<b>Puntos de inspección</b>	<b>Revisar, reemplazar o limpiar.</b>
Succión	Conexión interna del puerto de succión, válvulas, generador de vacío, manómetro de presión principal	Revisar las conexiones de las mangueras para ver si existen fugas.  Limpiar las válvulas respectivas  Revisar el valor de la presión principal.  Reemplazar el generador de vacío por uno nuevo.
Linea Salina 1	Conector de objetos redondos, válvulas, generador de vacío, manómetro de presión principal	Revisar las conexiones de las mangueras para ver si existen fugas.  Limpiar las válvulas respectivas  Revisar el valor de la presión principal.  Reemplazar el generador de vacío por uno nuevo.
Linea Salina 2	Hule de sello, conexión interna del hule, válvulas o generador de vacío, manómetro de presión principal	Revisar las conexiones de las mangueras para ver si existen fugas.  Limpiar el conector de objetos redondos  Revisar el valor de la presión principal.  Reemplazar el generador de vacío por uno nuevo.

		<p>Limpiar el hule de sistema de sello.</p> <p>Reemplazar el hule del sistema de sello</p>
Línea Negra	Conector rápido de la línea negra, hule de sellado, manómetro de presión de prueba, conexiones internas	<p>Revisar el valor de la presión de la estación.</p> <p>Limpiar el conector rápido del terminal negro.</p> <p>Reemplazar el conector rápido del terminal negro.</p> <p>Revisar el ajuste de la válvula remota.</p> <p>Limpiar el hule de sellado</p> <p>Reemplazar el hule de sellado</p>
Línea Roja	Conector rápido rojo, hule de sellado, manómetro de presión de prueba, conexiones internas.	<p>Revisar el valor de la presión de la estación.</p> <p>Limpiar el conector rápido del terminal rojo.</p> <p>Reemplazar el conector rápido del terminal rojo.</p> <p>Limpiar el hule de sellado</p> <p>Reemplazar el hule de sellado</p>
Flujo	Conector rápido rojo, manómetro de prueba de presión	<p>Revisar el valor de la presión de prueba.</p> <p>Revisar el conector rápido rojo para detectar obstrucciones.</p>

# Capítulo 4

## Resultados y Análisis

En el siguiente capítulo se muestra el diseño propuesto en el capítulo 3 implementado, así como también las demostraciones para comprobar el funcionamiento correcto del sistema.

### Estructura Mecánica

Luego de realizar el diseño se procede a la compra de materiales y seguidamente con la construcción de la máquina. En la Figura 14 se observa la implementación de la estructura mecánica con el sistema de construcción modular MB, el panel eléctrico y el pulmón montado según el diseño realizado. Las dimensiones de la estructura son las solicitadas.



Figura 14 Estructura de la máquina

En la Figura 15 se muestra el inicio del cableado del PLC, las fuentes y las borneras eléctricas. Las dimensiones de la lámina donde se colocan los componentes eléctricos se maquinaron de acuerdo al diseño propuesto y el espacio fue el adecuado.



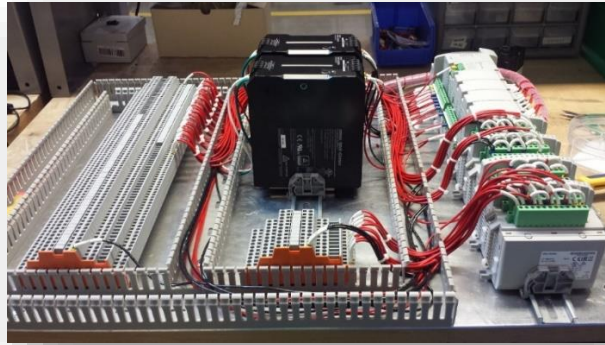


Figura 15 Proceso de cableado panel eléctrico

En la Figura 16 se presenta el panel eléctrico instalado. Las dimensiones del panel eléctrico son las adecuadas y se tiene un fácil acceso desde la máquina.



Figura 16 Panel eléctrico finalizado

En la Figura 17 se muestra el panel neumático de una estación. Los agujeros realizados previo al montaje de los componentes electroneumáticos con la lámina

de aluminio son correctos. Los tamaños de los conectores funcionan correctamente con las válvulas seleccionadas y el espacio de trabajo está bien distribuido.

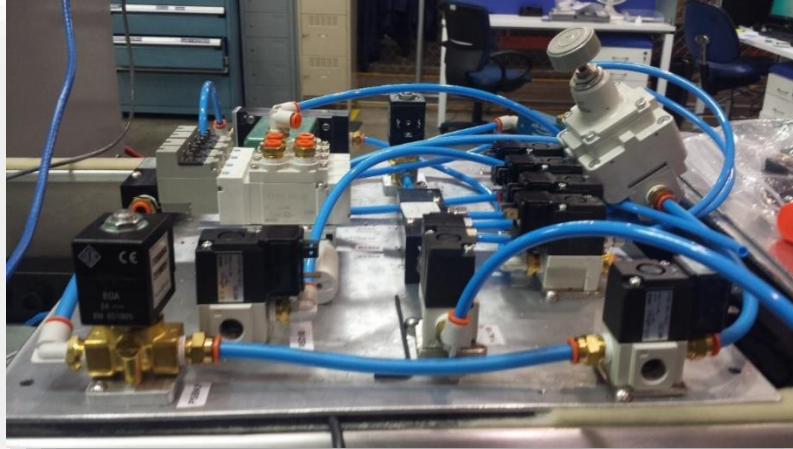


Figura 17 Panel neumático en proceso

En la Figura 18 se muestra el panel neumático instalado en la bandeja de trabajo.

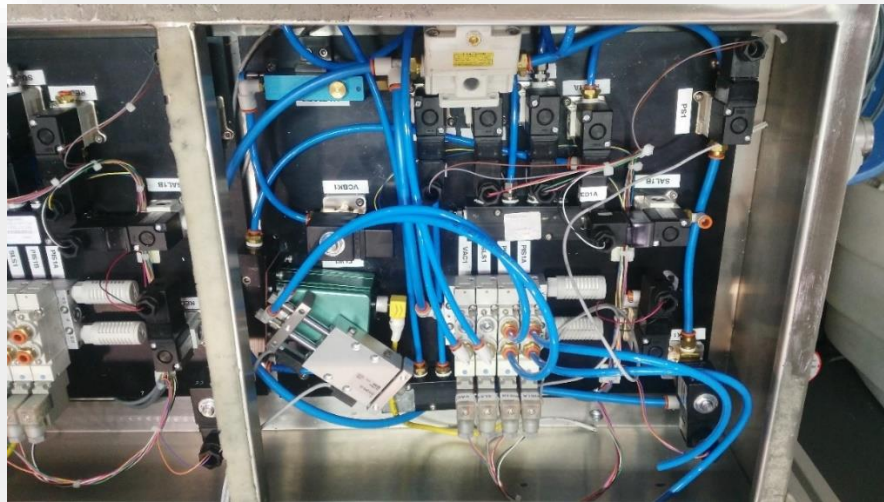


Figura 18 Panel neumático cableado y con mangueras

En la Figura 19 se muestra la unidad de mantenimiento instalada en la estructura. Está bien sujeta, es de fácil acceso para su mantenimiento y no sobrepasa el ancho de la maquina por lo que no genera problemas por su ubicación.



Figura 19 Unidad de mantenimiento

En la Figura 20 se muestra la estación de trabajo, donde se coloca la carcasa del quadset y la válvula remota. El posicionamiento de las mangueras no perjudica el sello y las conexiones se realizan adecuadamente sin dañar el quadset.

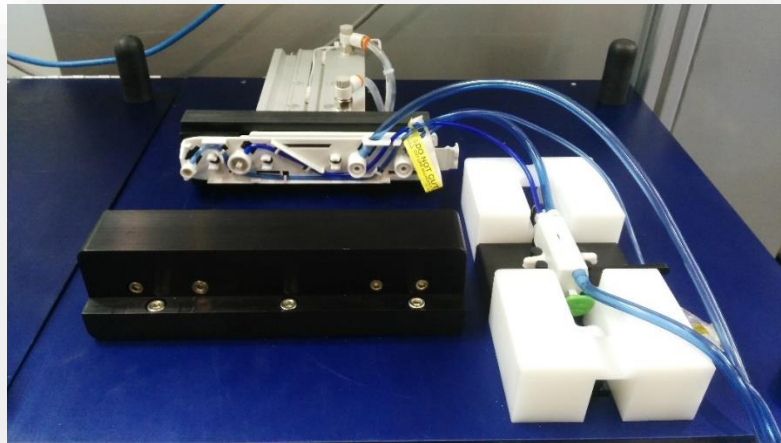


Figura 20 Estación de trabajo

En la Figura 21 se muestra la estación de trabajo sin el quadset. Además, se observa el diseño del sello, la base de la carcasa y la válvula remota.



Figura 21 Sistema de bloqueo y de disparo

En la Figura 22 se muestra la estación de trabajo donde se conectan todos los puertos de la quadset, se encuentra un manómetro por estación y dos transductores: uno de presión y el otro de vacío.



Figura 22 Puertos de conexión



En la Figura 23 se muestra la posición cuando se da el sello del quadset.

