

**ROBOT CARTESIANO NEUMÁTICO PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS  
MECATRÓNICOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA. DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN**

**JHON EDISSON BUITRAGO NÚÑEZ  
NELSON GUSTAVO CEDIEL GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

**ROBOT CARTESIANO NEUMÁTICO PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS  
MECATRÓNICOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA. DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN**

**JHON EDISSON BUITRAGO NÚÑEZ  
NELSON GUSTAVO CEDIEL GÓMEZ**

**Trabajo de grado para optar el título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director  
JORGE ENRIQUE MENESES FLOREZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

## **DEDICATORIA**

A DIOS por darme fortaleza en todo momento y por no permitir que perdiera la fe.

A mi madre por apoyarme durante toda mi vida, formarme como persona y por tener tanta paciencia en este largo camino.

A la memoria de mi padre, su recuerdo me mantiene siempre en mi camino.

A mi princesita por apoyarme y aguantarme en todo momento.

A mi hermano y a mis tíos por estar siempre pendientes de la culminación de este proyecto.

Nelson.

## **DEDICATORIA**

Ante todo a DIOS por llenarme de paciencia fortaleza y paz interior en los momentos de tribulación.

A mis padres por su apoyo incondicional y su interés en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos por su compañía y palabras de apoyo.

A mi querida novia por estar siempre a mi lado y entenderme en todo momento.

Jhon.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Jorge Enrique Meneses por su asesoría durante el desarrollo del proyecto y su incondicional apoyo en momentos difíciles y decisivos.

A Henry Cruz, Henry Arciniegas y a los profesores Hermes Pinzón y Alirio Buitrago del Colegio San José de Guanentá de San Gil por su desinteresada colaboración en la fase de construcción del proyecto.

Al ingeniero Iader Sánchez por su colaboración a la hora de brindar sus conocimientos en el área de mantenimiento.

Al Ingeniero Alexander Velilla por su Colaboración con los conocimientos en CNC y su constante apoyo.

A todos las personas del Laboratorio de Automatización Industrial por su compañerismo, colaboración y apoyo.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	22
1. OBJETIVOS	24
1.1 OBJETIVO GENERAL	24
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2. ESTRUCTURA DEL ROBOT/MANIPULADOR COMO SISTEMA AUTOMATIZADO	26
2.1 BUCLE O LAZO CERRADO	27
2.2 MODELO ESTRUCTURAL DEL ROBOT/MANIPULADOR	27
3. DISEÑO DE LA PARTE OPERATIVA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO ROBOT/MANUPULADOR CARTESIANO	30
3.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA CARTESIANO	31
3.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL SISTEMA CARTESIANO	37
3.2.1 Alternativa 1	37
3.2.2 Alternativa 2	38
3.3 ALTERNATIVA SELECCIONADA	39
4. ESTRUCTURA Y FORMA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO ROBOT/MANIPULADOR	41
4.1 ALTERNATIVAS DE LA PARTE OPERATIVA ROBOT/MANIPULADOR CARTESIANO	41
4.1.1 Alternativa 1.	41
4.1.2 Alternativa 2.	42
4.1.3 Alternativa 3	44
4.2 ALTERNATIVAS DE LA PARTE DE CONTROL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.	45
4.2.1 Alternativa 1.	45
4.2.2 Alternativa 2	46

4.2.3 Alternativa 3.	47
4.2.4 Alternativa 4.	48
4.3 ALTERNATIVAS DEL CONJUNTO PARTE OPERATIVA - PARTE DE CONTROL	49
4.3.1 Alternativa 1	49
4.3.2 Alternativa 2.	50
4.3.3 Alternativa 3.	51
4.3.4 Alternativa 4.	51
4.4 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	52
4.4.1 Estructura	53
4.4.1.1 Análisis de la estructura	54
4.4.2 Sistema cartesiano	59
4.4.3 Cofre de control y potencia	61
5. DISEÑO DEL ROBOT/CARTESIANO COMO SISTEMA AUTOMATIZADO (COFRE DE CONTROL Y POTENCIA)	66
5.1 PRACTUADORES	70
5.1.1 Preactuadores presentes para modo de automatismo de eventos discretos (Manipulador cartesiano).	70
5.1.2 Preactuadores presentes para modo de automatismo cuasicontinuo (Robot cartesiano).	74
5.1.3 Preactuadores comunes a los dos modos de operación.	76
5.2 AUTÓMATA PROGRAMABLE	82
5.3 PANEL DE OPERADOR.	84
5.4 BOTONES DE CONTROL	86
6. CONSTRUCCION DE SISTEMA AUTOMATIZADO ROBOT/MANIPULADOR CARTESIANO	87
6.1 SISTEMA CARTESIANO	87
6.2 ESTRUCTURA PRINCIPAL	88
6.2.1 Columnas y vigas construidas con perfiles	89
6.2.2 Piezas de sujeción	91

6.2.2.1 Pieza para unir los soportes del sistema cartesiano	91
6.2.2.2 Soporte de vigas superiores e inferiores	92
6.2.2.3 Soporte para vigas superiores y mesas de trabajo	93
6.2.2.4 Pieza para ensamblar los pies niveladores	94
6.2.3 Mesas de trabajo	94
6.2.4 Pies niveladores	96
6.3 COFRE DE CONTROL Y POTENCIA	96
7. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PRÁCTICAS DE CARÁCTER BASICO PARA EL HARDWARE DE CONTROL S7-300	99
7.1 PROGRAMACIÓN DEL HARDWARE DE CONTROL	99
7.2 IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE CARÁCTER BÁSICO PARA AUTOMATISMO DE EVENTOS DISCRETOS	100
7.2.1 Primera práctica (automatismo de eventos discretos).	100
7.2.2 Segunda práctica (automatismo de eventos discretos).	106
7.3 IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE CARÁCTER BÁSICO PARA AUTOMATISMO CUASICONTINUO	114
7.3.1 Primera práctica (automatismo cuasicontínuo).	117
7.3.2 Segunda practica (automatismo cuasicontínuo).	118
8. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL ROBOT/MANIPULADOR CARTESIANO	120
8.1 INSTRUCCIONES DE USO.	121
8.2 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	122
9. CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES	127
BIBLIOGRAFIA	128
ANEXOS	129

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Modelo estructural de un sistema de control	27
Figura 2. Esquema del Robot/Manipulador como sistema automatizado de control	29
Figura 3. Robot cartesiano tipo pórtico	30
Figura 4. Actuador lineal DGPL-25-500-PPV-A-B-KF	32
Figura 5. Eje de guía FDG-25-500-P-KF	32
Figura 6. Detector de proximidad SME-8-K-LED-24	33
Figura 7. Conector del sistema de medición de recorrido	34
Figura 8. Sistema de medición de recorrido MLO-POT-500-TLF	35
Figura 9. Sistema bidimensional	35
Figura 10. Actuador de posicionamiento DNCM-32-200-POT1-S20-A	36
Figura 11. Ventosa plana VAS-30-1/8-NBR	37
Figura 12. Ensamble de sistema cartesiano con brida basculante	38
Figura 13. Ensamble de sistema cartesiano por medio de pies	39
Figura 14. Sistema cartesiano (Alternativa 1)	42
Figura 15. Sistema cartesiano con panel de operador (Alternativa 2)	43
Figura 16. Sistema cartesiano (Alternativa 3)	44
Figura 17. Parte de control (Alternativa 1)	46
Figura 18. Parte de control (Alternativa 2)	47
Figura 19. Parte de control (Alternativa 3)	48
Figura 20. Parte de control (Alternativa 4)	49
Figura 21. Conjunto (Opción 1)	50
Figura 22. Conjunto (Opción 2)	50
Figura 23. Conjunto (Opción 3)	51
Figura 24. Conjunto (Opción 4)	52
Figura 25. Estructura	53

Figura 26. Cargas aplicadas	56
Figura 27. Tensiones	57
Figura 28. Deformaciones	57
Figura 29. Factor de seguridad	58
Figura 30. Posición de los actuadores en el modelo estructural	59
Figura 31. Posición de los sensores en el modelo estructural	60
Figura 32. Cofre de control y potencia	61
Figura 33. Posición de los preactuadores en el modelo estructural	62
Figura 34. Posición del HMI en el modelo estructural	63
Figura 35. Posición del controlador en el modelo estructural	64
Figura 36. Lámina de preactuadores	66
Figura 37. Superficie de control (Autómata y unidad de mantenimiento)	67
Figura 38. HMI	67
Figura 39. Esqueleto de la estructura del cofre de control y potencia	68
Figura 40. Frente de cofre de control y potencia	68
Figura 41. Parte posterior del cofre de control y potencia	69
Figura 42. Borneras y canaletas	69
Figura 43. Circuito neumático para modo de automatismo de eventos discretos	70
Figura 44. Esquema de electroválvula MFH-5/3B-1/4-B	72
Figura 45. Electroválvula MFH-5/3B-1/4-B	72
Figura 46. Esquema de electroválvula MFH-5-1/8	73
Figura 47. Electroválvula MFH-5-1/8	73
Figura 48. Circuito neumático para modo de automatismo cuasicontínuo	74
Figura 49. Esquema de válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B	76
Figura 50. Válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B	76
Figura 51. Esquema de electroválvula MFH-3-1/4	77
Figura 52. Electroválvula MFH-3-1/4	78
Figura 53. Conmutador del vacuostato	79
Figura 54. Vacuostato VPEV-1/8	79
Figura 55. Tobera	80

Figura 56. Esquema de unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD	81
Figura 57. Unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD	81
Figura 58. Autómata	84
Figura 59. Panel de operador OP 177B	85
Figura 60. Lámina para la unión del sistema bidimensional con el actuador posicionado	88
Figura 61. Sección transversal del perfil utilizado para la estructura	88
Figura 62. Pieza para unir los soportes del sistema cartesiano	91
Figura 63. Soporte de vigas superiores e inferiores	92
Figura 64. Tuerca biselada	93
Figura 65. Soporte para vigas superiores y mesas de trabajo	93
Figura 66. Pieza para ensamblar pies niveladores	94
Figura 67. Mesa de trabajo del sistema cartesiano	95
Figura 68. Mesa de trabajo del cofre de control y potencia	95
Figura 69. Pies niveladores	96
Figura 70. Piezas de madera sobre el cofre de control	98
Figura 71. Hardware de control	99
Figura 72. GRAFCET de nivel 1	101
Figura 73. GRAFCET de nivel 2	102
Figura 74. BLOQUE OB1	103
Figura 75. BLOQUE FC20 (PROGRAMA SECUENCIAL)	104
Figura 76. BLOQUE FC30 (PROGRAMA COMBINACIONAL)	105
Figura 77. GRAFCET de nivel 1, práctica 2	107
Figura 78. GRAFCET de nivel 2, práctica 2	108
Figura 79. BLOQUE OB1	109
Figura 80. BLOQUE FC20	110
Figura 81. BLOQUE FC 30	112
Figura 82. Gráfico GEMMA con todos los estados normalizados	114
Figura 83. Plano de conexiones FM 355C.	115
Figura 84. Bloques control PID	115

Figura 85. Interfaz de parametrización	116
Figura 86. Interfaz de estado en línea	116
Figura 87. Ganancia proporcional = 1	117
Figura 88. Ganancia proporcional = 0.8	117
Figura 89. Ganancia proporcional = 0.6	118
Figura 90. Ganancia proporcional = 0.8, tiempo de integración = 200	118
Figura 91. Ganancia proporcional=0.75, tiempo de integración=100	119
Figura 92. Ganancia proporcional=0.5, Tiempo de integración=150	119
Figura 93. Módulo FM 355	133
Figura 94. Diagrama de bloque del FM 355 C (control de acción continua)	137
Figura 95. Vista frontal y lateral del panel de operador OP 177B	138
Figura 96. Vista posterior del panel de operador OP 177B	139
Figura 97. Elementos de control del panel	140
Figura 98. Insertar memoria	142
Figura 99. Expulsión de la tarjeta de memoria	144
Figura 100. Dimensiones de las tiras rotulables para el panel OP 177B	146
Figura 101. Tiras rotulables del OP 177B	147
Figura 102. Esquema de conexiones de entradas digitales	152
Figura 103. Esquema de conexiones de salidas digitales	153
Figura 104. Esquema de conexiones de entradas del módulo FM 355C	154
Figura 105. Esquema de conexiones de salidas del módulo FM 355C	155

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Cargas del sistema cartesiano sobre la estructura	54
Tabla 2. Cargas del cofre de control y potencia sobre la estructura	55
Tabla 3. Resultados análisis de cargas	55
Tabla 5. Descripción de elementos construidos con perfil	90
Tabla 6. Listado de componentes	120
Tabla 7. Actividades de mantenimiento	122
Tabla 8. Diagnóstico y estado de los LEDs	135
Tabla 9. Borneras 24 V DC	148
Tabla 10. Borneras 0 V	148
Tabla 11. Borneras Tierra	149
Tabla 12. Entradas del autómata	150
Tabla 13. Salidas del autómata	150

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. MODULO INTELIGENTE DE REGULACION FM 355 C	130
ANEXO B. PANEL DE OPERADPOR OP 177B	138
ANEXO C. DETALLE DE ORGANIZACIÓN DE LAS BORNERAS	148
ANEXO D. ESQUEMAS DE CONEXIONES DEL AUTOMATA	152
ANEXO E. PLANOS	156

## GLOSARIO

**Automatismo:** se denomina automatismo o sistema automático al dispositivo que libera al hombre de labores físicas o mentales en el control de una máquina o proceso.

**Manipulador:** Mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

**Robot:** Manipulador automático servo controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas.

**Automatismo con control de eventos discretos:** Procesan únicamente señales booleanas (dos estados: on/off)

**Automatismo cuasicontinuo:** Controlan señales eléctricas continuas tanto para las variables reguladas como para las variables manipuladas.

**Interruptor reed:** Interruptor eléctrico activado por un campo magnético

**GRAF CET:** Gráfico funcional de control de etapas y transiciones

**GEMMA:** Guía de estudio de los modos de marcha y paro. Es una guía gráfica, que permite seleccionar y describir de forma simple, los diferentes estados de marcha y paro, así como sus posibles evoluciones de un estado a otro.

## RESUMEN

**TITULO:** ROBOT CARTESIANO NEUMÁTICO PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

**AUTORES:** JHON EDISSON BUITRAGO NUÑEZ, NELSON GUSTAVO CEDIEL GOMEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Automatismo, manipulador, robot, cartesiano, neumático.

### DESCRIPCION

Este proyecto surge de la necesidad de fortalecer la formación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica en el área de automatización industrial, soportando la reforma académica y dando la posibilidad de llevar a la práctica los conocimientos adquiridos por los estudiantes en asignaturas como electricidad y electrónica básica, sistemas mecatrónicos I, ingeniería de control, sistemas mecatrónicos II, autómatas programables y automatización industrial.

Para estos motivos se diseñó y construyó un sistema automático de control robot/manipulador cartesiano con tres grados de libertad y alimentación neumática. El sistema, cuenta con todos sus componentes organizados y conectados entre sí. Con este robot, el estudiante tiene la posibilidad de manipular gran variedad de equipos neumáticos y de control. Además, presenta la opción de programar estos equipos en dos modos diferentes de operación, como automatismo de eventos discretos o automatismo cuasicontínuo.

Con este sistema automático, se presenta la posibilidad de desarrollar nuevos lenguajes de programación, a diferencia de los sistemas ofrecidos en el mercado que se encuentran programados con un lenguaje por defecto.

La estructura presenta excelente rigidez, ya que las columnas y las vigas están formadas por un grupo de perfiles ensamblados de aluminio estructural que reduce al máximo las deformaciones de esta. Para unir las vigas y las columnas, fue necesario el diseño de piezas que fueron fundidas y mecanizadas en aluminio.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jorge Enrique Meneses Flórez

## ABSTRACT

**TITLE: PNEUMATIC CARTESIAN ROBOT FOR THE MECHATRONICS SYSTEMS LABORATORY OF THE MECHANICAL ENGINEERING SCHOOL. DESIGN AND CONSTRUCTION**

**AUTHORS:** JHON EDISSON BUITRAGO NUÑEZ. NELSON GUSTAVO CEDIEL GOMEZ\*\*

**KEYWORDS:** Automatism, manipulator, robot, cartesian, pneumatic

### DESCRIPTION

This project arises from the need to strengthen the training of students of Mechanical Engineering in the area of industrial automation, supporting academic reform and giving the possibility of putting into practice the knowledge acquired by students in subjects such as basic electricity and electronics, mechatronic systems I, control engineering, mechatronics systems II, programmable automaton and industrial automation.