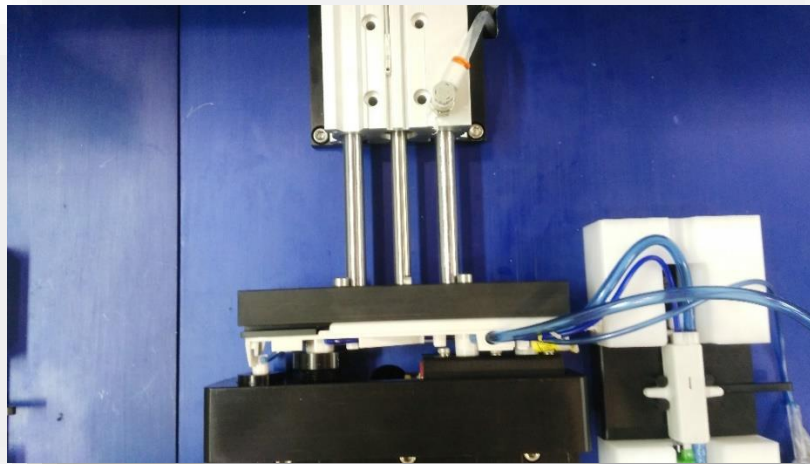


Figura 23 Posición de sellado

En la Figura 24 se muestra la máquina terminada. La máquina está forrada por láminas de aluminio compuesto, del lado izquierdo se encuentra la unidad de mantenimiento, el HMI es de fácil acceso y se ubica en el centro de la estructura y tiene cuatro estaciones como se diseñó.



Figura 24 Vista lateral máquina finalizada

En la Figura 25 se muestran los resultados de una prueba colocando solo un quadset en la estación dos. Se observa que una prueba falla (Red Line) y por ende el quadset no pasa la prueba. Los demás valores en verde si están correctos como se muestra. Las tres estaciones que no se utilizaron se mantienen sin cambios.

TEST STATIONS					
STATION 1	Initial	Drop	STATION 2	Initial	Drop
Suction	0.00 inHg	0.00 inHg	Suction	26.67 inHg	0.09 inHg
Saline Line 1	0.00 inHg	0.00 inHg	Saline Line 1	26.68 inHg	0.04 inHg
Saline Line 2	0.00 inHg	0.00 inHg	Saline Line 2	26.67 inHg	0.22 inHg
Black Charge	0.00 Psi	0.00 Psi	Black Charge	32.25 Psi	0.13 Psi
Black Fired	0.00 Psi	0.00 Psi	Black Fired	32.26 Psi	0.05 Psi
RedLine	0.00 Psi	0.00 Psi	RedLine	32.18 Psi	2.67 Psi
RedLine - Flow		0.00 SCFM	RedLine - Flow		2.21 SCFM
QUAD SET NO DETECTADO			TEST FAIL		
Vacc:	0.01	Press:	0.00	Flow:	0.28
Vacc:	0.03	Press:	0.02	Flow:	0.29
STATION 3	Initial	Drop	STATION 4	Initial	Drop
Suction	0.00 inHg	0.00 inHg	Suction	0.00 inHg	0.00 inHg
Saline Line 1	0.00 inHg	0.00 inHg	Saline Line 1	0.00 inHg	0.00 inHg
Saline Line 2	0.00 inHg	0.00 inHg	Saline Line 2	0.00 inHg	0.00 inHg
Black Charge	0.00 Psi	0.00 Psi	Black Charge	0.00 Psi	0.00 Psi
Black Fired	0.00 Psi	0.00 Psi	Black Fired	0.00 Psi	0.00 Psi
RedLine	0.00 Psi	0.00 Psi	RedLine	0.00 Psi	0.00 Psi
RedLine - Flow		0.00 SCFM	RedLine - Flow		0.00 SCFM
QUAD SET NO DETECTADO			QUAD SET NO DETECTADO		
Vacc:	0.00	Press:	0.05	Flow:	0.29
Vacc:	0.02	Press:	0.14	Flow:	0.26
MAIN		Test Time 49s5			

Figura 25 Resultados de una estación

Como se muestra en la Figura 26 la máquina funciona correctamente ya que se pueden probar las cuatro estaciones a la vez y pasa todas las pruebas cumpliendo con todas las especificaciones. En la pantalla se muestran valores de presión, vacío y flujo en tiempo real. El tiempo de prueba es de 49 segundos.

REGISTRO DE DATOS ESTA DETENIDO

STATION 1	Initial	Drop	STATION 2	Initial	Drop	
Suction	26.74 inHg	0.04 inHg	Suction	26.75 inHg	0.05 inHg	
Saline Line 1	26.75 inHg	0.09 inHg	Saline Line 1	26.76 inHg	0.04 inHg	
Saline Line 2	26.70 inHg	0.19 inHg	Saline Line 2	26.75 inHg	0.20 inHg	
Black Charge	32.92 Psi	0.15 Psi	Black Charge	32.96 Psi	0.16 Psi	
Black Fired	32.93 Psi	0.06 Psi	Black Fired	32.97 Psi	0.05 Psi	
RedLine	32.82 Psi	0.52 Psi	RedLine	32.96 Psi	0.64 Psi	
RedLine - Flow	2.44 SCFM		RedLine - Flow	2.27 SCFM		
TEST PASS			TEST PASS			
Vacc:	0.07	Press: - 0.39	Flow: 0.28	Vacc: - 0.01	Press: - 0.06	Flow: 0.29
STATION 3	Initial	Drop	STATION 4	Initial	Drop	
Suction	26.55 inHg	0.04 inHg	Suction	26.77 inHg	0.07 inHg	
Saline Line 1	26.54 inHg	0.04 inHg	Saline Line 1	26.78 inHg	0.06 inHg	
Saline Line 2	26.55 inHg	0.19 inHg	Saline Line 2	26.78 inHg	0.25 inHg	
Black Charge	32.91 Psi	0.27 Psi	Black Charge	32.93 Psi	0.20 Psi	
Black Fired	32.79 Psi	0.05 Psi	Black Fired	32.81 Psi	0.02 Psi	
RedLine	32.80 Psi	0.37 Psi	RedLine	32.81 Psi	0.59 Psi	
RedLine - Flow	2.31 SCFM		RedLine - Flow	2.25 SCFM		
TEST PASS			TEST PASS			
Vacc:	0.00	Press: - 0.12	Flow: 0.28	Vacc: 0.09	Press: - 0.12	Flow: 0.25
MAIN		Test Time 49s6				

Figura 26 Resultados de todas las estaciones

En la Figura 26 se muestra la pantalla de pruebas, en la Figura 27 aparece la pantalla donde se pueden accionar las válvulas manualmente, están acomodadas siendo cada fila una estación y en la Figura 28 se observan los parámetros de especificación de cada prueba. Estos valores se pueden cambiar si se requiere.



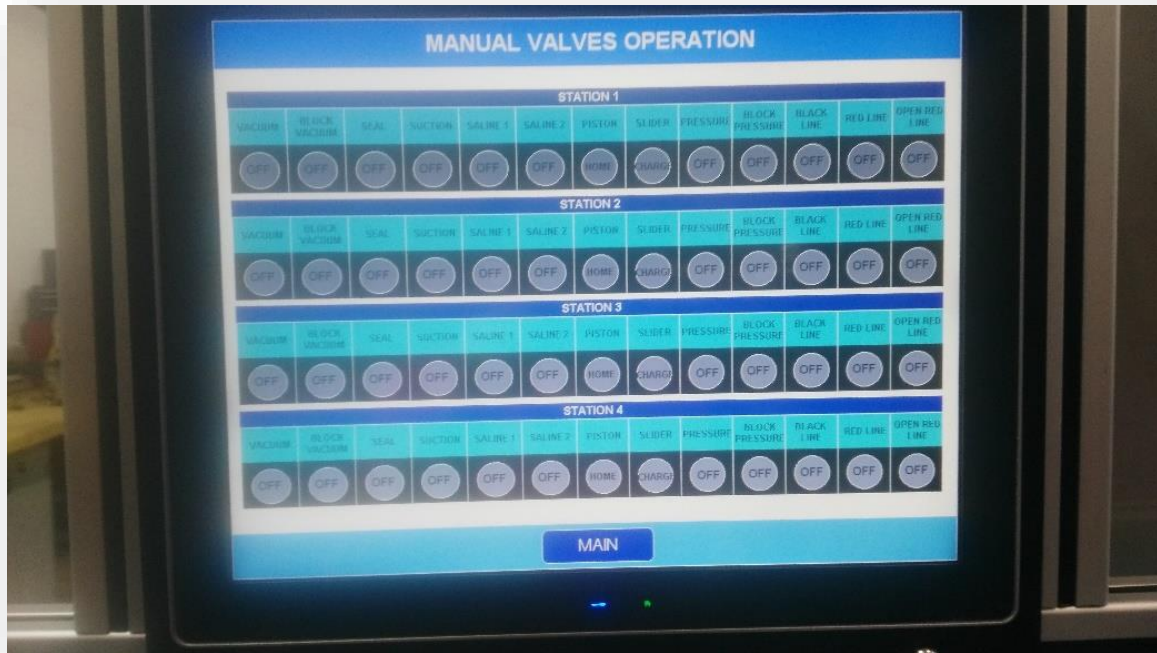


Figura 27 Pantalla Válvulas de operación

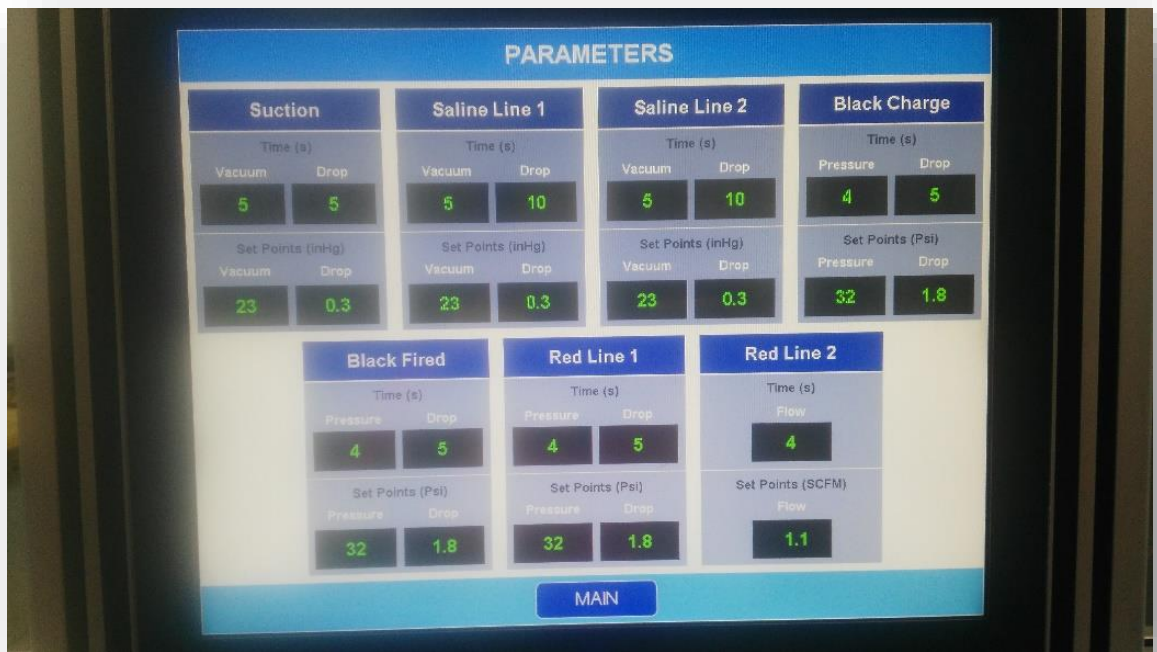


Figura 28 Parámetros de operación en la pantalla



# Capítulo 5

## Conclusiones

1. El desarrollo de la máquina fue exitoso ya que el sistema de manera correcta verifica y prueba las cuatro estaciones, indicando si la prueba fue aceptada o rechazada según sus especificaciones.
2. La implementación de la interfaz hombre – máquina funciona correctamente, logrando indicar si el paro de emergencia está activado, si hay quadset o no, los resultados de cada prueba y al final si es correcta o no. Además, se pueden controlar las válvulas manualmente.
3. La máquina cuenta con una estructura sólida, estética, segura, movable y fácil de manipular. Las piezas se maquinaron a la medida y los materiales seleccionados se comportan adecuadamente.
4. El sistema electroneumático implementado sirve correctamente. Cada conector, válvula, manguera, manifold, entre otros; escogido, realiza sus tareas correctamente y no presentan fugas.
5. El control automático elaborado cumple las tareas programadas, lee los datos recibidos y envía las salidas adecuadamente.
6. Se formuló un plan de mantenimiento para la máquina construida.

## Recomendaciones

1. Se recomienda diseñar un sistema que mantenga el área de trabajo levantado cuando se necesite hacer mantenimiento.
2. Se sugiere utilizar llaves allen y llaves corona correctas para no dañar los conectores al apretarlos durante el montaje con las válvulas.
3. Se aconseja modificar el sistema de sello colocando resortes para un mejor ajuste.
4. Se invita a guardar los resultados en una memoria ya que la pantalla seleccionada lo permite.

# Bibliografía

- [1] Wark, K & Richards D. (2001). Termodinámica. Sexta edición. España: Mc Graw Hill.
- [2] Ferdinand P. Beer, E. Russel Johnston, T. Dewolf & David F. Mazurek. (2012). Mecánica de Materiales. Sexta edición. España: Mc Graw Hill.
- [3] Salvador Guillén, A. (1988) Introducción a la Neumática. España: Marcombo.
- [4] Millán, S. (1995). Automatización Neumática y Electroneumática. España: Marcombo.
- [5] Ramos Poveda, G. (2008). Modelo matemático y dimensional para el planeamiento óptimo de industrias de procesos. Colombia: Instituto Técnico Metropolitano
- [6] Técnica de vacío. Festo. Recuperado de: [https://www.festo.com/cms/es-mx\\_mx/9814.htm](https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/9814.htm)
- [7] Fundamentos de la técnica de vacío. Festo. Recuperado de: [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/567260\\_lw\\_vakuumtechnik\\_es\\_leseprobe.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/567260_lw_vakuumtechnik_es_leseprobe.pdf)
- [8] Acumulador de aire comprimido. Estrucplan Consultora S.A. Recuperado de: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2920>
- [9] Compresores libres de aceite. AtlasCopco. Recuperado de: <https://www.atlascopco.com/es-ar/atlas-copco-argentina/compresores-de-aire/compresores-libres-de-aceite>
- [10] Válvulas neumáticas. Arce, R. Recuperado de: <https://renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/cap4-valvulas-neumaticas.pdf>
- [11] Válvulas neumáticas. Garrigo, J. Recuperado de: [http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/1bch/archivos/3eva/8\\_valvulas\\_distribuidoras.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/1bch/archivos/3eva/8_valvulas_distribuidoras.pdf)
- [12] Sistemas de Construcción MB. item. Recuperado de: <http://www.item24.es/es/pagina-de-inicio/productos/sistemas-de-construccion-modular-item/sistema-de-construccion-mb.html>
- [13] Tipos de cables eléctricos. Mas voltaje. Recuperado de: <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- [14] Sensores. (S.A). Recuperado de: [http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11\\_contenidos\\_3a.htm](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3a.htm)
- [15] Aluminio compuesto. Avance y tecnología en Plásticos. Recuperado de: <https://avanceytec.com.mx/productos/materiales-especiales/paneles-de-aluminio-compuesto-para-construccion-acm/>
- [16] How to Convert SCFM to CFM. Sciencing. Recuperado de: <https://sciencing.com/convert-scfm-cfm-6156309.html>
- [17] Compact Guide Cylinder MGP Series. SMC. Recuperado de: <http://content2.smcetech.com/pdf/MGP.pdf>

[18] Slide Unit CX2 Series. SMC. Recuperado de:  
<http://content2.smcetech.com/pdf/CX2.pdf>

[19] Hologic. (2017) Eviva breast biopsy system. Recuperado de:  
<http://www.hologic.com/products/intervention-and-treatment/breast-biopsy/eviva-breast-biopsy-system>

[20] Neumática. Área Tecnología. Recuperado de:  
<http://www.areatecnologia.com/NEUMATICA.htm>

[21] Alvarado, P. (2011). Proyecto de graduación. Recuperado de:  
<http://palvarado.ietec.org/pmwiki/index.php/PabloAlvarado/ProyectoDeGraduaci%C3%B3n>

[22] Serie FE. (2014) FasTest. Recuperado de:  
<http://www.fastestinc.com/en/ProductSearch?Specs=213>

[23] Micro850 Programmable Logic Controller Systems. (2017). Allen-Bradley. Recuperado de: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/Micro850#overview>

# Apéndices

## Planos neumáticos

En la Figura 29 se observa el plano neumático. La entrada de aire circula primero por la unidad de mantenimiento y luego por el pulmón hasta llegar a la válvula de arranque progresivo. Después de la válvula se encuentra el regulador de presión principal siguiendo por un manifold de cuatro salidas que direcciona el aire a cada una de las cuatro estaciones llegando a dos puntos: otro manifold y un manómetro que mide la presión de cada estación.

El plano presenta dos secciones: las pruebas de vacío arriba y las pruebas de presión abajo. Las pruebas de vacío comienzan en el segundo manifold, que también es de cuatro salidas conectadas cada una a una válvula 5/2. La primera válvula controla el pistón de sellado, la segunda el pistón que cambia el sentido de la válvula remota, la tercera alimenta al conector de objetos redondos para realizar un sello y la última envía presión al generador de vacío para crearlo. Después del generador de vacío se encuentra una válvula 2/2 que bloquea el aire para medir las caídas de vacío, seguidamente está el transductor de vacío que mide el vacío entre la válvula de bloqueo y una válvula 3/2 de las tres que hay; esta última va a depender de la prueba que se haga: succión, línea salina 1 o línea salina 2.

La parte de presión continua en la salida del segundo regulador de presión con una válvula 3/2 que permite o no el paso del aire, una válvula de bloqueo para medir la caída de presión y el flujo mediante el transductor de presión y de caudal. Además de tres válvulas 3/2, una para cada prueba: black charge y fired, red line y redline – flow.