For these reasons we designed and built an automatic robot control / Cartesian manipulator with three degrees of freedom and pneumatic power. The system has all its components organized and interconnected. With this robot, the student is able to handle a variety of pneumatic and control equipment. It presents the option to schedule these teams in two different modes of operation, such as a discrete events automatism or a quasi-continuous automatism.

With this automatic system, presents the opportunity to develop new programming languages, unlike the systems offered on the markets that are programmed with a default language.

The structure has excellent rigidity, as the columns and beams are formed by a group of assemblies of structural aluminum profiles that minimizes the distortion of this. To join the beams and columns, it was necessary to design pieces that were cast and machined aluminum.

---

\* Undergraduated thesis

\*\* Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Jorge Enrique Meneses Flórez

## INTRODUCCION

Durante muchos años la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander se ha destacado por formar profesionales con amplio conocimiento y alto nivel de competencia para la industria.

Actualmente, la industria requiere profesionales con conocimiento no solo del campo mecánico, sino también, del campo de automatización industrial. Con el fin de cumplir con estos requerimientos, la escuela de Ingeniería Mecánica ha hecho una reforma en su programa académico, dándole especial interés a esta rama.

En dicha rama se incluyeron asignaturas como, electricidad y electrónica básica, sistemas mecatrónicos I, e ingeniería de control, además, electivas como sistemas mecatrónicos II, y las ya existentes autómatas programables y automatización industrial.

Con el propósito de complementar las asignaturas mencionadas anteriormente, se ha construido un sistema automatizado robot/manipulador cartesiano para que los estudiantes tengan la experiencia de llevar a la práctica los conocimientos adquiridos en la teoría.

Se optó por alimentarlo neumáticamente, dado que en el Laboratorio de Automatización Industrial se encuentra instalada una red de aire comprimido para realizar las prácticas de las asignaturas relacionadas con esta área.

La construcción de este sistema automatizado de control, proporcionará a los estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica, la posibilidad de programar un robot cartesiano de dos maneras diferentes: Como un automatismo de eventos discretos ó como un automatismo cuasicontínuo.

FESTO ofrece a sus clientes una amplia gama de sistemas cartesianos adecuados para una gran variedad de aplicaciones; sin embargo, esta opción resulta muy costosa. Por este motivo, fueron seleccionados los elementos para construir un sistema automatizado de este tipo.

En el presente trabajo de grado, denominado “ROBOT CARTESIANO NEUMÁTICO PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN”, se recopila la información necesaria para el diseño y construcción de un sistema automatizado robot/cartesiano neumático.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al desarrollo académico integral de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica por medio de la implementación de nuevas tecnologías dentro de los laboratorios de la Universidad industrial de Santander, enfocándose en la filosofía del nuevo pensum de la carrera y siguiendo los lineamientos de la misión de nuestra alma máter.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar y construir un sistema automatizado de control para el laboratorio de sistemas mecatrónicos de la escuela de ingeniería mecánica, el cual pueda operar como un automatismo cuasicontínuo<sup>1</sup> (Robot cartesiano) o como un automatismo de eventos discretos<sup>2</sup> (Manipulador cartesiano). El sistema automatizado tiene las siguientes características:

#### Características generales

1. Tres grados de libertad.
2. Dimensiones aproximadas de 835 mm x 725 mm x 700 mm y un volumen de trabajo de 500 mm x 500 mm x 200 mm.
3. Actuadores accionados por medio de aire comprimido (neumáticos).

---

<sup>1</sup> Las variables de estado cambian de forma continua con el tiempo, tomado de Balcells, Josep; Autómatas programables

<sup>2</sup> El estado y el tiempo son discretizados a valores específicos, es decir, estos sistemas cambian su estado en un conjunto finito de puntos temporales; instantes en los cuales un evento ocurre. Tomado de Balcells, Josep; Autómatas programables

4. Operado y manipulado por interfaz máquina-humano (HMI) y Controlado por autómatas programables Siemens S7-300.

Características del automatismo como Robot cartesiano

1. Actuado por tres cilindros neumáticos.
2. Preactuado por medio de válvulas proporcionales y retroalimentado por potenciómetros lineales.

Características del automatismo como Manipulador cartesiano

1. Actuado por tres cilindros neumáticos.
2. Preactuado por medio de electroválvulas y retroalimentado por sensores de proximidad del tipo ON/OFF.

Programar el hardware de control (API S7-300), en Step 7 V5.4<sup>3</sup> para realizar las acciones básicas de movimiento, ya sea para robot cartesiano o manipulador cartesiano. En proyectos posteriores se desarrollarán lenguajes de programación específicos tales como: FUNKY, T<sub>3</sub>, ANORAD, EMILY, RCL, RPL, SIGLA, VAL, MAL<sup>4</sup>.

Diseñar e implementar prácticas de carácter básico en el sistema automático;

- Dos para el robot cartesiano.
- Dos para el manipulador cartesiano.

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento para el cuidado básico del sistema automatizado en pro de su conservación y disponibilidad al estudiante.

---

<sup>3</sup> Software estándar de Siemens SIMATIC para la creación de programas de control lógico para los autómatas SIMATIC S7-300 Y S7-400.

<sup>4</sup> Tomado de; [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

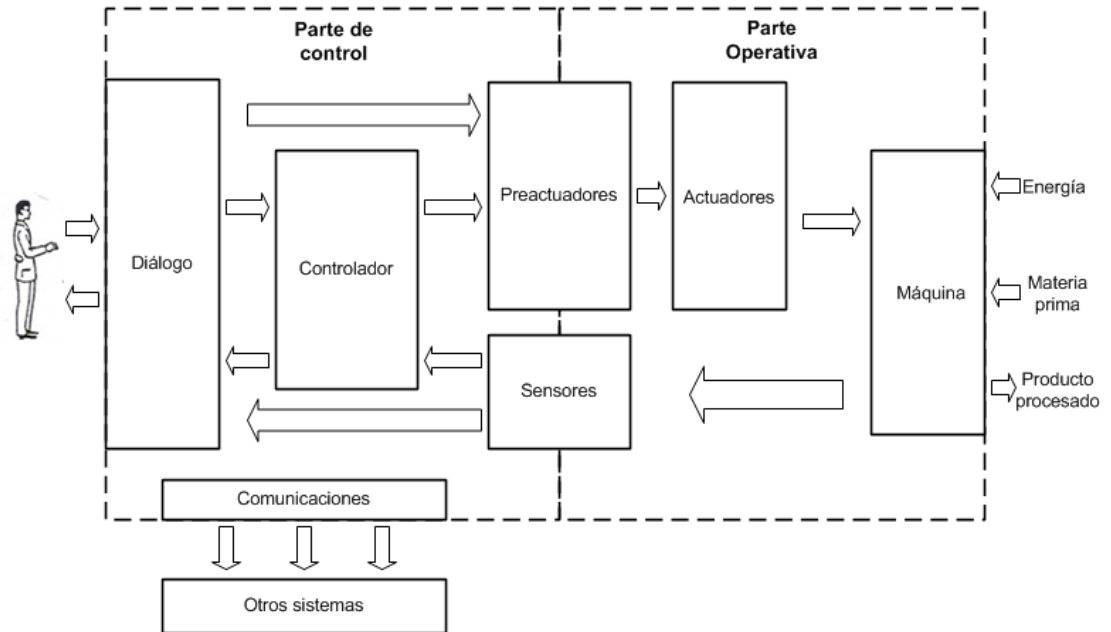
## **2. ESTRUCTURA DEL ROBOT/MANIPULADOR COMO SISTEMA AUTOMATIZADO**

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir, sin intervención de agentes exteriores (incluido el factor humano), corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento. Un sistema automatizado de control se divide en dos partes: parte de control (PC) y parte operativa (PO). En la figura 1, se presenta el modelo estructural de un sistema automático

La parte operativa se constituye principalmente de la máquina o sistema físico que realiza la acción. La parte de control constituye algunos elementos como la interfaz máquina humano (HMI) y el controlador del sistema. Es la encargada de generar las ordenes necesarias para que esa acción se lleve o no a cabo.

Los preactuadores y los sensores, corresponden a la interfaz entre la parte operativa y la parte de control. El sistema está relacionado con el medio exterior a través de una interfaz de diálogo con el operador. Para su funcionamiento, el sistema necesita el suministro de una fuente de energía y una materia prima, para procesarla y arrojar el producto para el cual fue diseñado y programado.

**Figura 1. Modelo estructural de un sistema de control**



## **2.1 BUCLE O LAZO CERRADO**

Un bucle o lazo cerrado es el principio de un sistema automático. Un sistema en lazo cerrado es aquel en que la acción de control está en función de la señal de salida. Este tipo de sistemas, usa la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. En la figura 1 se observa el lazo cerrado del sistema de control. Este lazo cerrado comienza por el controlador, pasando por los preactuadores, los actuadores, la máquina, los sensores y regresa al controlador.

## **2.2 MODELO ESTRUCTURAL DEL ROBOT/MANIPULADOR**

Basados en el modelo mostrado en la figura 1, se hizo el modelo estructural del Robot/Manipulador como sistema automatizado de control.

Para este sistema, la parte operativa es esencialmente el sistema cartesiano, compuesto por tres actuadores lineales neumáticos que se mueven sobre cada eje cartesiano y una ventosa plana como elemento finalizador.

La parte de control está conformada por un autómata programable SIEMENS S7 300, formado por una CPU 315F-2 PN/DP, un módulo inteligente de regulación que trabaja con señales analógicas y un módulo de señales digitales. Además, la interfaz HMI, que consta de un panel de operador SIEMENS OP 177B y un conjunto de botones. De este modo, el estudiante tiene la posibilidad de operar el sistema de diferentes maneras, bien desde el panel, desde los botones o de los dos modos.

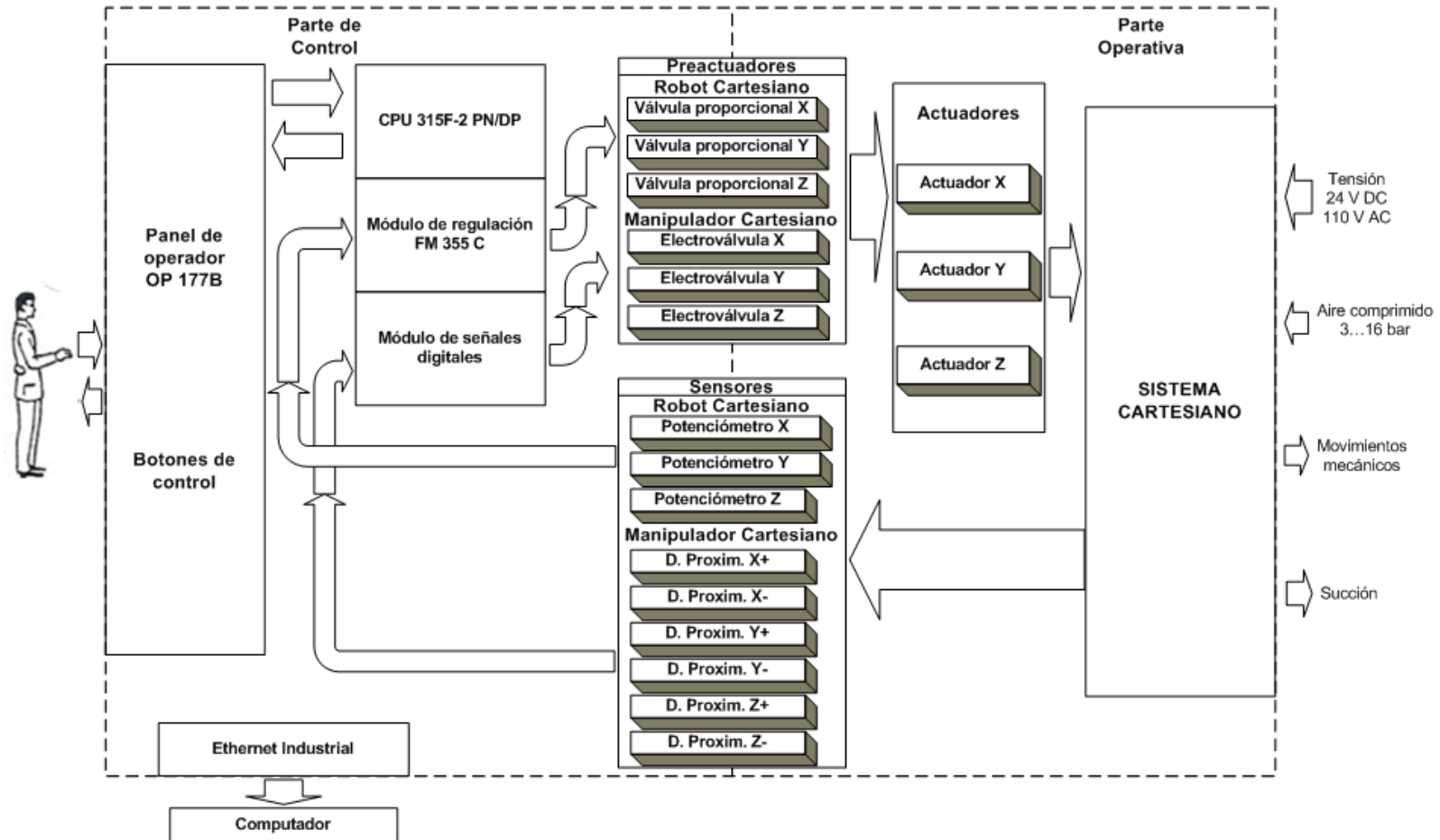
En la interfaz entre la parte operativa y la parte de control están ubicados los preactuadores y los sensores. Entre los preactuadores se encuentra un conjunto de electroválvulas, un grupo de válvulas proporcionales y algunos elementos necesarios para generar succión y transmitirla a la ventosa. Los sensores están conformados por un grupo de detectores de proximidad ubicados a cada extremo de los actuadores y tres potenciómetros lineales, uno para cada eje.

El sistema está integrado a una red de Ethernet Industrial, desde la cual es posible comunicarlo con un computador en donde se podrán realizar y cargar los diferentes programas a ejecutar por el robot.

El sistema está alimentado externamente por aire comprimido a una presión entre 3 y 16 bar, proveniente de la línea interna del laboratorio de automatización industrial, una tensión de 24 V DC y una de 110 V AC; como resultado tenemos movimientos mecánicos y la succión de la ventosa.

En la figura 2, se presenta el esquema del robot/manipulador como sistema automatizado de control.

Figura 2. Esquema del Robot/Manipulador como sistema automatizado de control

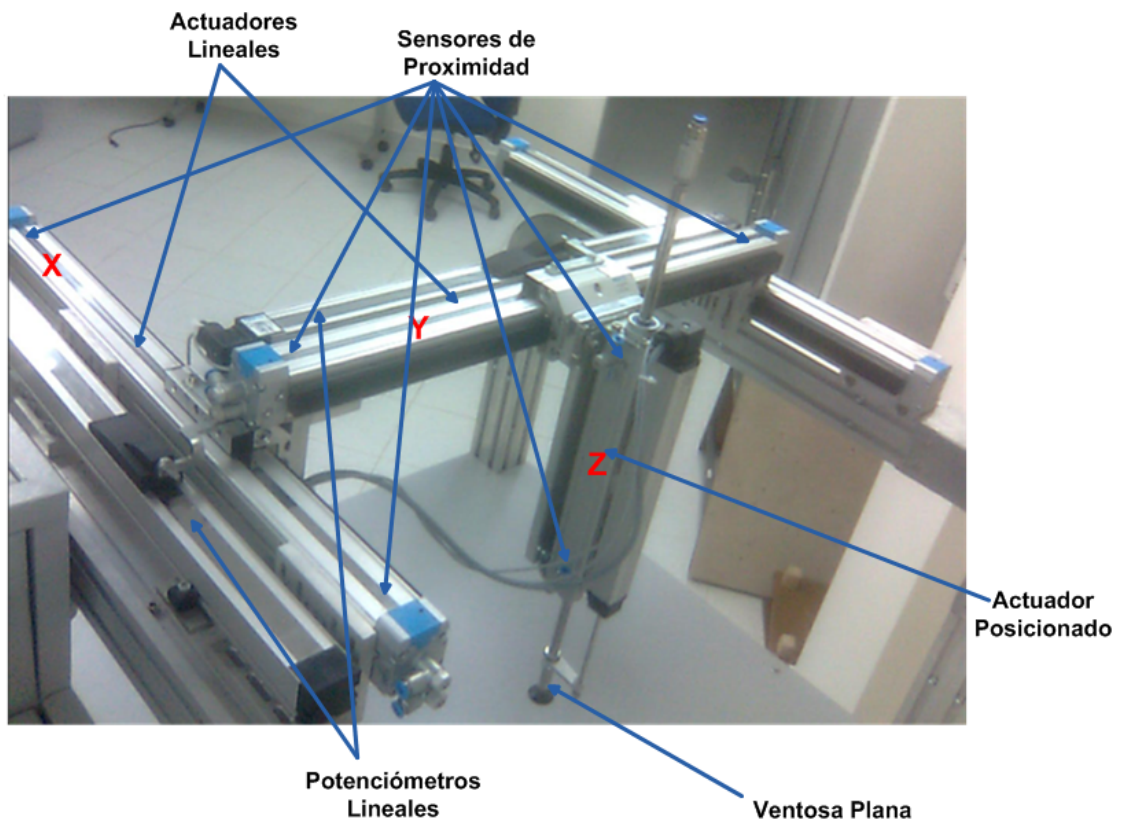


### 3. DISEÑO DE LA PARTE OPERATIVA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO ROBOT/MANUPULADOR CARTESIANO

La parte operativa está compuesta por un módulo de tres ejes con tres grados de libertad, que puede operarse como robot o como manipulador cartesiano. Este módulo consta de tres actuadores neumáticos debidamente ensamblados entre sí.