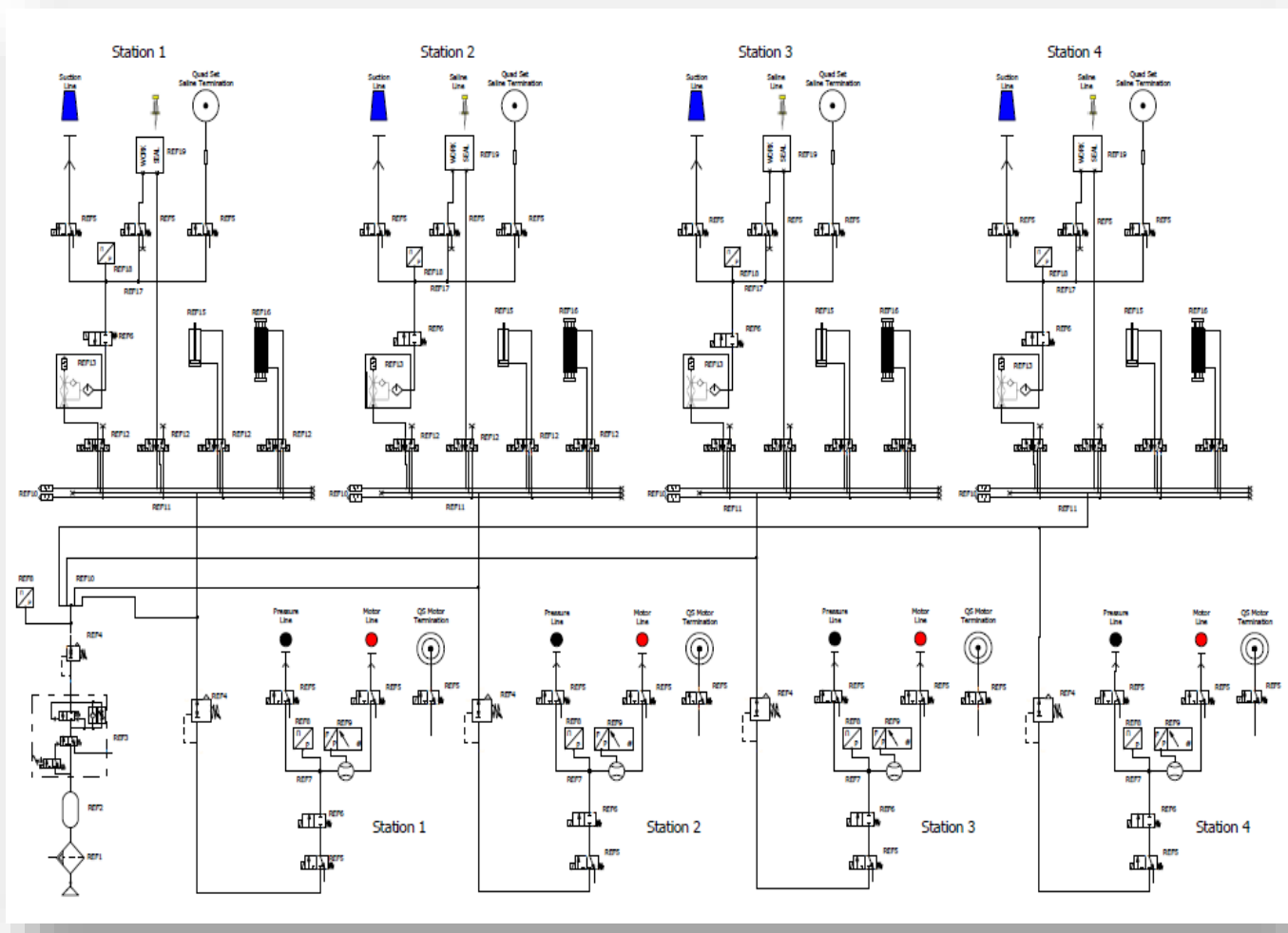


Figura 29 Diagrama neumático

# Planos eléctricos

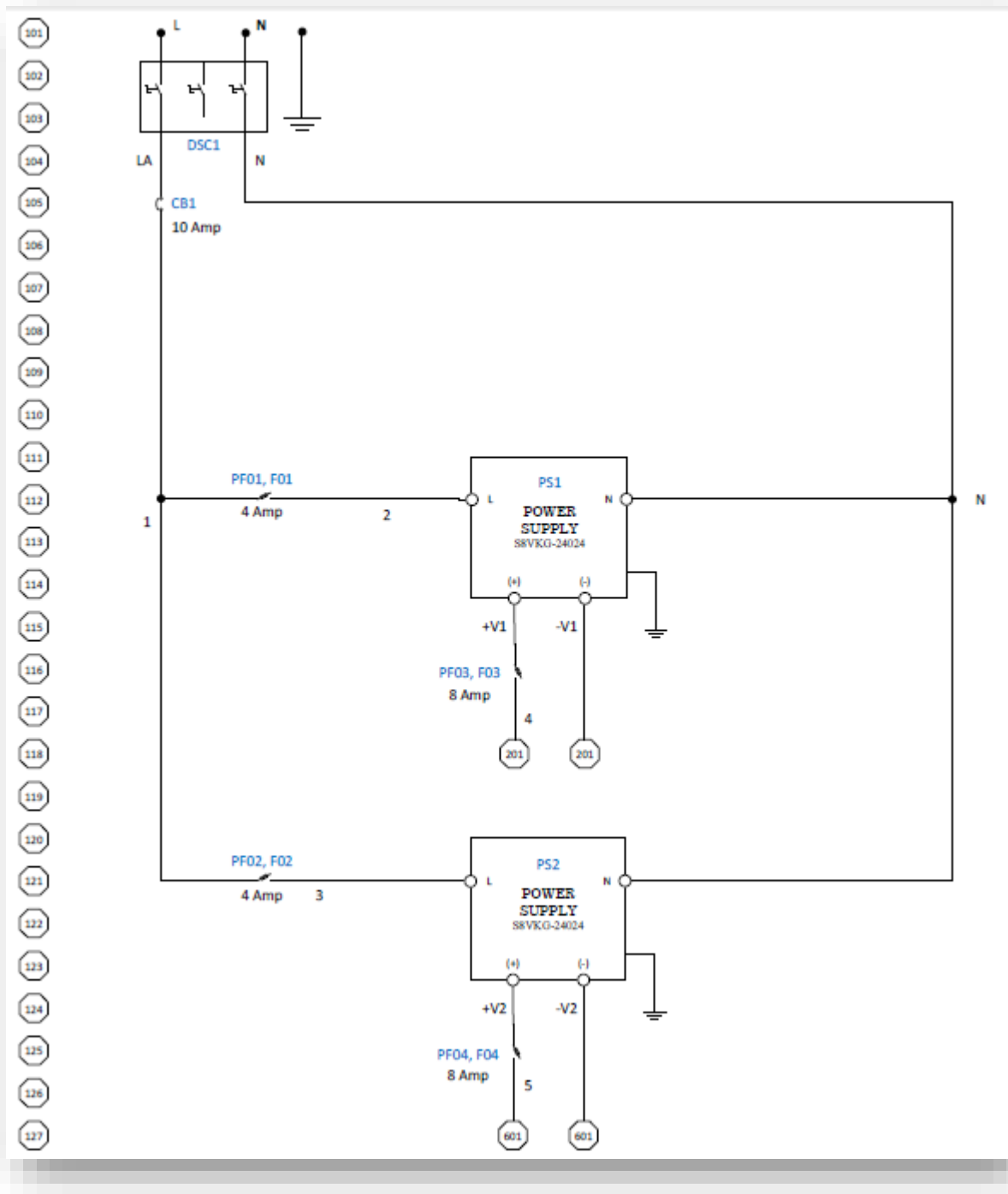


Figura 30 Alimentación 120 VAC

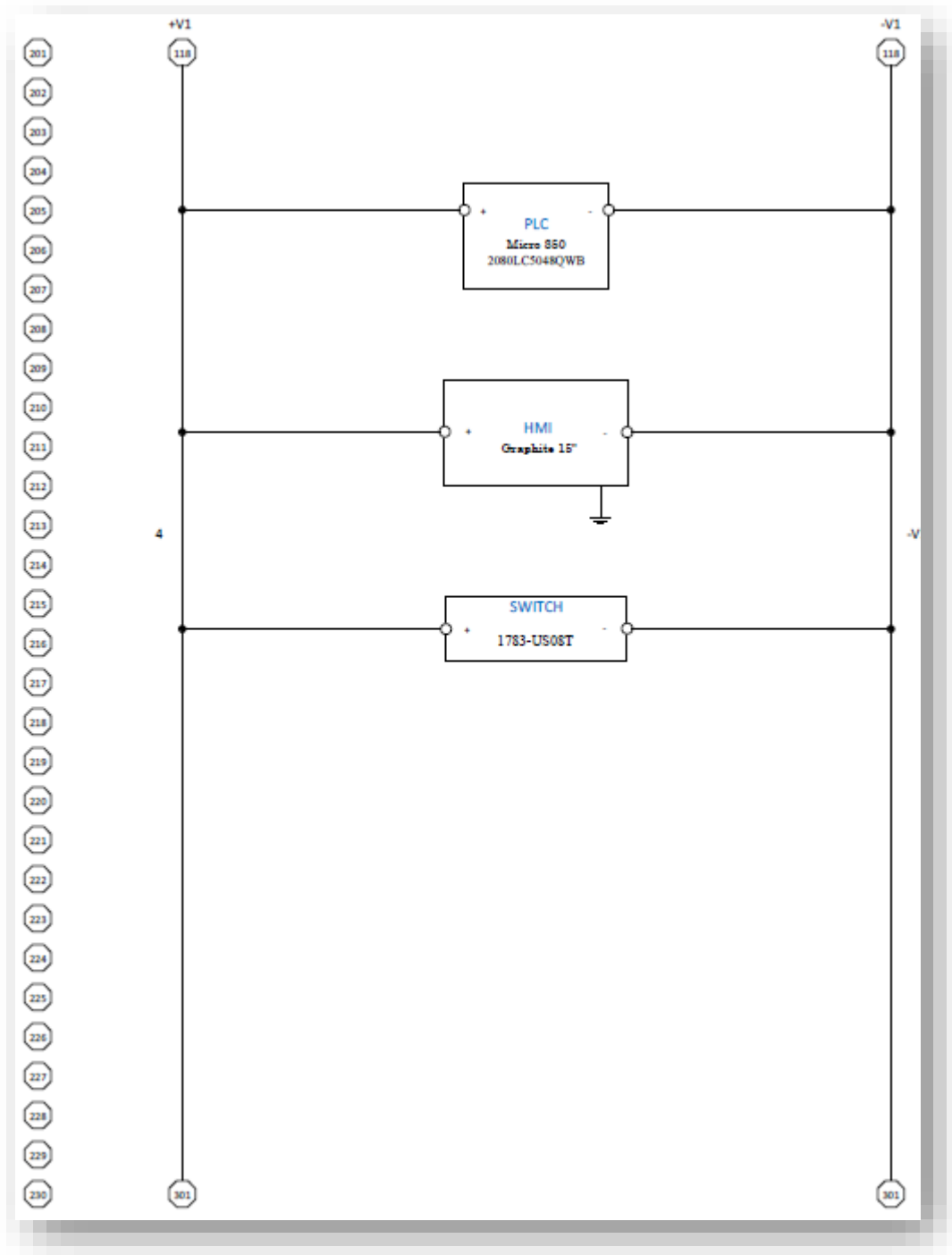


Figura 31 Alimentación 24 VAC

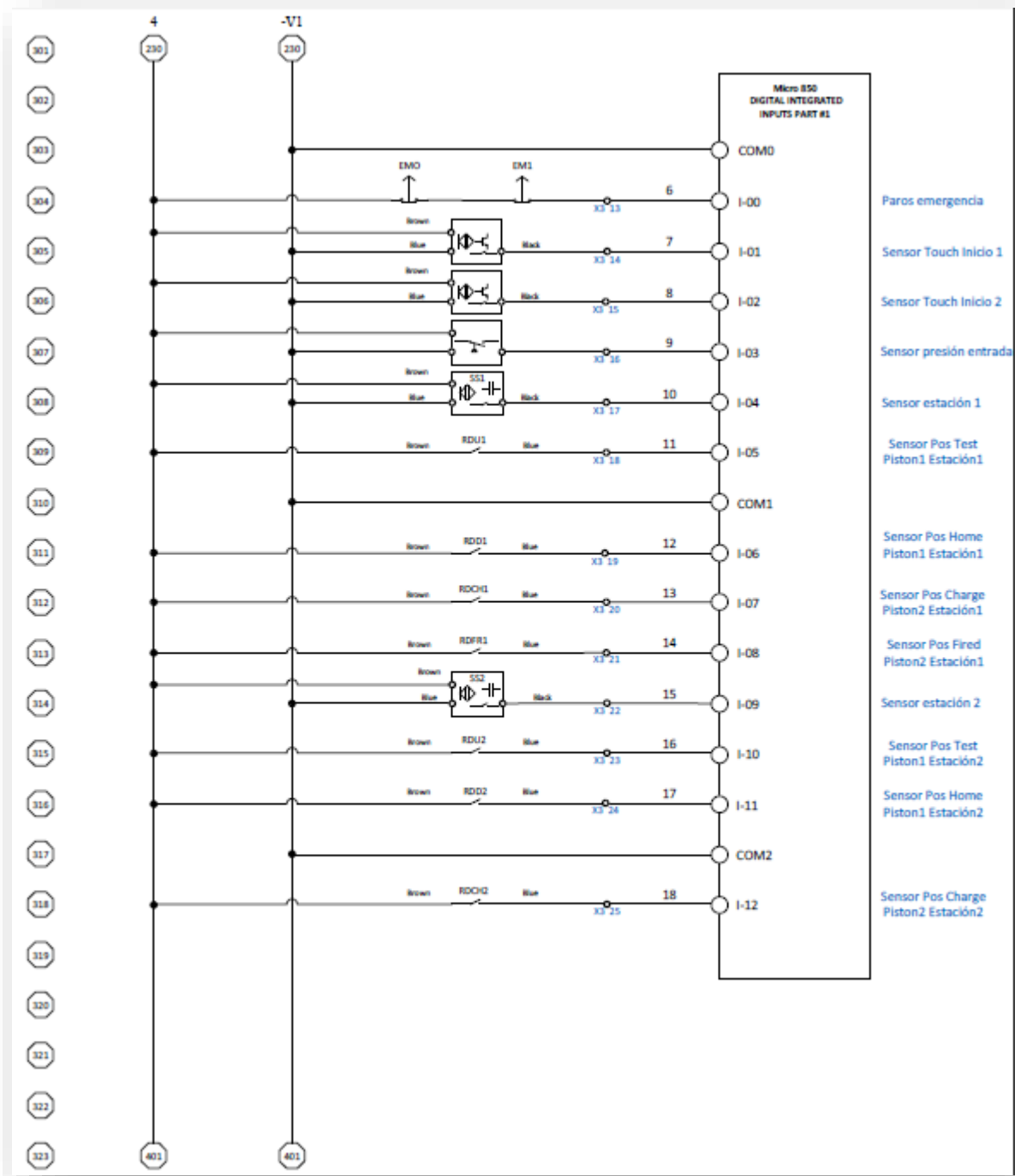


Figura 32 MICRO 850 Entradas Digitales Integradas #1



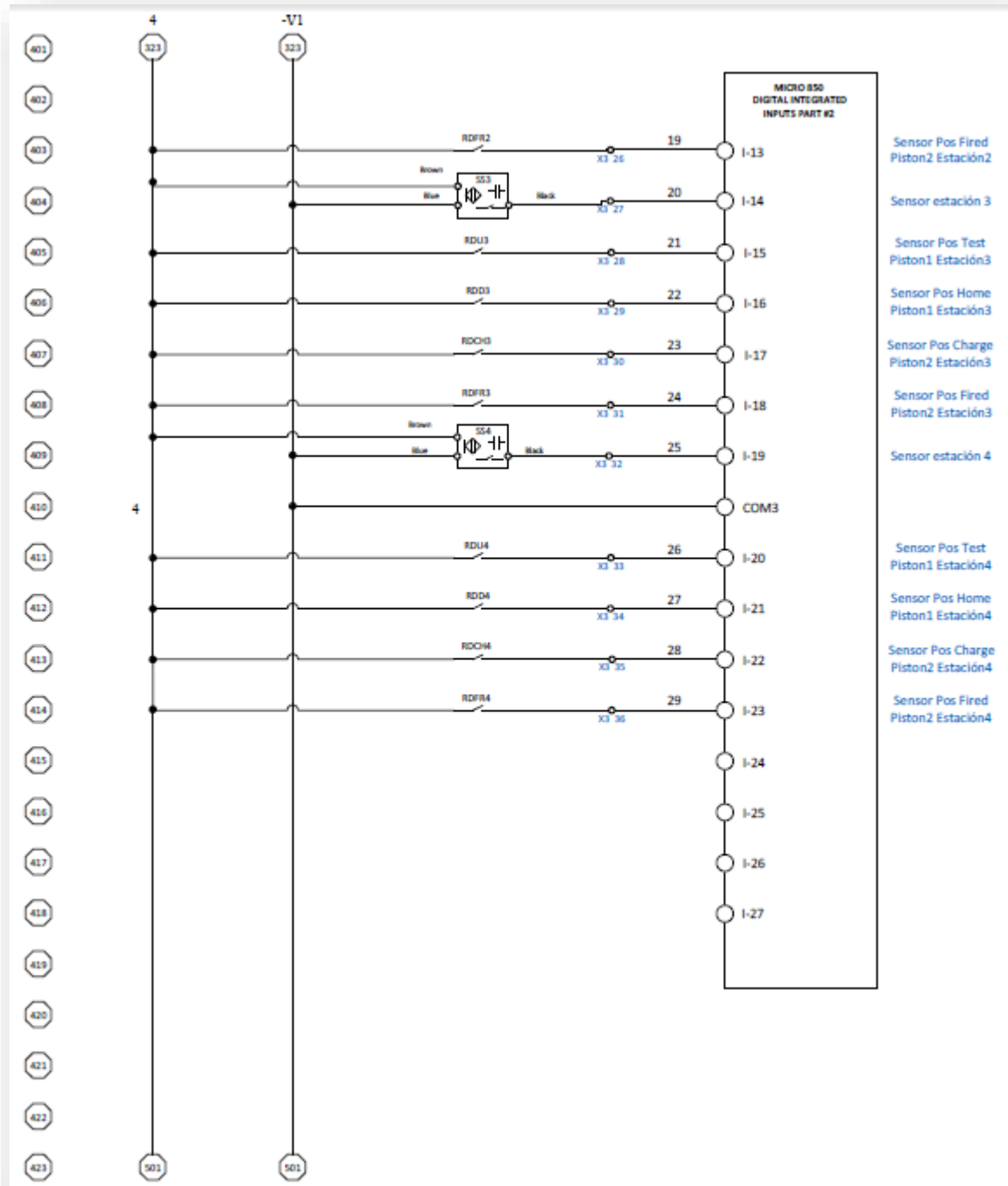


Figura 33 Entradas Digitales Integradas #2

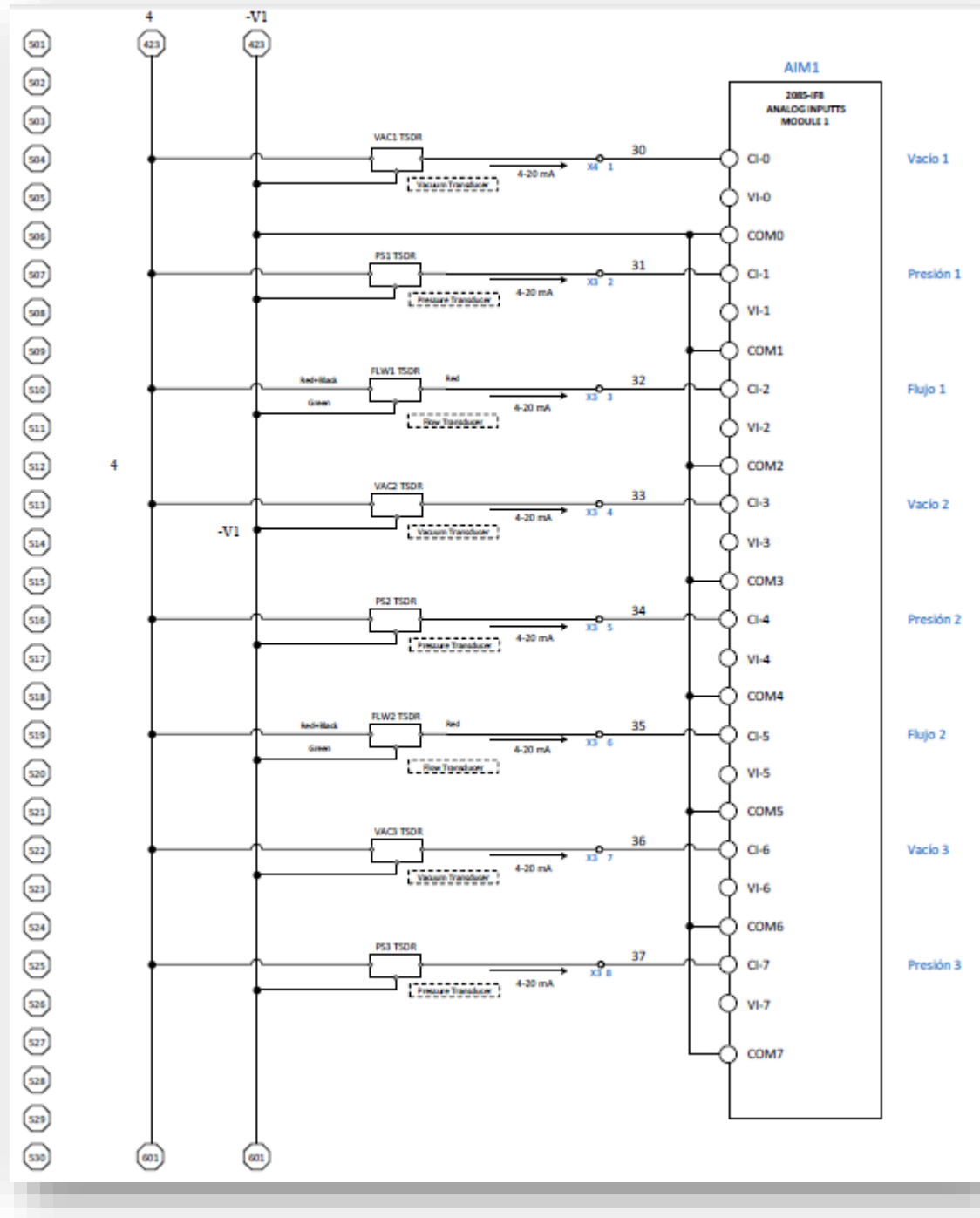


Figura 34 Modulo Entradas Analógicas #1 B1 2085-IF8

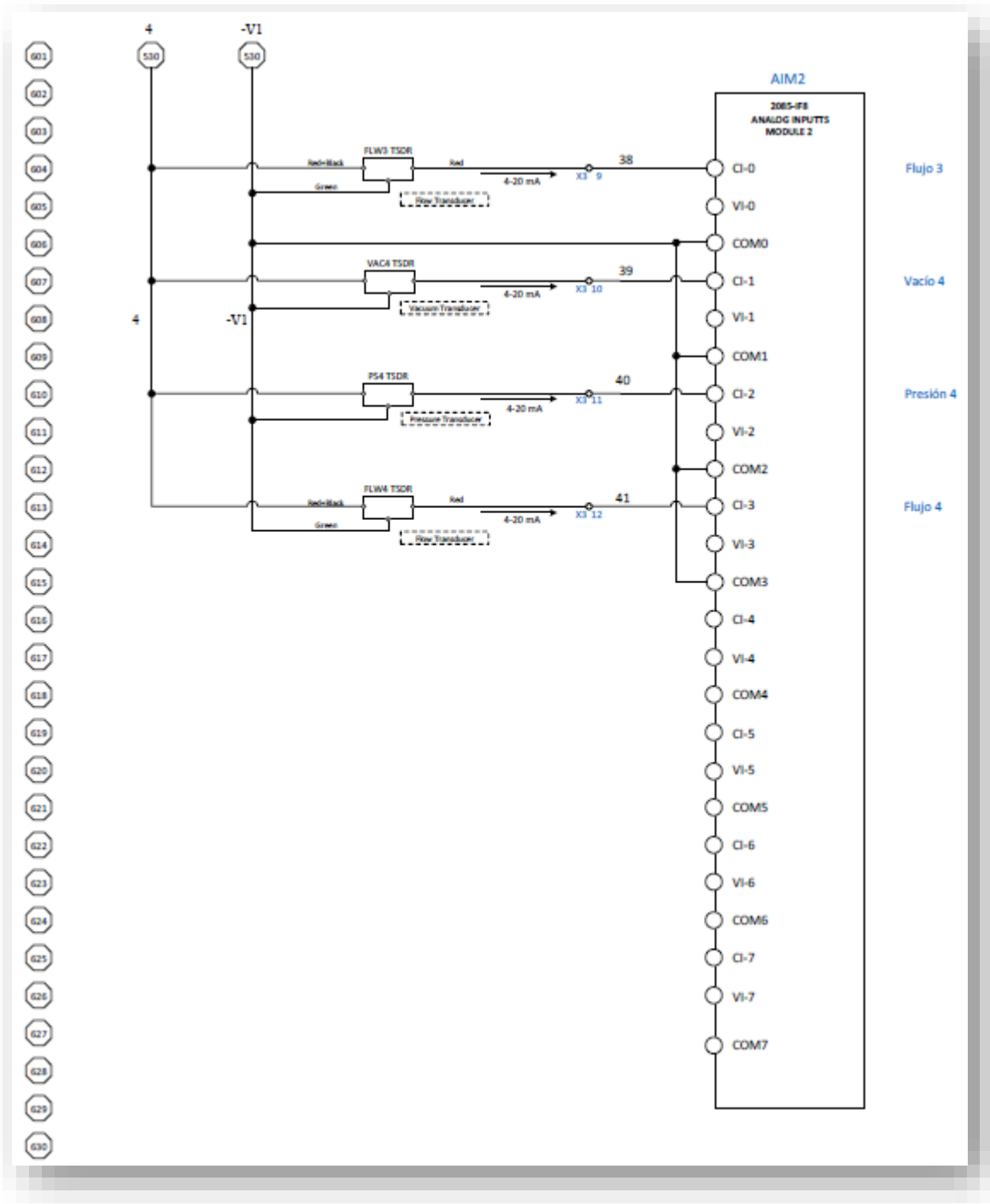