Analizando los modelos ofrecidos comercialmente, se escogió como referencia el robot cartesiano tipo pórtico, por su facilidad de montaje y control.

**Figura 3. Robot cartesiano tipo pórtico**



### 3.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA CARTESIANO

El robot cartesiano cuenta con tres actuadores lineales, uno en cada eje. La selección de estos actuadores se hizo basados en un catalogo de neumática de FESTO. Además, también se tuvo en cuenta el volumen de trabajo inicialmente propuesto, el cual era de aproximadamente de 500 mm x 500 mm x 200 mm y que las velocidades máximas de estos no generaran fuerzas inerciales muy altas. FESTO ofrece a sus clientes una gran gama de actuadores neumáticos para sistemas de este tipo.

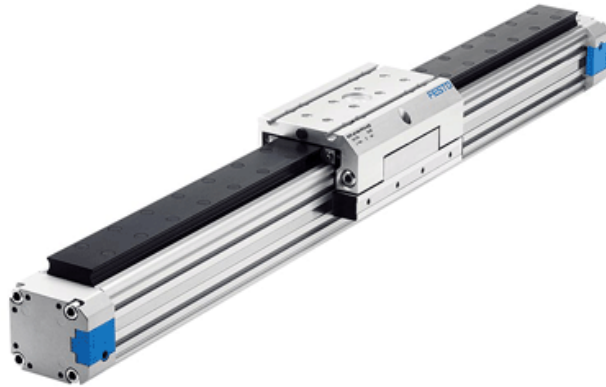
Aunque conceptualmente los sensores no pertenecen a la parte operativa, serán incluidos en esta descripción, ya que están ubicados sobre el sistema cartesiano.

En la construcción fueron seleccionados los siguientes elementos:

- **Actuador lineal DGPL-25-500-PPV-A-B-KF:** fue seleccionado por su facilidad de ensamble con otros actuadores del mismo tipo. Además, tiene la carrera necesaria para brindar un espacio adecuado de trabajo. Este actuador es utilizado para los ejes X e Y. Tiene las siguientes características:

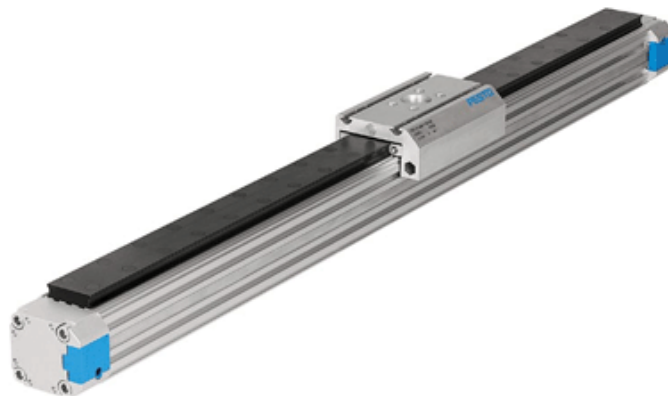
- Actuador de doble efecto
- Diámetro de embolo: 25 mm
- Carrera: 500 mm.
- Amortiguación regulable aproximadamente a 18 mm de cada extremo
- Velocidad máxima de avance: 3 m/s
- Presión de funcionamiento: 2...8 bar.
- Detector de posición: con imán
- Fuerza teórica con 6 bar: 295 N

**Figura 4. Actuador lineal DGPL-25-500-PPV-A-B-KF**



- **Eje de guía FDG-25-500-P-KF:** su función únicamente es servir como guía para que el sistema cartesiano conserve su forma original. La selección de este eje se hizo teniendo en cuenta el actuador seleccionado anteriormente.

**Figura 5. Eje de guía FDG-25-500-P-KF**



- **Detector de proximidad SME-8-K-LED-24:** fueron seleccionados por su facilidad de manipulación. Cuando el actuador llega a su extremo, estos sensores envían una señal al autómeta. Está compuesto por un interruptor Reed que se cierra al acercarse el campo magnético, por lo que se emite una señal de

conmutación. Cada actuador consta de un detector de proximidad a cada extremo. Tiene las siguientes características:

- Conexión eléctrica: contacto trifilar
- ✓ Café: alimentación 24 [V DC]
- ✓ Azul: 0 V
- ✓ Negro: señal
- Tensión de funcionamiento: 12...30 [V DC] (por facilidad, alimentamos a 24 V)
- Corriente máxima de salida: 500 mA
- Potencia de conmutación: 10 W
- Tiempo de conexión:  $\leq 5$  ms
- Tiempo de desconexión: 0.03 ms
- Indicación de estado de conmutación: LED amarillo
- Longitud de cable: 2.5 m

**Figura 6. Detector de proximidad SME-8-K-LED-24**

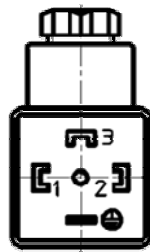


- **Sistema de medición de recorrido MLO-POT-500-TLF:** fue seleccionado por su facilidad de ensamble con el actuador lineal, soporta la velocidad máxima del actuador y brinda al estudiante la posibilidad de hacer un control PID con un

módulo inteligente de regulación SIEMENS FM 355C por medio de válvulas proporcionales como preactuadores manipulando señales analógicas. Tiene las siguientes características:

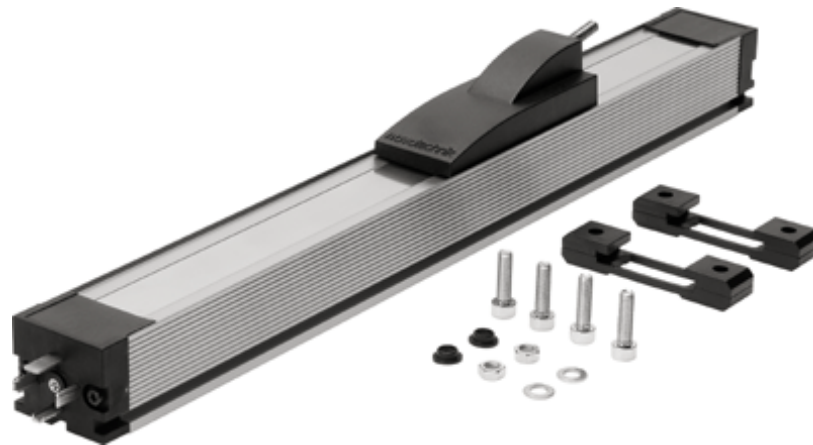
- Sistema analógico de medición de recorrido con potenciómetro lineal
- Carrera: 500 mm
- Principio de medición: potenciómetro analógico, medición absoluta con contacto
- Tensión nominal de funcionamiento: 10 [V DC] (fue necesario montar una resistencia de 7k $\Omega$  en serie con la tensión nominal de 24 [V DC])
- Corriente de arrastre recomendada: < 1  $\mu$ A
- Consumo máximo de corriente: 4 mA
- Velocidad máxima de avance: 10 m/s
- Aceleración máxima: 200m/s<sup>2</sup>.
- Conexión
- ✓ Café: Alimentación 10 [V DC]
- ✓ Verde: Señal
- ✓ Amarillo: 0 V
- ✓ Blanco: Tierra

**Figura 7. Conector del sistema de medición de recorrido**



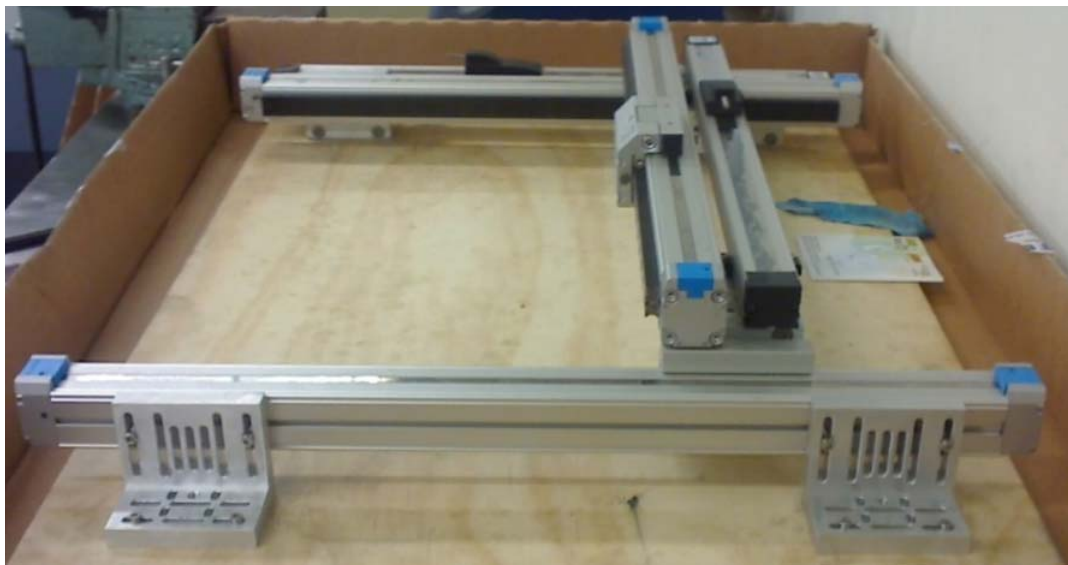
1. Alimentación de tensión
2. Señal
3. 0 V

**Figura 8. Sistema de medición de recorrido MLO-POT-500-TLF**



Con estas partes se construyó un sistema bidimensional básico, tomado como base para la construcción del robot. Este sistema tiene unas dimensiones aproximadas de 890 mm x 700 mm.

**Figura 9. Sistema bidimensional**



Para el eje Z fue seleccionado el siguiente actuador

• **Actuador de posicionamiento DNCM-32-200-POT1-S20-A:** seleccionado para cumplir con el volumen de trabajo propuesto y controlar su posición en cualquier momento. Tiene las siguientes características:

- Doble efecto
- Diámetro del embolo: 32 mm
- Carrera: 200 mm
- Tipo de vástago: doble, hueco
- Velocidad de maniobra: 0.05...2.2 m/s
- Potenciómetro integrado
- Presión de funcionamiento: 4...8 bar
- Tensión de funcionamiento: 10 [V DC]
- Corriente de arrastre recomendada: < 1μA

**Figura 10. Actuador de posicionamiento DNCM-32-200-POT1-S20-A**



Como elemento finalizador, fue seleccionada y comprada una ventosa plana. Esta se acopla en el extremo del actuador de posicionamiento.

- **Ventosa plana VAS-30-1/8-NBR:** fue seleccionado por su facilidad de montaje y manejo. Tiene las siguientes características:

- Diámetro de la ventosa: 30 mm
- Diámetro útil de la ventosa: 25 mm
- Fuerza de separación con vacío de 70%: 34 N

**Figura 11. Ventosa plana VAS-30-1/8-NBR**



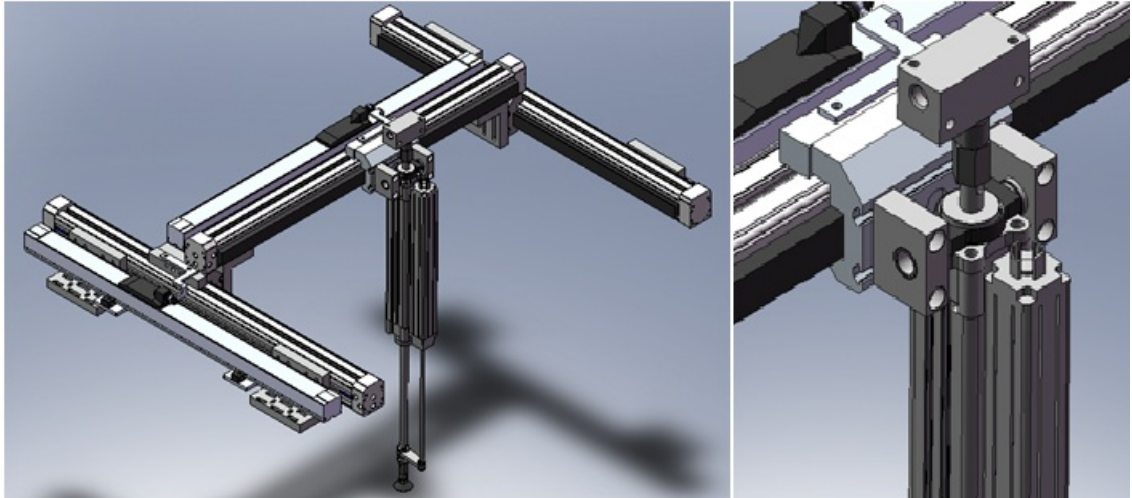
### **3.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL SISTEMA CARTESIANO**

Inicialmente se construyó el sistema bidimensional anteriormente mostrado (Figura 9).

Para ensamblar el actuador de posicionamiento, se analizaron las siguientes alternativas.

**3.2.1 Alternativa 1.** Sujeción del efector vertical por medio de brida basculante. Consta básicamente de una brida ubicada en la parte superior del actuador vertical; de este modo, la conexión entre el plano horizontal y el eje vertical solo se hace en un punto.

**Figura 12. Ensamble de sistema cartesiano con brida basculante**



Ventajas:

- Ocupa poco espacio en el ensamble.
- Facilidad de montaje.

Desventajas:

Debido a que el actuador vertical se ensambla únicamente en la parte superior y a las cargas inerciales generadas durante un funcionamiento rápido del automatismo, éste podría empezar a desestabilizarse y además, podría deteriorar las piezas de ensamble y los actuadores.

**3.2.2 Alternativa 2.** Sujeción del cilindro vertical por medio de pies de fijación. Básicamente consta de unos pies ubicados en la parte superior e inferior del actuador vertical, estos van apernados a una lámina que a su vez esta unida al sistema bidimensional en la parte superior proporcionando un acoplamiento rígido en la estructura del robot.

**Figura 13. Ensamble de sistema cartesiano por medio de pies**



Ventajas:

- El efector vertical siempre mantendrá su posición, aún cuando las fuerzas inerciales actúen en el sistema.
- Facilidad de montaje.

Desventajas:

- Ocupa más espacio que la opción de fijación con brida, aunque la lámina posterior se puede construir de manera que no interfiera con el movimiento.

### **3.3 ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Por el comportamiento del sistema en funcionamiento del automatismo se selecciona la opción de fijación por pies (alternativa 2.)

Esta alternativa es la ideal para el funcionamiento del sistema automatizado, bien como robot o como manipulador, además, brinda un espacio de trabajo de tal modo que, se puede aprovechar por completo la carrera de todos los actuadores.

## **4. ESTRUCTURA Y FORMA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO ROBOT/MANIPULADOR**

El modelo estructural del robot/manipulador cartesiano se divide en parte operativa y parte de control. De este modo, se presentaran las alternativas analizadas para el diseño de forma de la estructura que soporta el sistema.