Figura 35 Modulo Entradas Analógicas #2 B1 2085-IF8

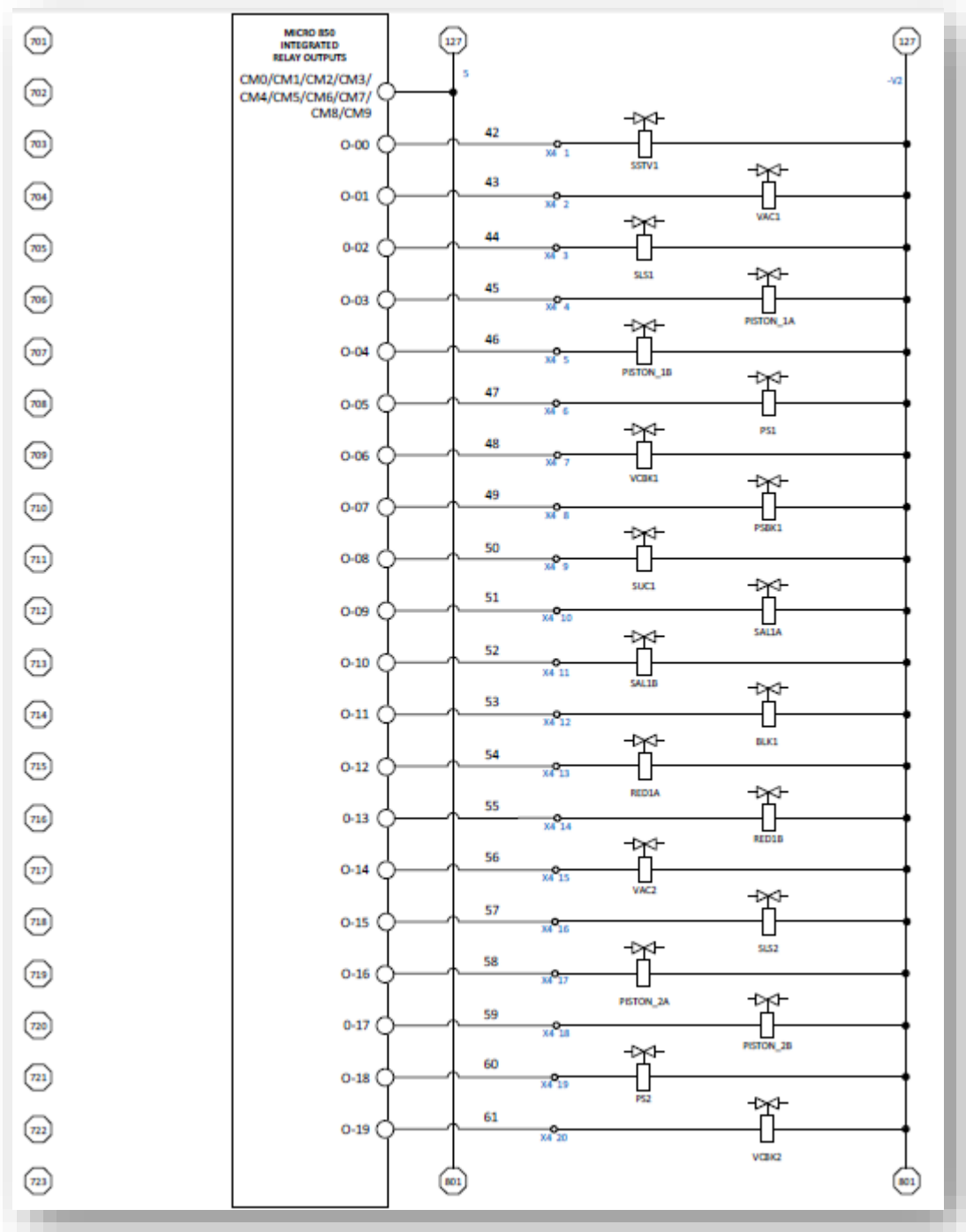


Figura 36 Salidas Digitales Integradas

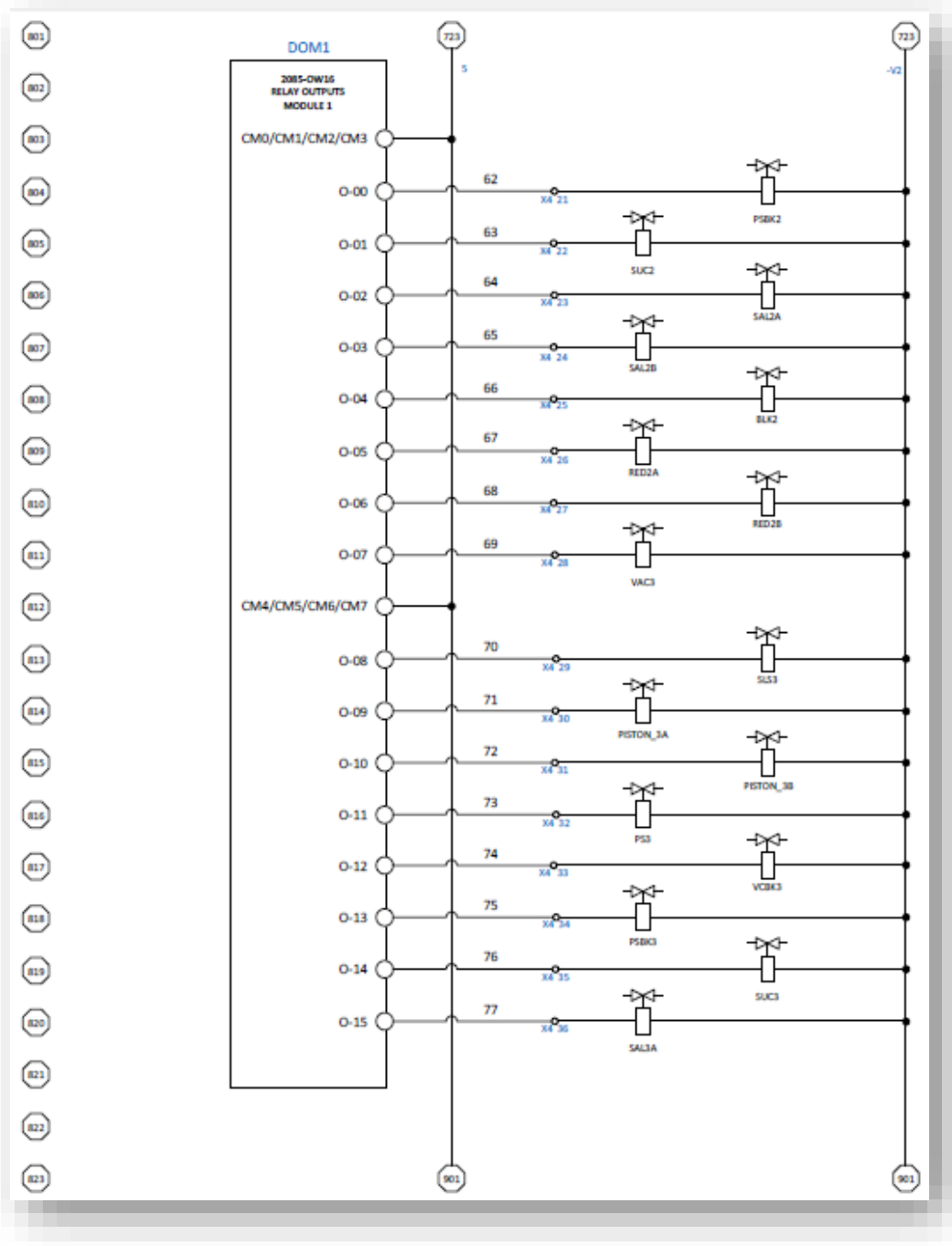


Figura 37 Modulo Salidas Digitales #1 2085-OW16

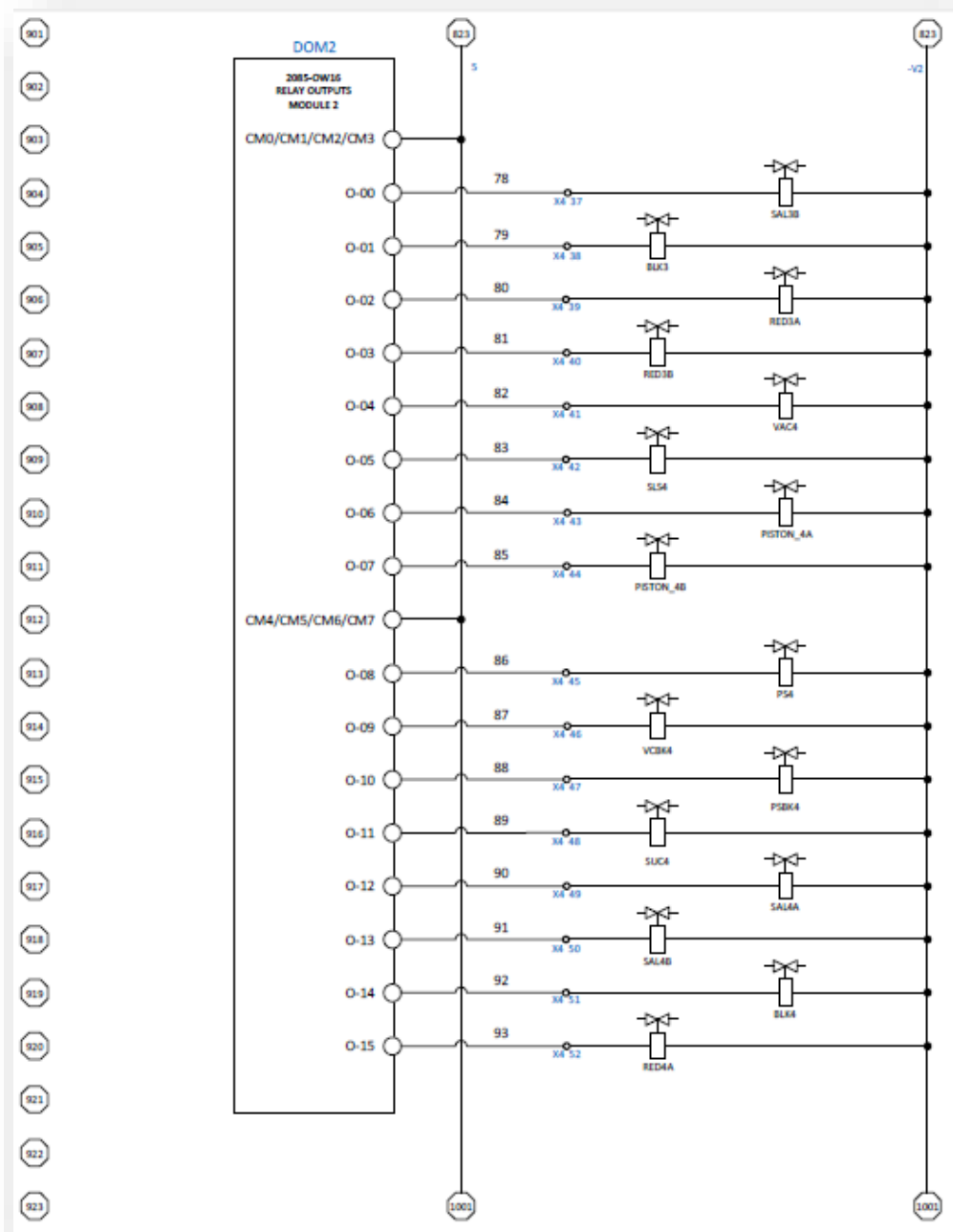