### **4.1 ALTERNATIVAS DE LA PARTE OPERATIVA ROBOT/MANIPULADOR CARTESIANO**

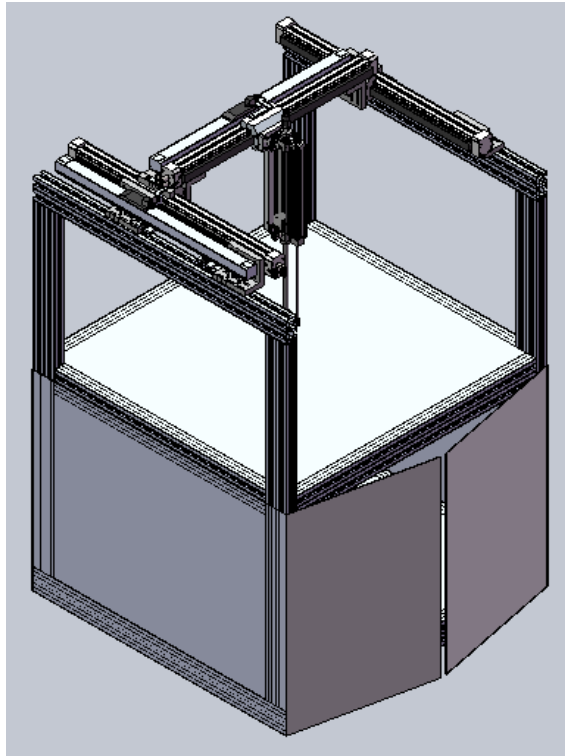
El montaje del sistema cartesiano (parte operativa) fue hecho básicamente sobre un módulo construido con perfil de aluminio y algunas piezas mecanizadas, usadas para el ensamble de dichos perfiles.

Este montaje se realizó teniendo en cuenta consideraciones de carga, ergonómicas y estéticas, de modo que el usuario tenga una sensación de comodidad y seguridad al manipular el robot.

A continuación se muestran las alternativas analizadas para el diseño de la parte operativa.

**4.1.1 Alternativa 1.** En esta alternativa, el robot está situado de forma que un estudiante de estatura promedio pueda observar de una manera cómoda el funcionamiento de éste. Es un concepto de diseño sencillo y muy factible.

**Figura 14. Sistema cartesiano (Alternativa 1)**



Ventajas:

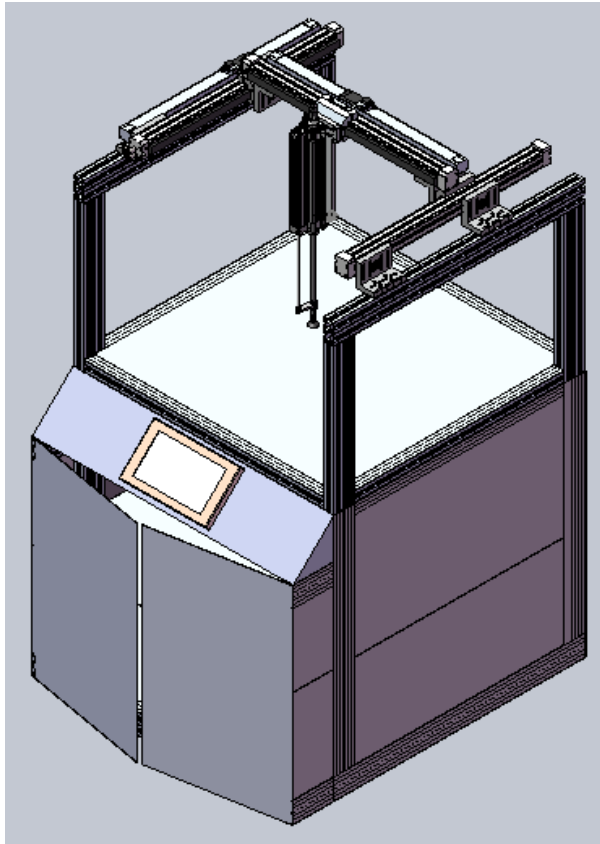
- El automatismo es fácilmente observable en funcionamiento.
- Diseño sencillo y factible.
- Es un diseño funcional.

Desventajas:

- Es poco estético.

**4.1.2 Alternativa 2.** En esta alternativa, se integra físicamente el panel de operador a la parte operativa y se sitúa a una altura cómoda para su operación. A diferencia de la alternativa anterior, en esta, existe la posibilidad de operar el sistema cartesiano desde el mismo módulo.

**Figura 15. Sistema cartesiano con panel de operador (Alternativa 2)**



Ventajas:

- Cuando se está operando desde el panel, el sistema cartesiano es más observable debido a la presencia de éste.

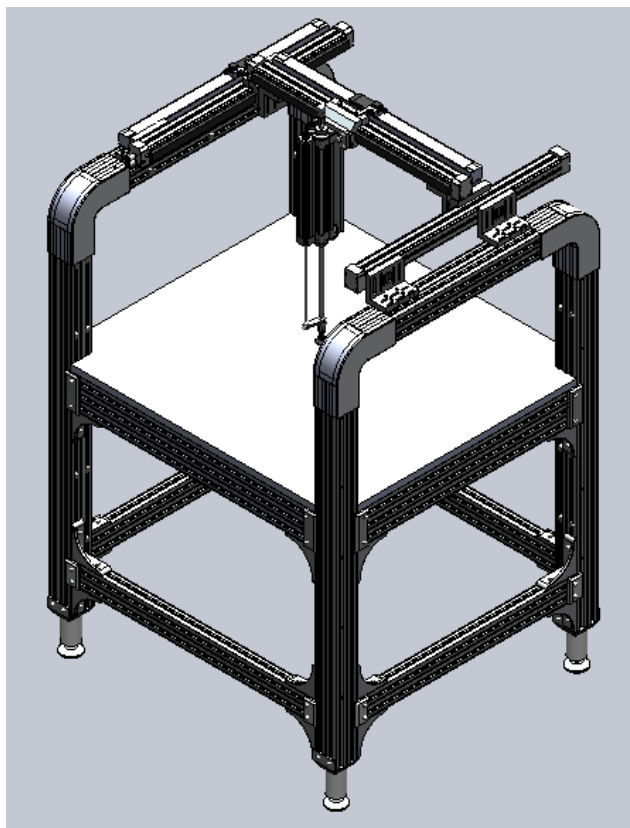
Desventajas:

- El panel de operador se encuentra relativamente lejos de la parte de control, lo que dificulta el manejo global del sistema automatizado.
- La presencia del panel en este módulo hace que el sistema cartesiano se encuentre ubicado a una considerable altura y dificulte la visibilidad en su parte superior.

- La presencia del panel en la parte operativa hace que esta se vea poco robusta y poco estética.

**4.1.3 Alternativa 3.** Esta alternativa da la posibilidad al usuario de manipular los elementos que se sitúen en la mesa de trabajo, además tiene un diseño agradable estéticamente.

**Figura 16. Sistema cartesiano (Alternativa 3)**



Ventajas:

- Es funcional
- Es fácilmente observable en cuanto a funcionamiento.
- Tiene un diseño ergonómico para el usuario.
- Tiene un diseño rígido y estético.

## **4.2 ALTERNATIVAS DE LA PARTE DE CONTROL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.**

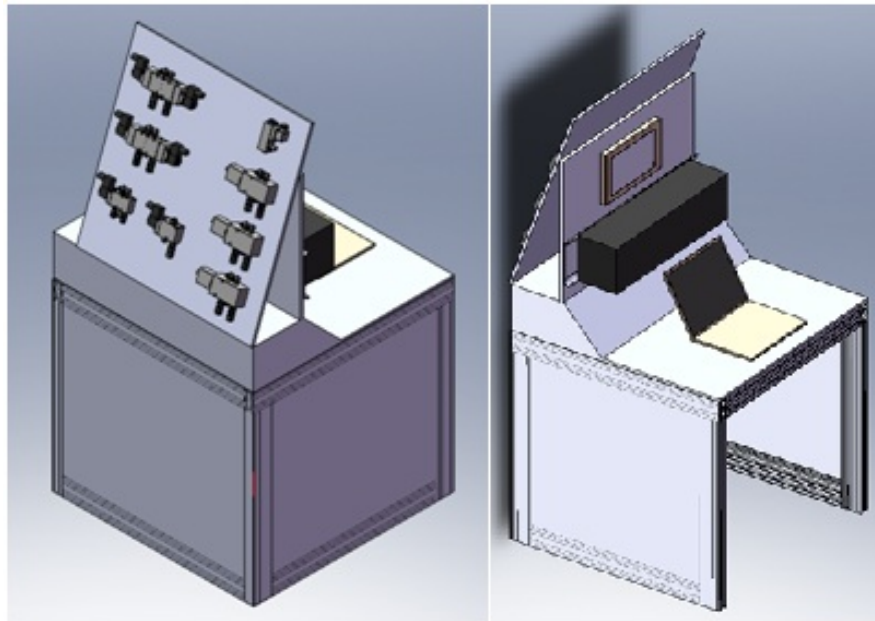
La parte de control del sistema automatizado consta fundamentalmente del panel de operador y del autómeta, ubicados adecuadamente en una caja llamada cofre de control y potencia. En este cofre, también se encuentran los preactuadores. Todos estos elementos, están ubicados de tal forma que el estudiante se pueda familiarizar con estos y por ende se facilite su operación.

Inicialmente se tenía la opción de integrar un computador en el cofre, sin embargo, esta idea fue descartada por disponibilidad de espacio en esta zona y se optó por hacer una conexión en red entre el computador y el autómeta. Algunas de las alternativas fueron diseñadas contando con el computador en este módulo.

**4.2.1 Alternativa 1.** En esta alternativa, se ubica en un solo frente el computador, el autómeta y el panel de operador. Es un módulo en el cual es posible que el usuario trabaje sentado con estos equipos de frente en la programación, funcionamiento y operación del automatismo.

El tablero de preactuadores se ubica en la parte posterior del módulo, de manera que pueda brindar un fácil acceso para cablear el autómeta programable, alimentar fácilmente al sistema cartesiano y tenga una alimentación neumática por la parte superior.

**Figura 17. Parte de control (Alternativa 1)**



Ventajas:

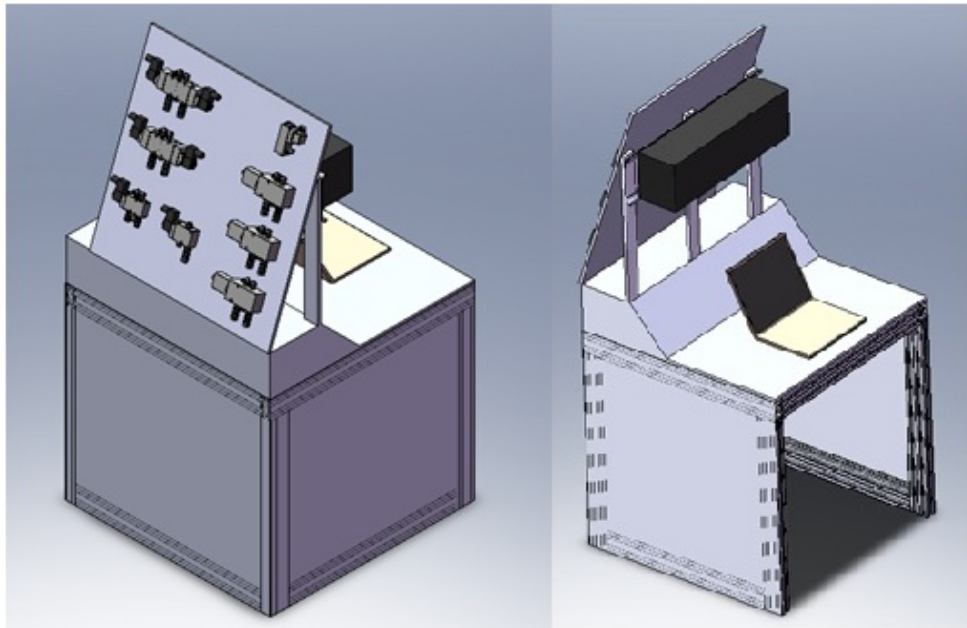
- Los equipos se encuentran en frente del usuario.
- El panel de control, el computador, el autómeta y el tablero de preactuadores se encuentran eficientemente distribuidos.
- El cableado desde el autómeta se hace de una manera sencilla, ya que este se encuentra detrás del tablero de preactuadores.

Desventajas:

- Es robusto y poco estético.

**4.2.2 Alternativa 2.** Esta opción sería considerada en el caso en que el panel de operador se encontrara ubicado en la parte operativa (Alternativa 2 de la parte operativa); por lo tanto, en la parte frontal de este módulo se ubicaría el autómeta y el panel de operador, mientras que en su parte posterior el tablero de preactuadores.

**Figura 18. Parte de control (Alternativa 2)**



Ventajas:

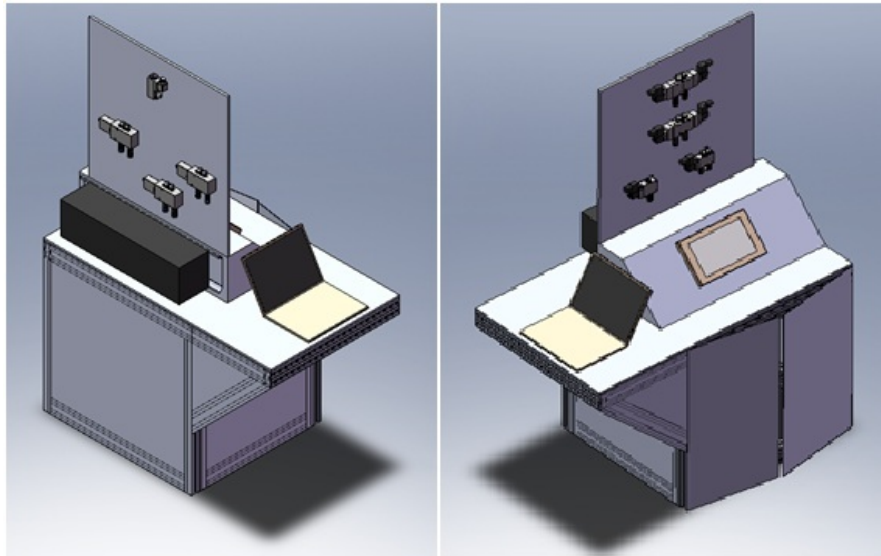
- El cableado desde el autómeta se hace de una manera sencilla, ya que este se encuentra detrás del tablero de preactuadores.

Desventajas:

- El panel de operador se encuentra distante del estudiante cuando éste se encuentre trabajando en el computador.

**4.2.3 Alternativa 3.** Esta alternativa tiene una distribución favorable a la observación de los preactuadores. El computador, el panel de operador y el autómeta se encuentran distribuidos de una manera que sean observables individualmente, desde varias perspectivas.

**Figura 19. Parte de control (Alternativa 3)**



Ventajas:

- El usuario tiene un ambiente más espacioso en cuanto a la presencia de equipos

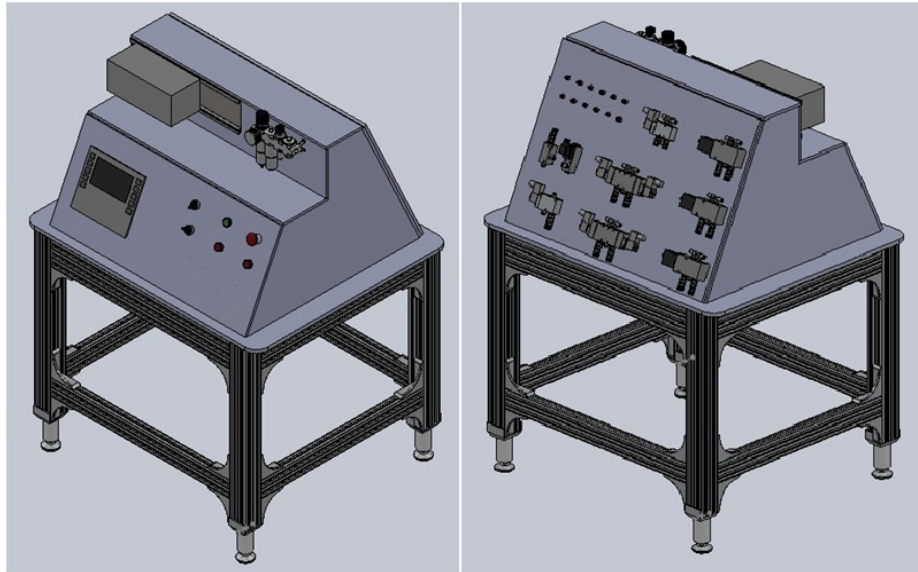
Desventajas:

- El computador, el autómatas y el panel de operador se encuentran muy retirados entre sí, lo que dificulta el trabajo del estudiante.
- No permite una visión simultánea por parte del operario hacia el computador, el autómatas y el panel.
- Poco estético.

**4.2.4 Alternativa 4.** Esta alternativa es escogida en el caso de que el computador no esté dentro del ensamblaje, es decir, esté conectado en red con el autómatas.

Además, es el complemento de la alternativa 3 de la parte operativa. Fue diseñada tomando en cuenta consideraciones de carga, ergonómicas y estéticas, además, presenta una interfaz muy amigable para el usuario.

**Figura 20. Parte de control (Alternativa 4)**



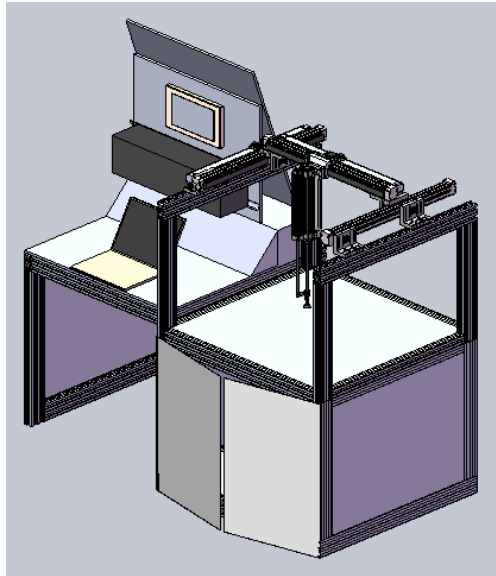
Ventajas:

- Es funcional y estético
- Tiene un diseño ergonómico, permite al usuario observar y manipular tanto los preactuadores como el autómata y la interfaz HMI.
- La interfaz HMI se encuentra en un solo frente con el autómata.

#### **4.3 ALTERNATIVAS DEL CONJUNTO PARTE OPERATIVA - PARTE DE CONTROL**

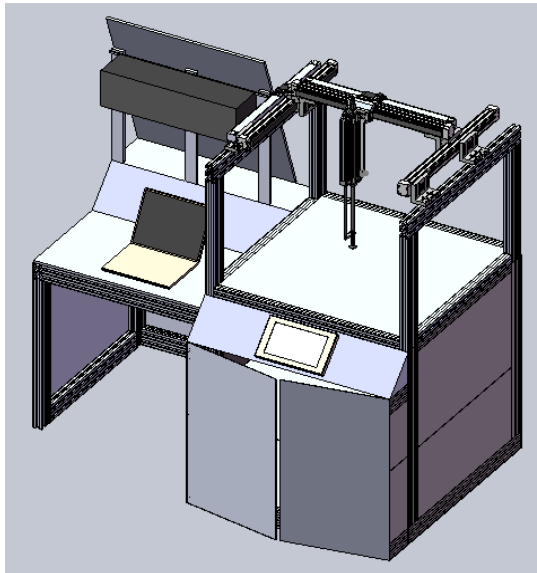
**4.3.1 Alternativa 1.** Conjunto formado por la alternativa 1 de la parte operativa (Figura 14) y la alternativa 1 de la parte de control (Figura 17).

**Figura 21. Conjunto (Opción 1)**



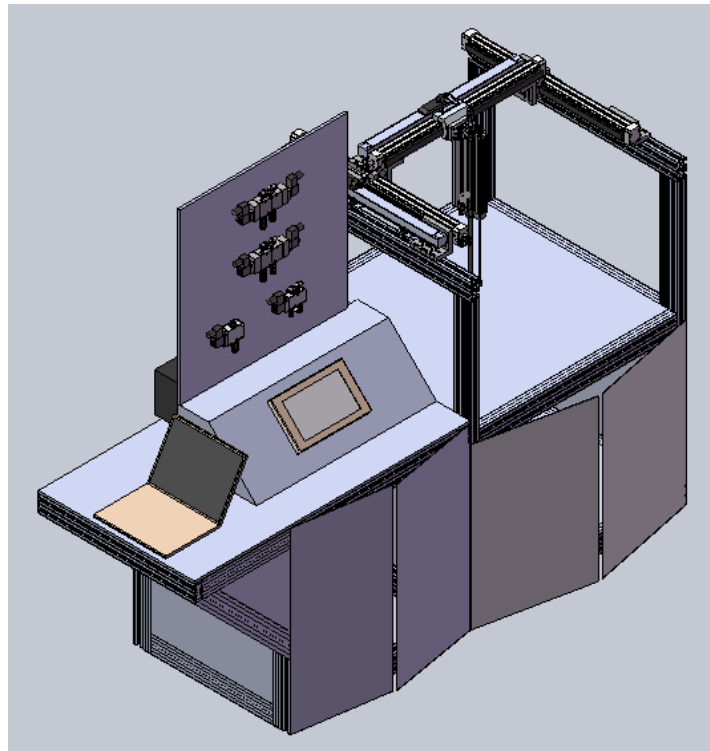
**4.3.2 Alternativa 2.** Conjunto formado por la alternativa 2 de la parte operativa (Figura 15) y la alternativa 2 de la parte de control (Figura 18).

**Figura 22. Conjunto (Opción 2)**



**4.3.3 Alternativa 3.** Conjunto formado por la alternativa 1 de la parte operativa (Figura 14) y la alternativa 3 de la parte de control (Figura 19).

**Figura 23. Conjunto (Opción 3)**



**4.3.4 Alternativa 4.** Conjunto formado por la alternativa 3 de la parte operativa (Figura 16) y la alternativa 4 de la parte de control (Figura 20).

**Figura 24. Conjunto (Opción 4)**



#### **4.4 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Analizando todas las alternativas expuestas, con sus ventajas y desventajas, la seleccionada es la alternativa 4 del conjunto total (Figura 24).

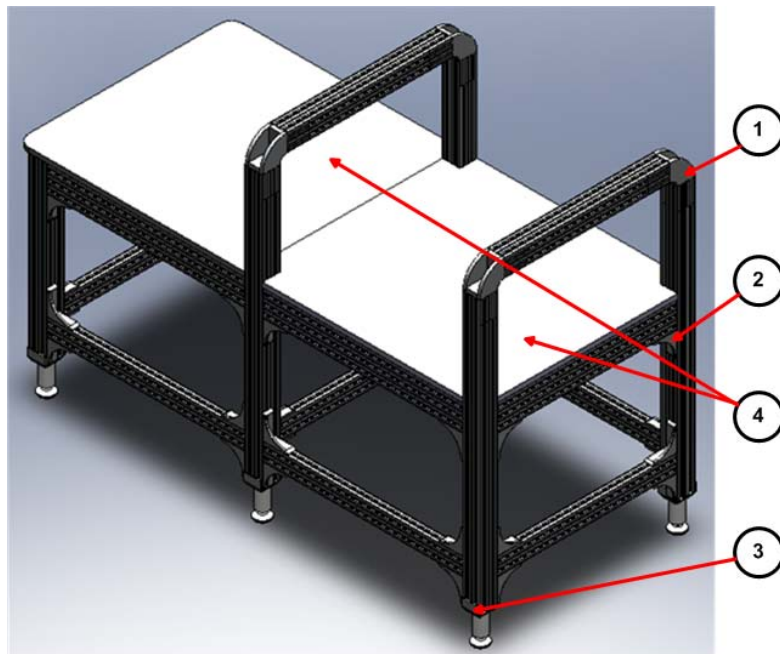
Esta opción presenta la ventaja al usuario de observar desde todos los ángulos los movimientos del robot, incluso desde el lado de la parte de control, además, es un diseño sencillo y ergonómico.

El robot/manipulador cartesiano está compuesto físicamente de los siguientes elementos:

**4.4.1 Estructura.** Es el soporte de todo el robot/manipulador cartesiano. La estructura está construida básicamente de perfil de aluminio estructural, algunas piezas de sujeción fundidas y mecanizadas en aluminio y 6 pies niveladores para soportarla. Las superficies de trabajo son de madercor aluminizado, cubierto a los lados con madecanto.

La estructura tiene unas dimensiones globales de 870 mm x 1840 mm x 1340 mm.

**Figura 25. Estructura**



1. Pieza para unir los soportes del sistema cartesiano
2. Soporte de vigas superiores e inferiores
3. Pieza para ensamblar los pies niveladores
4. Mesas de trabajo

Para el diseño de la estructura se tomaron consideraciones de carga, ergonómicas y estéticas.

**4.4.1.1 Análisis de la estructura.** Las cargas que soporta la estructura, se divide básicamente en dos: el sistema cartesiano y el cofre de control y potencia.

Para el cálculo de la carga ejercida por el sistema cartesiano, se uso la ayuda de la hoja de datos de cada elemento que lo conforma. Por medio de esta, se determino el peso de cada actuador y de cada sensor. Para el análisis en SolidWorks Simulation, la carga se realizo sobre las zonas en donde se soporta el sistema cartesiano. En la tabla 1 se muestra el peso de cada componente del sistema cartesiano.

**Tabla 1. Cargas del sistema cartesiano sobre la estructura**

ELEMENTO	CANTIDAD	MASA UND. [g]	MASA TOTAL [g]	PESO TOTAL [N]
Detector de proximidad	6	30	180	1,8
Potenciómetro lineal	2	1300	2600	26
Actuador lineal	2	4770	9540	95,4
Actuador de posicionamiento	1	1883	1883	18,83
Eje de guía	1	1520	1520	15,2
Ventosa plana	1	13	13	0,13
Placa de sujeción (dato SolidWorks)	1	693	693	6,93
<b>PESO TOTAL</b>			<b>16429</b>	<b>164,29</b>

El cálculo de la masa del cofre de control y potencia se realizo en dos pasos. Primero, en SolidWorks se definieron los materiales de las láminas y el perfil utilizado para la construcción de esta estructura y desde propiedades físicas se tomo el valor de la masa de este componente. En segundo lugar, se tomaron los

catálogos de los preactuadores, del autómeta y del panel, y de estos se tomó este dato. Los resultados de estos cálculos se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2. Cargas del cofre de control y potencia sobre la estructura**

ELEMENTO	CANTIDAD	MASA UNIDAD (g)	MASA TOTAL (g)	PESO TOTAL (N)
Estructura (laminas, perfil)	1	154313,45	154313,45	1543,1345
Electroválvula MFH-5/3B-1/4-B	2	500	1000	10
Electroválvula MFH-5-1/8	1	270	270	2,7
Electroválvula MFH-3-1/4	1	320	320	3,2
Válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B	3	530	1590	15,9
Vacuostato VPEV-1/8	1	240	240	2,4
Tobera VAD-1/4	1	100	100	1
Unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD	1	1000	1000	10
Autómata	1	2500	2500	25
Panel	1	1000	1000	10
<b>PESO TOTAL</b>			<b>162333,45</b>	<b>1623,3345</b>

El análisis de cargas se realizó en SolidWorks Simulation. En este estudio se tomaron valores aproximados de cargas. Por seguridad, se tomó aproximadamente un 50% adicional al valor de cada carga calculada.

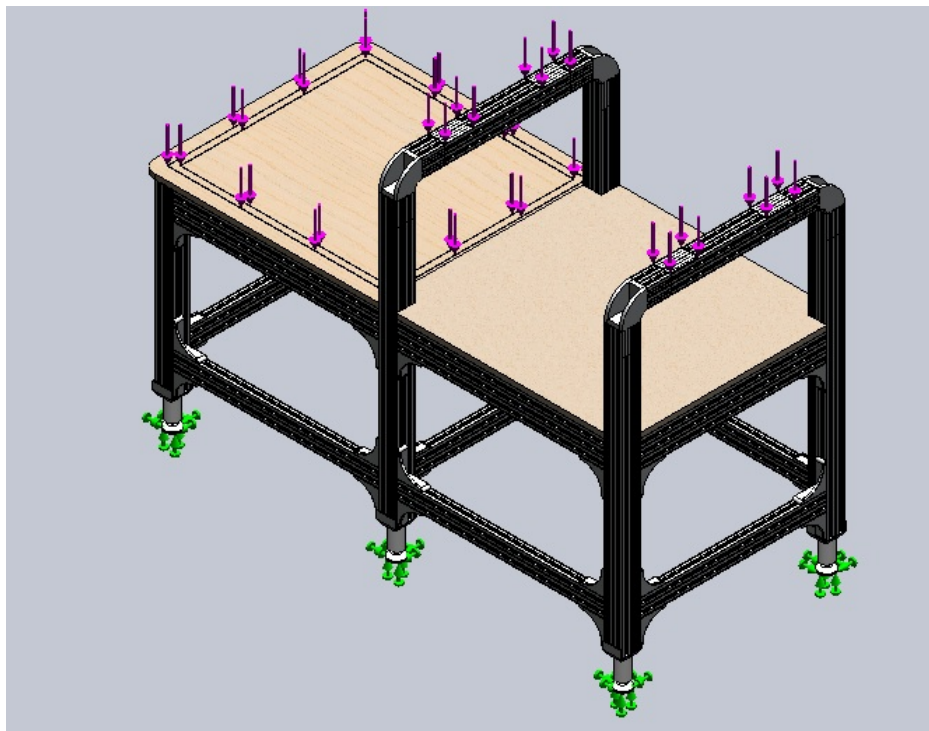
En la tabla 3 se presentan los resultados

**Tabla 3. Resultados análisis de cargas**

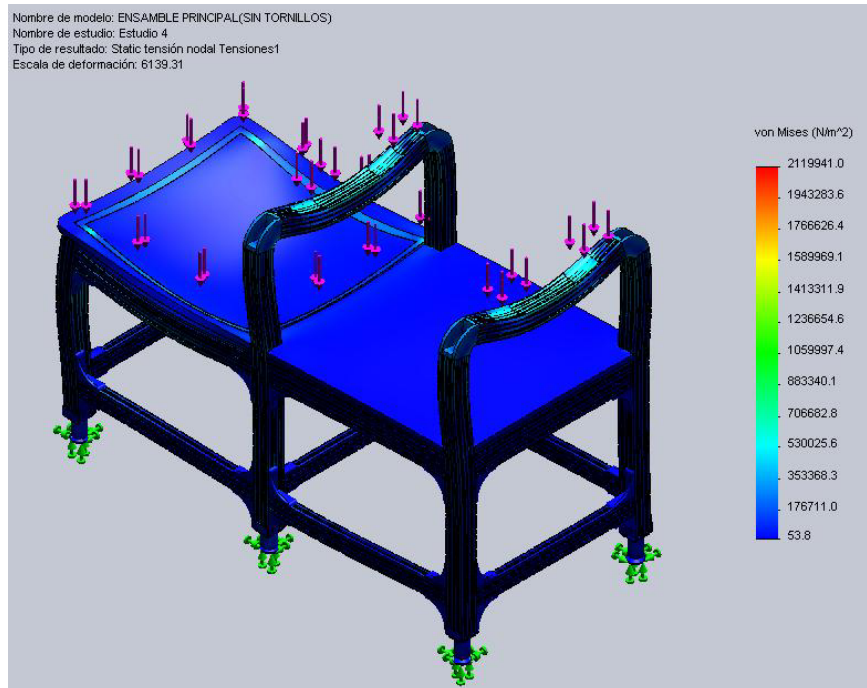
Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	53.7585 N/m <sup>2</sup> Nodo: 3332684	(232.272 mm, 199.496 mm, 831.128 mm)	2.11994e+ 006 N/m <sup>2</sup> Nodo: 1487159	(-193.7 mm, -11.5016 mm, -7.69816

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
					mm)
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 1447257	(-169.248 mm, -41.9402 mm, 804.241 mm)	3.04891e-005 m Nodo: 2427803	(-597.544 mm, 631.183 mm, 418.014 mm)
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.29827e-010 Elemento: : 1910966	(698.663 mm, 179.506 mm, 503.391 mm)	0.000283563 Elemento: 788207	(-183.45 mm, -12.3719 mm, 6.07282 mm)