Figura 38 Modulo Salidas Digitales #2 2085-OW16

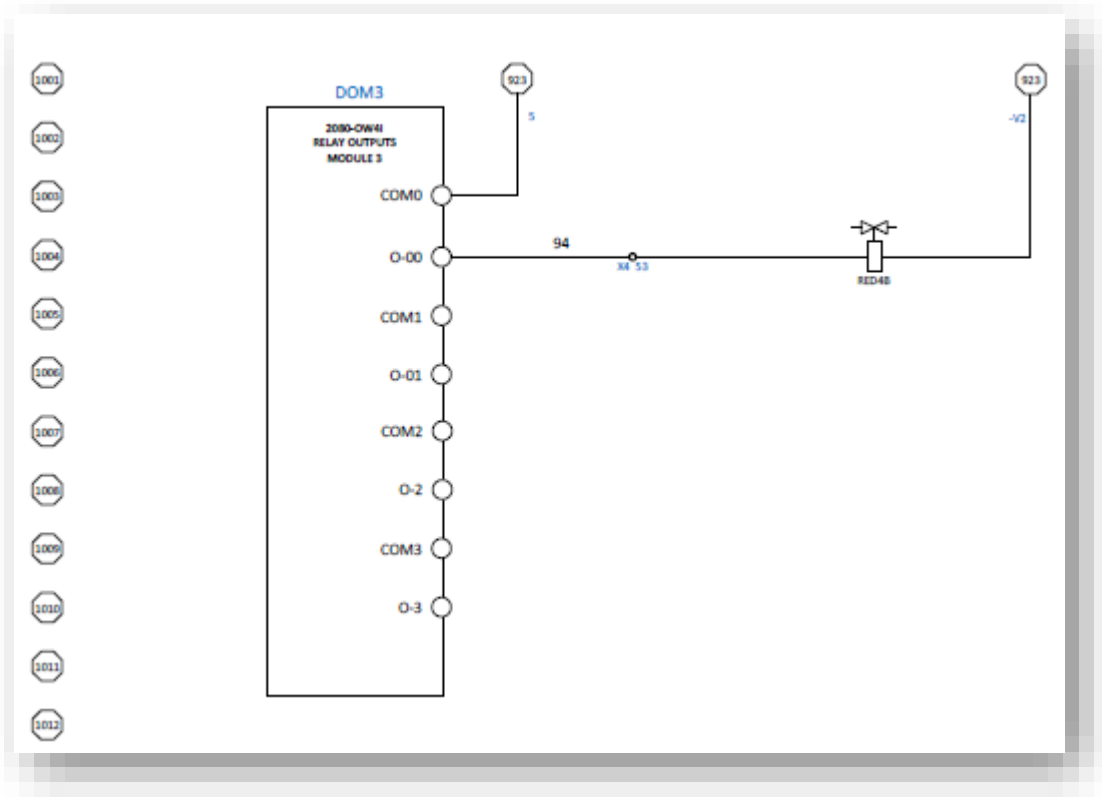


Figura 39 Modulo Salidas Digitales #3 2080-OW41

## Diseños mecánicos en SolidWorks

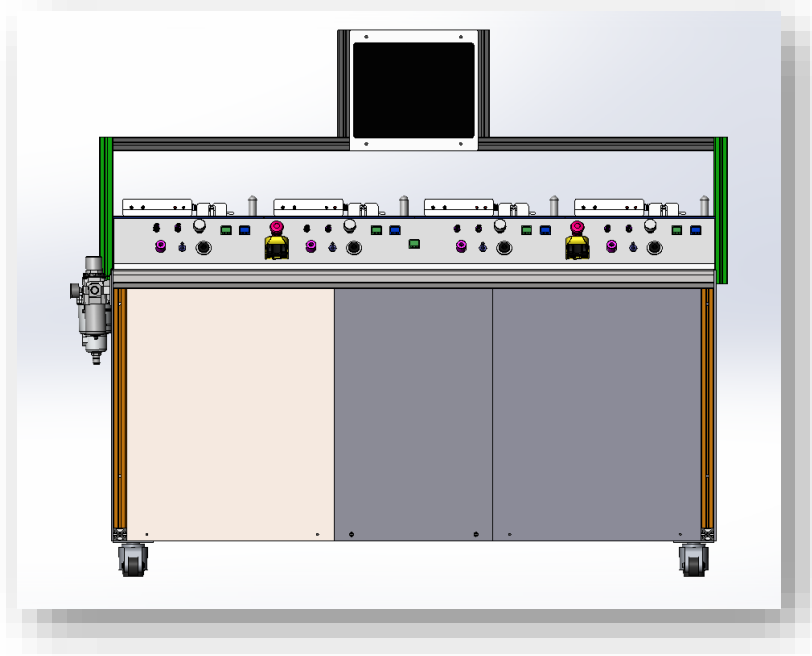


Figura 40 Máquina de aseguramiento de la calidad del quadset

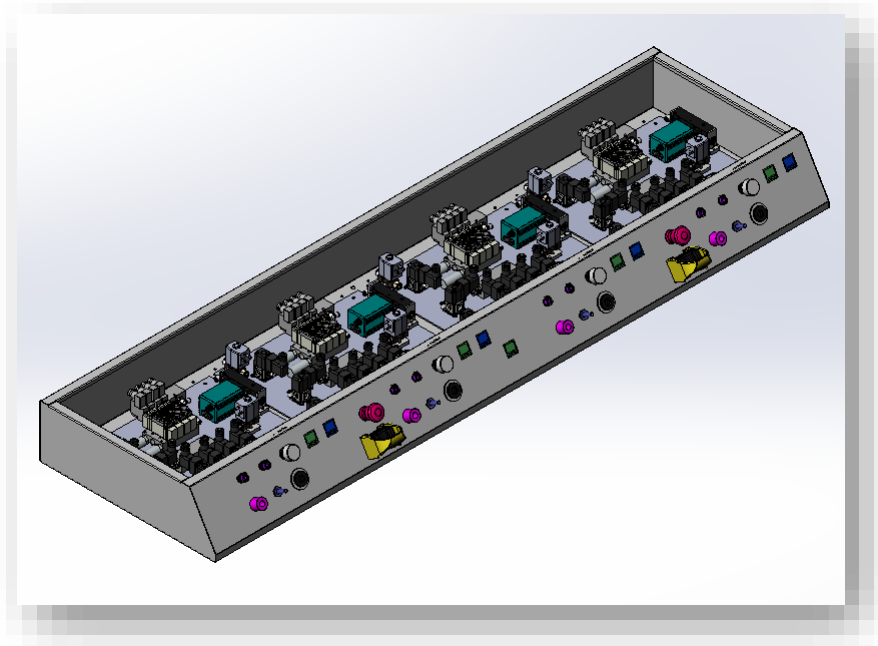


Figura 41 Estación de trabajo de las cuatro estaciones



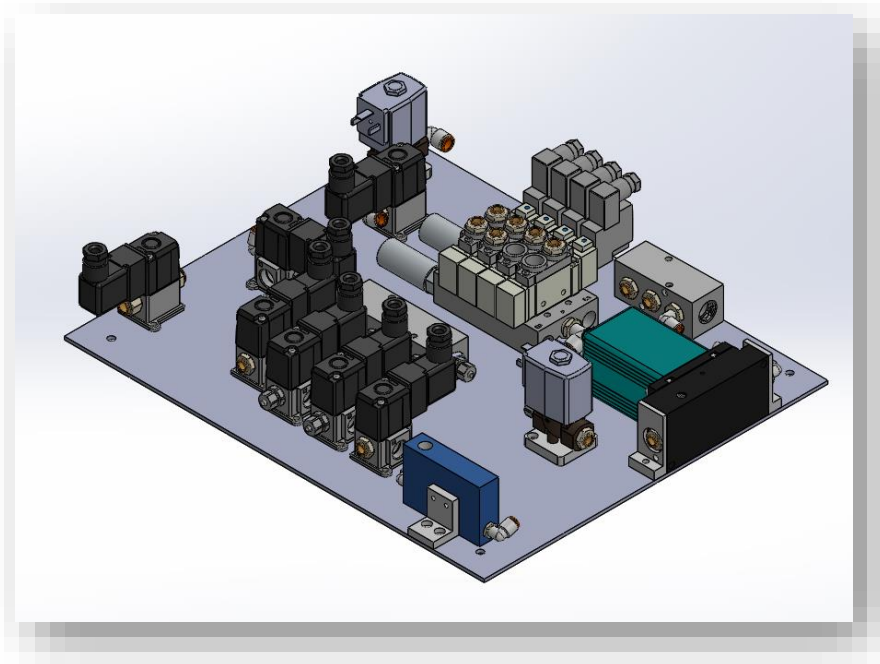


Figura 42 Panel neumático de una sola estación

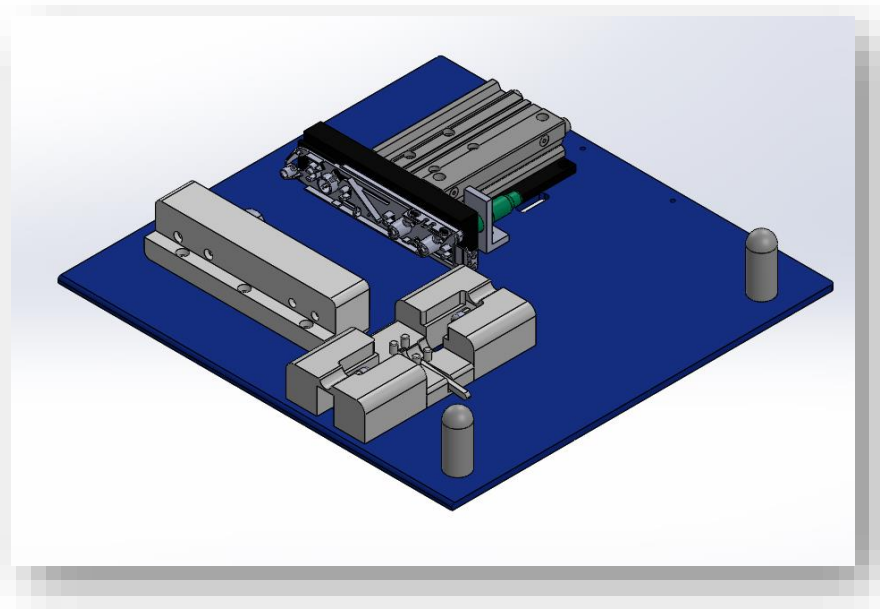


Figura 43 Área de trabajo de una sola estación