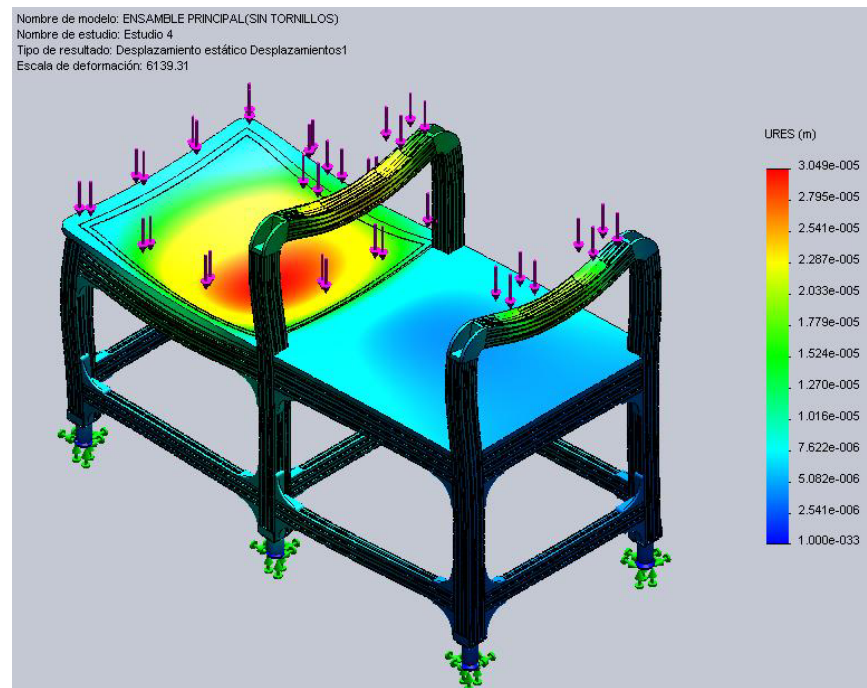
**Figura 26. Cargas aplicadas**



**Figura 27. Tensiones**

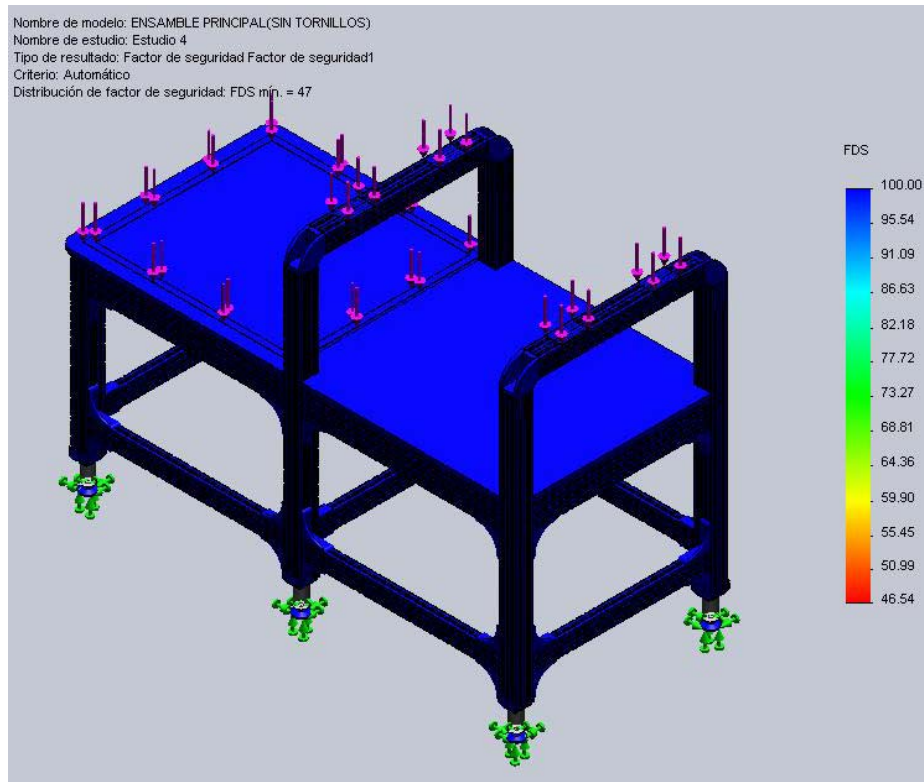


**Figura 28. Deformaciones**



La estructura presenta deformaciones muy mínimas. Como se observa en la figura 28 el valor máximo es de  $3.05e-5$  m.

**Figura 29. Factor de seguridad**

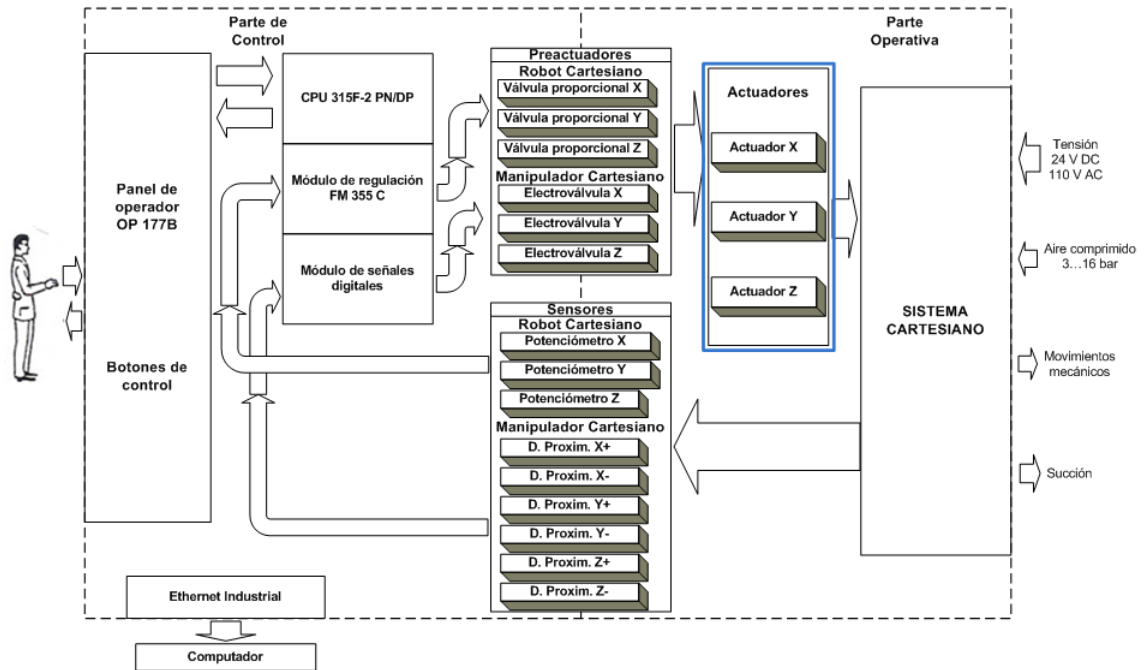


En la figura 29 se observa que el factor de seguridad mínimo de la estructura es de 46.54, lo que indica que la estructura está sobrediseñada para estas cargas.

#### 4.4.2 Sistema cartesiano

- Actuadores

Figura 30. Posición de los actuadores en el modelo estructural

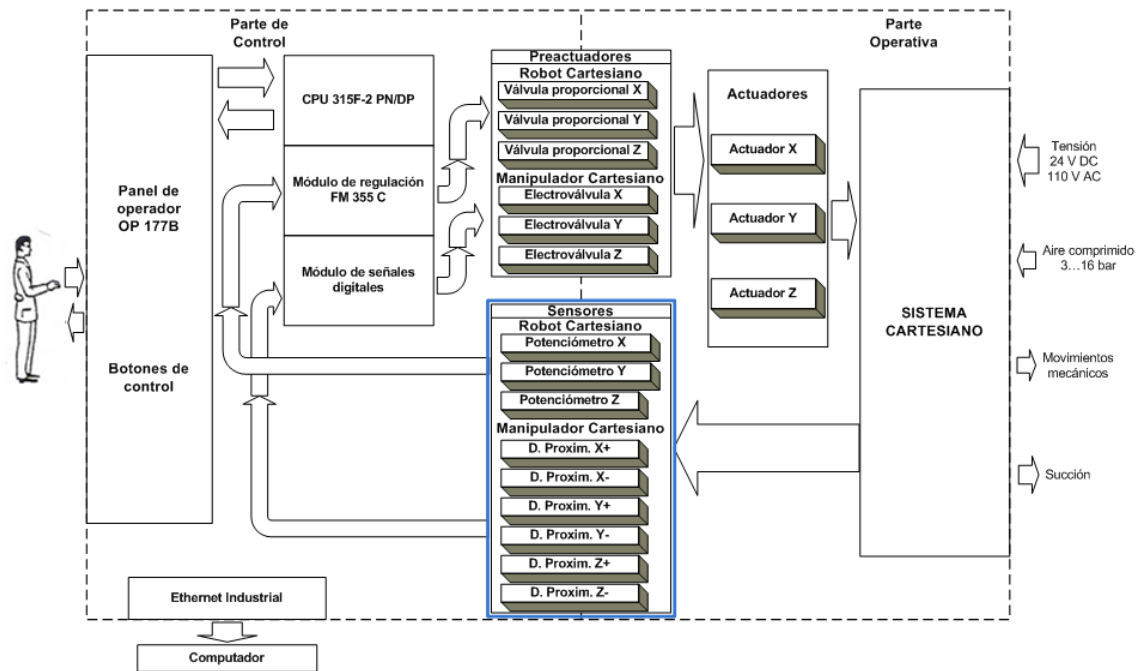


El sistema cartesiano es básicamente la parte operativa. Está construido con algunos elementos seleccionados y comprados a FESTO: dos actuadores lineales, un eje guía, un actuador posicionado y una ventosa plana. Estos elementos fueron descritos en el capítulo 3 del presente documento.

El sistema cartesiano tiene un volumen de trabajo aproximado de 500 mm x 500 mm x 200 mm, equivalente a la carrera de cada actuador.

- **Sensores**

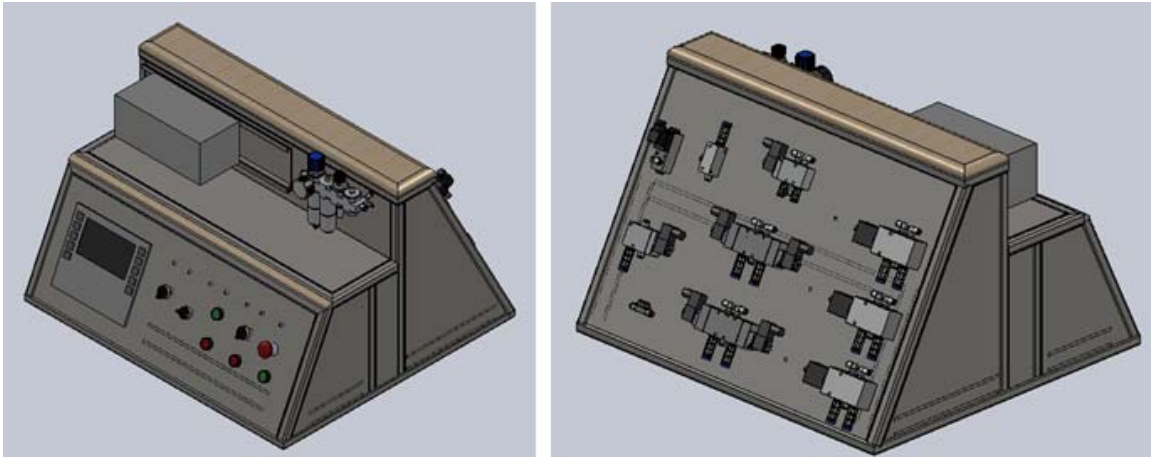
**Figura 31. Posición de los sensores en el modelo estructural**



Aunque conceptualmente los sensores no pertenecen a la parte operativa, físicamente si están integrados con el sistema cartesiano. Los sensores son los encargados de retroalimentar el automático, cerrando el lazo. En este caso, los sensores envían una señal según la posición de cada actuador, según esta señal, el automático enviara una señal diferente a los preactuadores. Estos sensores son: dos potenciómetros lineales, ensamblados a cada actuador del plano horizontal; un potenciómetro que está integrado con el actuador vertical y seis detectores de proximidad, ubicados en cada extremo de los actuadores. Estos sensores fueron descritos en el capítulo 3 del presente documento.

**4.4.3 Cofre de control y potencia.** El cofre de control y potencia es el bastidor donde se encuentran los preactuadores y los componentes de la HMI, es decir, el autómeta, el panel de operador y los botones de control.

**Figura 32. Cofre de control y potencia**

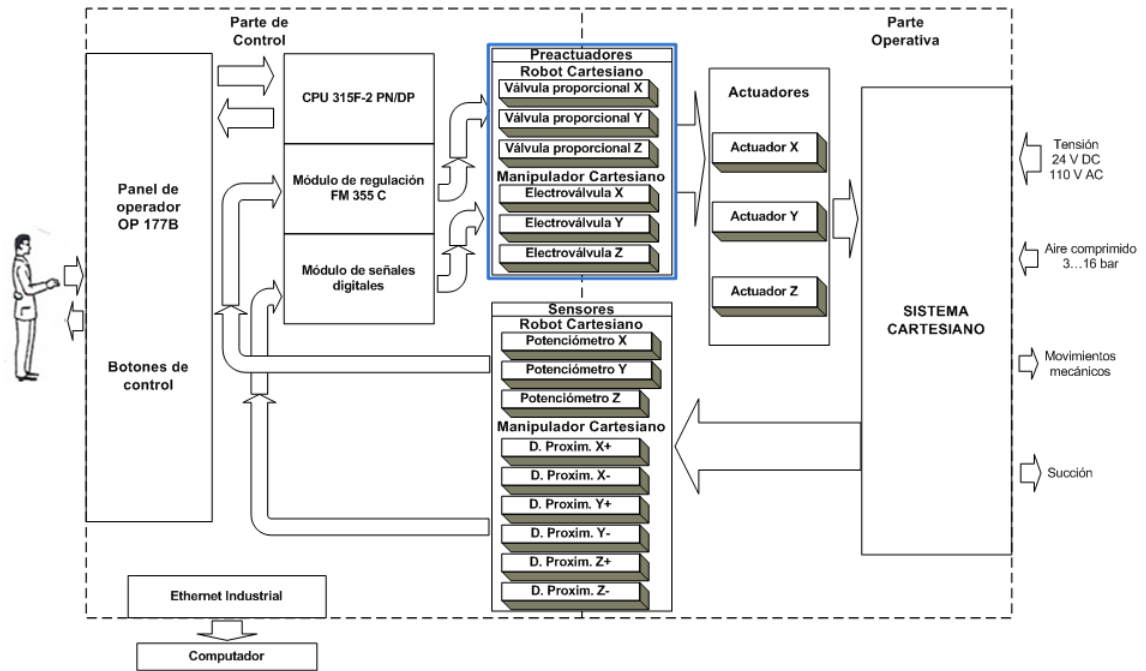


Como se observa en la figura 32 el cofre de control, tiene una óptima distribución de todos sus componentes, mostrando por un lado el tablero de preactuadores debidamente distribuidos y agrupados según su función y por el otro, el autómeta junto a la unidad de mantenimiento, y en un segundo nivel el panel de operador y los botones de control, también agrupados según su función.

Tanto el tablero de preactuadores, como el del autómeta y el de la HMI, son superficies desmontables, de modo que cuando se quiera seguir el cableado o cambiar algún componente se pueda hacer sin ningún inconveniente.

- **Preactuadores**

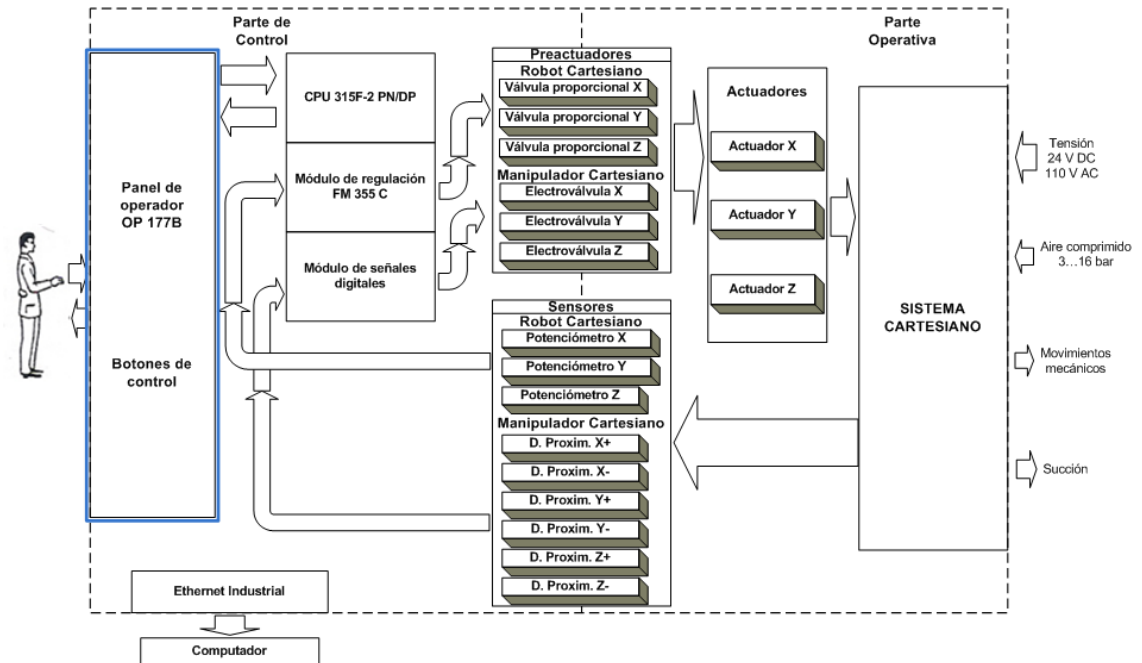
**Figura 33. Posición de los preactuadores en el modelo estructural**



Los preactuadores son los elementos que reciben las señales enviadas por el autómatas, las transforman y las envían a los actuadores para que estos ejecuten sus respectivas funciones, bien sea movimientos mecánicos en el caso de los actuadores lineales, o succión en el caso de la ventosa. A pesar de que los preactuadores no corresponden conceptualmente a la parte de control, están ubicados en el cofre de control y potencia para que el estudiante pueda observarlos y manipularlos cómodamente. En la figura 36 se muestra la distribución de los preactuadores en el tablero. En el siguiente capítulo se hará una completa descripción de cada preactuador.

- **Panel de operador y botones de control (HMI)**

**Figura 34. Posición del HMI en el modelo estructural**



Comprenden la interfaz HMI. El estudiante se comunica con el robot/manipulador cartesiano a través de esta. Tiene la posibilidad de operar el sistema desde el panel o desde los botones de control, o si lo desea puede combinarlos.

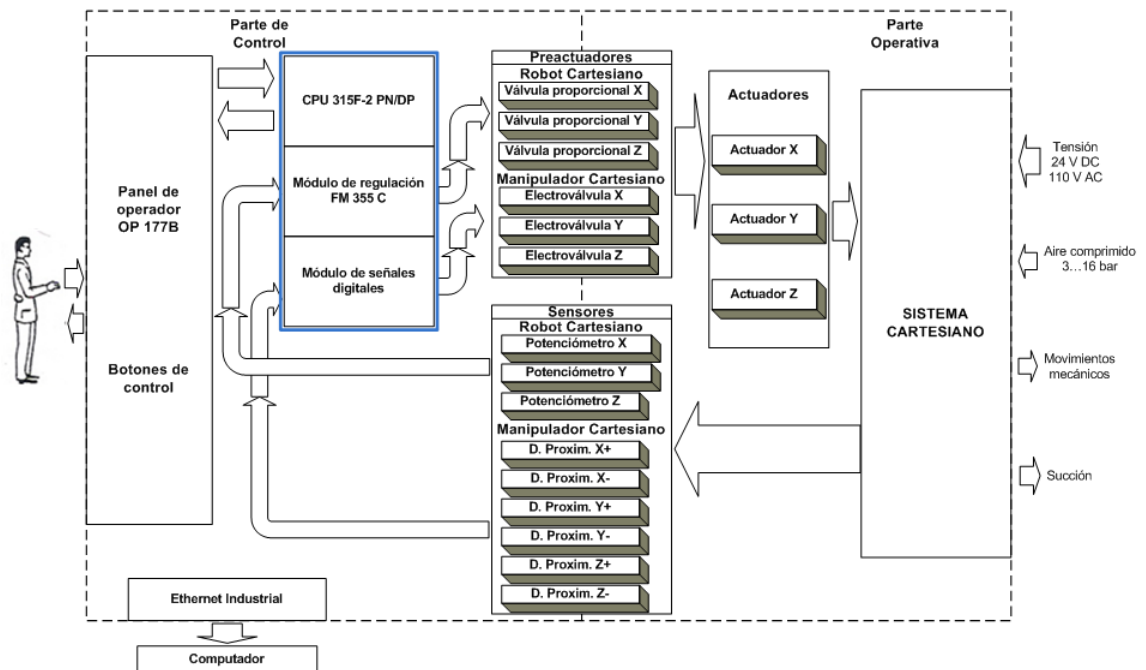
El panel es un equipo que puede operarse de modo touch screen o por medio de teclas. Presenta una interfaz grafica muy amigable para el estudiante. Es programado con WinCC FLEXIBLE.

Los botones de control presentan una interfaz muy sencilla y están distribuidos en el tablero de modo que el estudiante pueda familiarizarlos con los movimientos del robot con mucha facilidad.

Tanto el panel como el tablero de botones de control están descritos detalladamente en el capítulo 5 de este documento. En la figura 38 se muestra la distribución de la interfaz HMI.

- **Autómata Programable (Controlador)**

**Figura 35. Posición del controlador en el modelo estructural**



El autómata envía las señales a los preactuadores y recibe las provenientes de los sensores. Este es que hace el control del sistema, dependiendo de las señales recibidas. El autómata utilizado es un SIEMENS S7-300, con una CPU 315F-2 PN/DP, un módulo inteligente de regulación FM 355 C y otro de señales digitales. En el capítulo 5 se hace una descripción de este equipo.

El robot/manipulador cartesiano consta de varios elementos que han sido debidamente ubicados para que un estudiante pueda visualizarlo y operarlo de manera cómoda y eficiente.

Los elementos de la parte de control y el sistema cartesiano se encuentran en un solo frente, proporcionando así una mayor facilidad a la hora de su programación y operación. Los preactuadores se encuentran distribuidos en la parte posterior de la estructura.

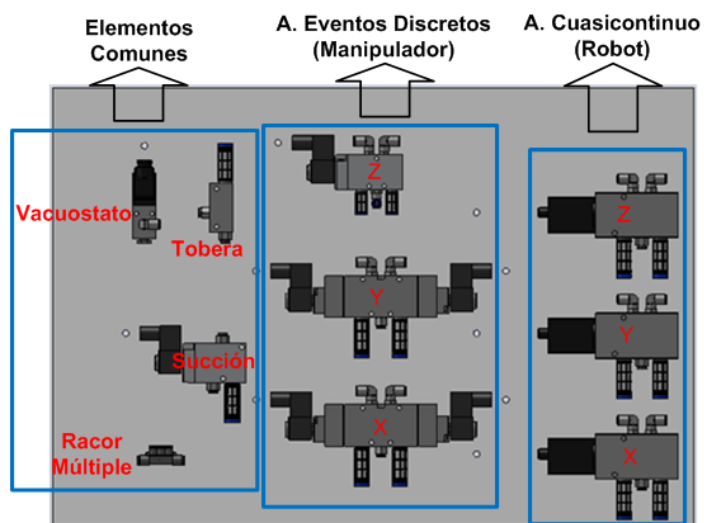
## 5. DISEÑO DEL ROBOT/CARTESIANO COMO SISTEMA AUTOMATIZADO (COFRE DE CONTROL Y POTENCIA)

Para el diseño del cofre de control y potencia, se tomó en cuenta la cantidad de elementos que debían ser distribuidos en éste y el espacio disponible.

Con el objetivo de seguir un orden de distribución, se colocaron todos los preactuadores en un frente y el autómata y la interfaz HMI en otro, aunque en superficies diferentes. Por la cantidad de preactuadores, en relación con el controlador y los elementos de la HMI, se diseñó la superficie de preactuadores de mayor tamaño que las otras dos. Teniendo en cuenta que la altura del cofre no debe superar la del robot/manipulador y que el ángulo de visión para que una persona trabaje de pie cómodamente debe ser aproximadamente de  $25^\circ$ , se diseñó la superficie de preactuadores y de la HMI con esta inclinación.

Para el diseño de la superficie de preactuadores, se tuvo en cuenta el espacio que necesita cada preactuador para su conexión y su función dentro del sistema para agruparlos.

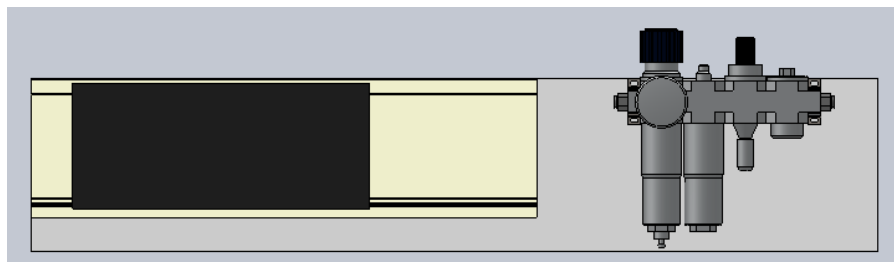
**Figura 36. Lámina de preactuadores**



Por cuestiones de espacio, se decidió montar el autómatas y la interfaz HMI en un solo frente, pero en dos superficies diferentes.

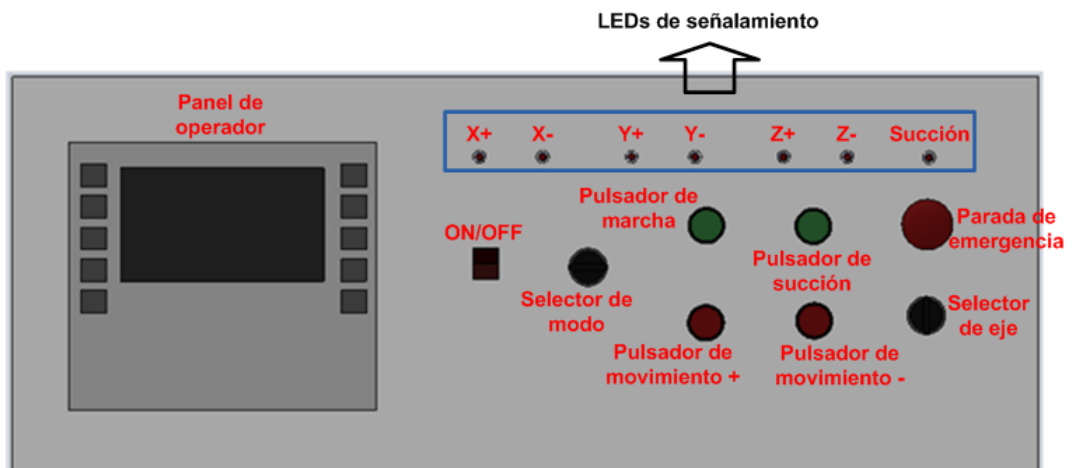
El autómatas se encuentra acompañado de la unidad de mantenimiento, que por cuestiones de espacio no fue ubicada con los demás preactuadores.

**Figura 37. Superficie de control (Autómatas y unidad de mantenimiento)**



La interfaz HMI se encuentra en un segundo nivel, debajo de la superficie de control. La distribución de los botones de control se hizo teniendo en cuenta su función dentro del sistema.

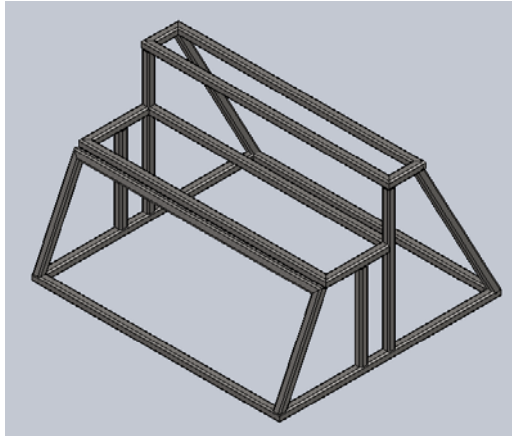
**Figura 38. HMI**



Tanto el tablero de preactuadores, como el del autómatas y el de la HMI, son superficies desmontables, de modo que cuando se quiera seguir el cableado o cambiar algún componente se pueda hacer sin ningún inconveniente.

Con estas condiciones dimensionales se hizo el diseño de la estructura del cofre. Para esto, se seleccionó y compró tubo cuadrado de 1 pulgada por 1/8 de espesor.

**Figura 39. Esqueleto de la estructura del cofre de control y potencia**



Las láminas laterales fueron soldadas a la estructura, mientras que las láminas donde se encuentran los preactuadores, el autómeta y la HMI fueron unidas con tornillos para asegurar que fueran desmontables.

**Figura 40. Frente de cofre de control y potencia**



**Figura 41. Parte posterior del cofre de control y potencia**



Para facilitar el cableado de los elementos, se instaló una lámina interna en donde está ubicado un conjunto de borneras. La función de las borneras, es servir de puente entre los preactuadores, los sensores y la HMI con el controlador y la fuente de voltaje. Para llevar los cables de manera ordenada desde los preactuadores, sensores, o HMI hasta el autómata, se implementaron canaletas al interior del cofre de control.

**Figura 42. Borneras y canaletas**



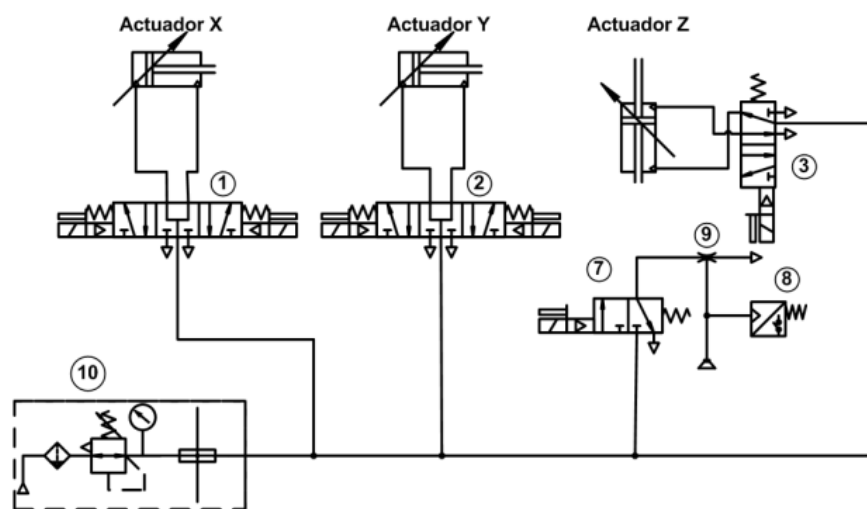
A continuación se describen todos los componentes que están incluidos en el cofre de control.

## 5.1 PRACTUADORES

Entre los preactuadores, hay algunos que son comunes a los dos modos de operación del sistema automatizado, robot y manipulador; mientras hay otros que son para una modalidad específica. A continuación se explicara detalladamente cada preactuador, clasificado según su funcionalidad en el sistema automatizado.

**5.1.1 Preactuadores presentes para modo de automatismo de eventos discretos (Manipulador cartesiano).** En la figura 43 se muestra el esquema del circuito neumático para el funcionamiento del sistema como automatismo de eventos discretos (manipulador cartesiano)

**Figura 43. Circuito neumático para modo de automatismo de eventos discretos**



1 y 2. Electroválvula MFH-5/3B-1/4-B

3. Electroválvula MFH-5-1/8
7. Electroválvula MFH-3-1/4
8. Vacuostato VPEV-1/8
9. Tobera aspiradora por vacío VAD-1/4
10. Unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD

• **Electroválvula MFH-5/3B-1/4-B:** fue seleccionada por su facilidad de conexión, es monoestable, y tiene tres posiciones. Su función es mover los actuadores del plano horizontal cuando se está operando como automatismo de eventos discretos. En el circuito neumático de la figura 43 corresponde a los elementos 1 y 2. Los cables de control de la electroválvula que controla el eje X están marcados con los códigos V11 y V12; mientras los de la electroválvula que controla el eje Y están marcados con los códigos V21 y V22. Presenta las siguientes características:

- Válvula de 5/3 vías monoestable
- Tipo de accionamiento: eléctrico
- Tipo de reposición: muelle mecánico
- Tipo de control: prepilotado
- Sentido de flujo: no reversible
- Presión de funcionamiento: 3...10 bar
- Caudal nominal: 1600 l/min
- Tiempo de conmutación de conexión: 34 ms
- Tiempo de conmutación de desconexión: 30 ms
- Tensión de funcionamiento de la bobina: 24 [V DC]
- Conexión
- ✓ Rojo: Señal
- ✓ Negro: 0 V
- ✓ Café: Tierra
- Esquema

Figura 44. Esquema de electroválvula MFH-5/3B-1/4-B

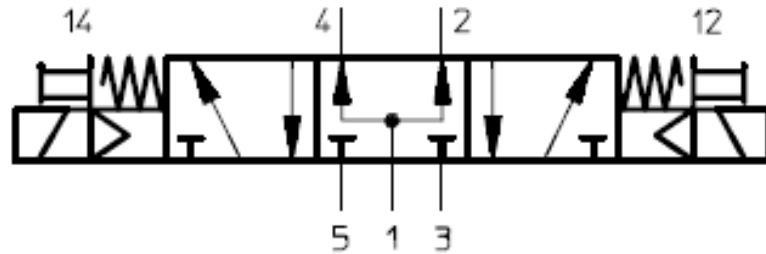
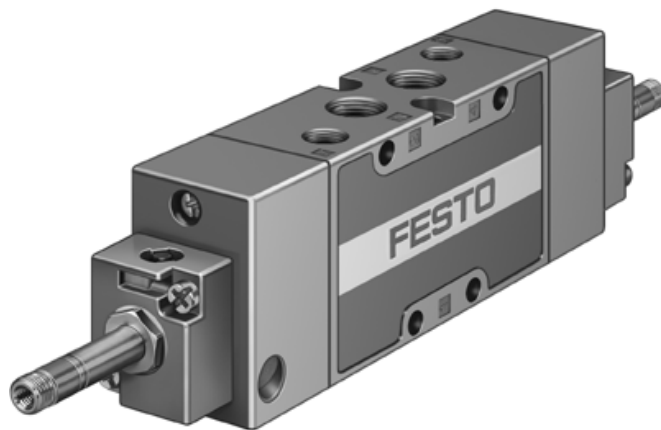


Figura 45. Electroválvula MFH-5/3B-1/4-B

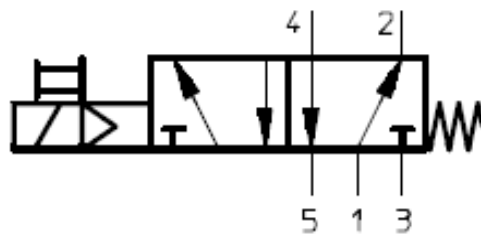


- **Electroválvula MFH-5-1/8:** seleccionada por su fácil conexión, permite ver al estudiante el funcionamiento de otro preactuador para el control de un automatismo de eventos discretos. Es usada para mover el actuador posicionado (efector vertical) cuando se está operando como manipulador. En la figura 43 corresponde al elemento 3. Los cables de control de esta electroválvula están marcados con el código V3. Tiene las siguientes características:

- Válvula de 5/2 vías monoestable
- Tipo de accionamiento: eléctrico
- Tipo de reposición: muelle mecánico
- Tipo de control: prepilotado
- Presión de funcionamiento: 1.8...8 bar

- Caudal nominal normal: 500 l/min
- Tiempo de conmutación de conexión: 8 ms
- Tiempo de conmutación de desconexión: 36 ms
- Tensión de funcionamiento de la bobina: 24 [V DC]
- Conexión
- ✓ Rojo: Señal
- ✓ Negro: 0 V
- ✓ Café: Tierra
- Esquema

**Figura 46. Esquema de electroválvula MFH-5-1/8**

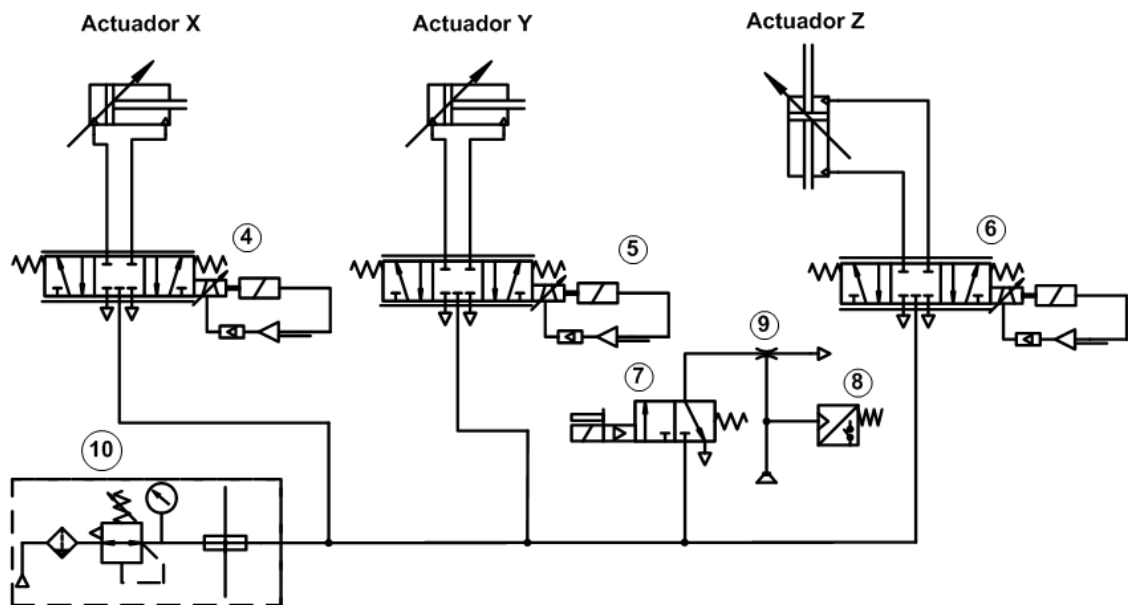


**Figura 47. Electroválvula MFH-5-1/8**



### 5.1.2 Preactuadores presentes para modo de automatismo cuasicontínuo (Robot cartesiano).

Figura 48. Circuito neumático para modo de automatismo cuasicontínuo



4, 5 y 6. Válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B

7. Electroválvula MFH-3-1/4

8. Vacuostato VPEV-1/8

9. Tobera aspiradora por vacío VAD-1/4

10. Unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD

- **Válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B:** tiene una corredera regulada en función de la posición. Esta válvula modifica la sección de sus salidas en función de una señal analógica de entrada. En combinación con un regulador externo de posiciones y un sistema de medición de recorrido, es posible obtener un sistema de posicionamiento neumático preciso. La señal de corriente depende de la posición del potenciómetro en cada eje. Función de estrangulación para variar la

velocidad del cilindro; además, es una válvula de 5/3 vías para variar el sentido de movimiento.

Son usadas para mover los tres actuadores cuando el sistema está operando como automatismo cuasicontínuo. En la figura 48 corresponde a los elementos 4, 5 y 6. El cable de control de las válvulas que controlan los ejes X, Y y Z están marcados con los códigos M1, M2 y M3 respectivamente. Tiene las siguientes características:

- Tipo de accionamiento: eléctrico
- Tipo de reposición: muelle magnético
- Medidas de seguridad: en caso de una ruptura del cable de alimentación, avanza a la posición intermedia bloqueada
- Tipo de control: directo
- Sentido de flujo: no reversible
- Presión de funcionamiento: 0...10 bar
- Caudal nominal normal: 1400 l/min
- Tensión de funcionamiento: 17...30 [V DC]
- Grado de filtración de aire: 5 µm
- Entrada de valor nominal como señal analógica de tensión: 0...10 V
- Entrada de señal analógica como señal analógica de corriente: 4...20 mA
- Conexión eléctrica: conector forma redondo M12x1, 4 contactos
- ✓ Café: Alimentación 24 [V DC]
- ✓ Blanco: tierra (24 [V DC])
- ✓ Verde: señal
- ✓ Amarillo: Tierra (señal)
- Esquema

Figura 49. Esquema de válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B

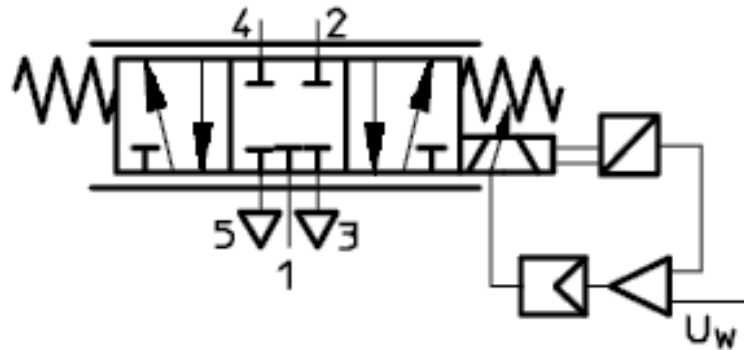


Figura 50. Válvula proporcional MPYE-5-1/4-420-B

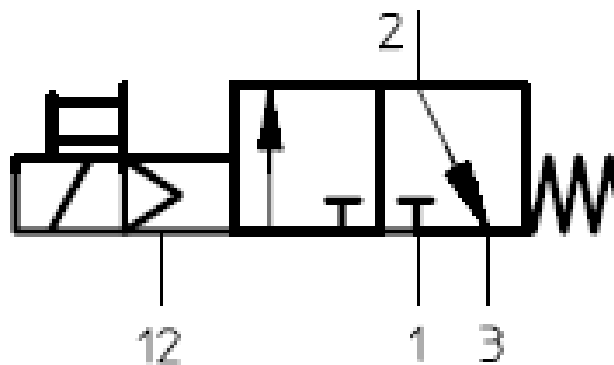


### 5.1.3 Preactuadores comunes a los dos modos de operación.

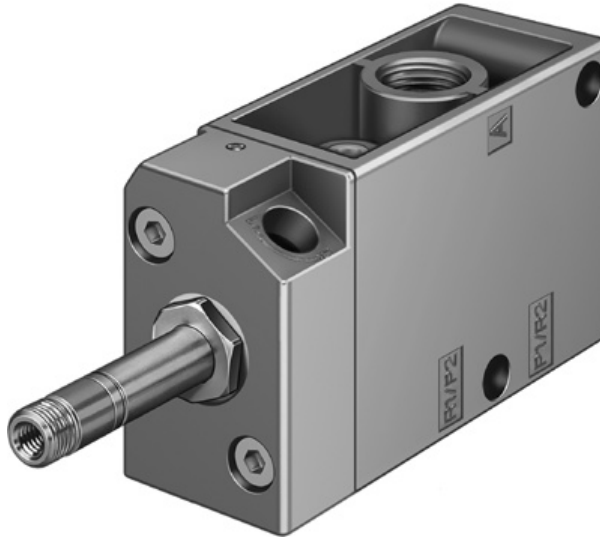
- **Electroválvula MFH-3-1/4:** fue seleccionada por su facilidad de montaje y manejo, además, es necesaria una válvula de 3/2 vías para abrir o cerrar el paso de aire en la vía de succión. En las figuras 43 y 48 corresponde al elemento 7. Los cables de control que controlan la electroválvula de succión, están marcados con el código V4. Tiene las siguientes características:

- Válvula monoestable normalmente cerrada
- Tipo de accionamiento: eléctrico
- Tipo de reposición: muelle mecánico
- Tipo de control: prepilotado
- Sentido de flujo: no reversible
- Presión de funcionamiento: 1.5...8 bar
- Caudal nominal normal: 800 l/min
- Tiempo de conmutación de conexión: 10 ms
- Tiempo de conmutación de desconexión: 29 ms
- Tensión de funcionamiento: 12, 24, 42, 48 [V DC]
- Conexión
- ✓ Rojo: Señal
- ✓ Negro: 0 V
- ✓ Café: Tierra
- Esquema.

**Figura 51. Esquema de electroválvula MFH-3-1/4**



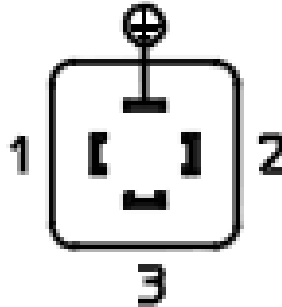
**Figura 52. Electroválvula MFH-3-1/4**



- **Vacuostato VPEV-1/8:** fue seleccionado para generar una presión negativa y crear succión en la ventosa. En las figuras 43 y 48 corresponde al elemento 8. Los cables que controlan el vacuostato están marcados con el código V. Tiene las siguientes características:

- Tensión de funcionamiento: 0...125 [V DC]
- Presión de funcionamiento: -1...+1.6 bar
- Método de medición: convertidor neumático – eléctrico
- Funcionamiento de elemento de maniobra: conmutador
- Indicación de estado de conmutación: LED amarillo
- Conexión
- ✓ Rojo: alimentación 24 [V DC]
- ✓ Negro: Tierra
- ✓ Azul: Contacto normalmente abierto

**Figura 53. Conmutador del vacuostato**



1. +(-)
2. Contacto cerrado en reposo
3. Contacto abierto en reposo

**Figura 54. Vacuostato VPEV-1/8**



- **Tobera aspiradora por vacío VAD-1/4:** es el complemento del sistema de succión. En las figuras 43 y 48 corresponde al elemento 9. Tiene las siguientes características:

- Vacío máximo: 80%

- Funciona bajo el principio Venturi

**Figura 55. Tobera**

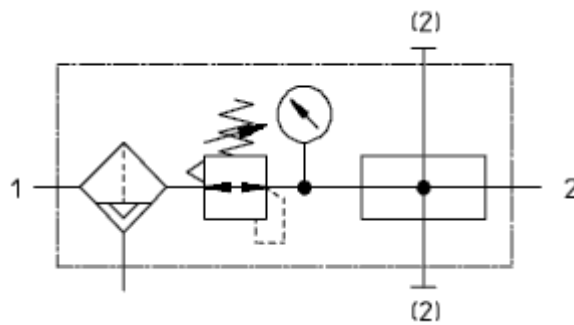


- **Unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD:** es la unidad encargada de filtrar el aire proveniente de la línea de aire comprimido del laboratorio para que este entre al sistema. Tiene un secador de membrana que reduce la humedad del aire a niveles muy bajos, reduciendo los trabajos de mantenimiento. Además, tiene una bobina para accionarla eléctricamente. En las figuras 43 y 48 corresponde al elemento 10. Tiene las siguientes características:

- Unidad de filtro y regulación
- Posición de montaje: vertical +/- 5°
- Grado de filtración principal: 40 µm
- Grado de filtración secundario: 5 µm
- Indicador de presión: con manómetro
- Margen de regulación de la presión: 2.5... 12 bar
- Presión de entrada: 3.5... 16 bar
- Caudal nominal normal: 730 l/min
- Válvula de cierre con bobina de 24 [V DC]
- Válvula de arranque progresivo

- Conexión
- ✓ Negro 1: Señal
- ✓ Negro 2: 0 V
- ✓ Amarillo: Tierra
- Esquema

**Figura 56. Esquema de unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD**



**Figura 57. Unidad de mantenimiento LFR-1/4-D-MINI-KD**



## 5.2 AUTÓMATA PROGRAMABLE

Por la cantidad y variedad de señales a manejar en tiempo real, es necesario un autómata (PLC) con gran velocidad de procesamiento; por este motivo se seleccionó un PLC gama media, un SIEMENS S7-300. Gracias a que este tipo de PLC tiene una configuración modular, es posible componerlo de forma personalizada según la necesidad, usando los módulos disponibles para los S7-300. Además, este PLC puede aplicarse de forma aislada, interconectado en red o en configuraciones descentralizadas y tiene destacadas prestaciones de tiempo real y potentes posibilidades de comunicación (PPI, PROFIBUS-DP, AS-Interface).

En vista de que el PLC durante el funcionamiento del robot tiene que manejar gran cantidad de señales en tiempo real, se tomó la decisión de seleccionar, comprar y conectar un módulo inteligente de regulación FM 355C. En el ANEXO A se presentan detalles de este módulo.

La función de las válvulas proporcionales exige una alta velocidad de procesamiento por parte del autómata para dar una respuesta precisa y dinámica. Con este módulo es posible satisfacer estos requerimientos, ya que funciona con una CPU independiente, lo que permite utilizar la memoria del autómata para las demás operaciones del sistema.

Las principales características del módulo FM 355C son:

- Módulo de regulación inteligente de 4 canales para aplicaciones de regulación universal
- Aplicables para lazos de regulación de temperatura, presión, caudal, posición y nivel de llenado
- Cómoda función de autooptimización en línea para lazos de regulación de temperatura

- Estructuras de regulación preprogramadas
- 2 algoritmos de regulación
- 2 variantes:
  - FM 355 C como regulador de acción continua
  - FM 355 S como regulador discontinuo o con salida modulada por ancho de impulsos
- Con 4 salidas analógicas (FM 355 C) ó 8 salidas digitales (FM 355 S) para el control directo de actuadores comunes
- Continuación del servicio de regulación incluso con parada o fallo de la CPU  
Se escogió una CPU 315F-2 PN/DP por su compatibilidad con el módulo FM 355 y su velocidad de procesamiento. Algunas de las características de esta CPU son:
  - Memoria:
    - Memoria de trabajo: 384 KB
  - Tiempos de ejecución:
    - Operación de bits: 0.05  $\mu$ s
    - Operación de palabra: 0.09  $\mu$ s
    - Operación de coma fija: 0.12  $\mu$ s
    - Operación de coma flotante: 0.45  $\mu$ s
- Para el funcionamiento de la CPU se requiere una Micro Memory Card  
Adicionalmente, se colocó un modulo de señales digitales para el manejo del sistema como manipulador cartesiano.

**Figura 58. Autómata**



### **5.3 PANEL DE OPERADOR.**

El panel de operador OP 177B permite utilizar de forma eficiente los proyectos basados en textos o gráficos para realizar tareas de manejo y visualización simples o medianas en sistemas como el desarrollado en este proyecto. Este panel se puede manejar, no solo desde el teclado, sino también con la pantalla táctil. Es posible configurar que las teclas de función conmuten a teclas del sistema específicas. El funcionamiento de este panel es óptimo para proyectos basados en WinCC Flexible. En el ANEXO B se presentan detalles de este panel

Tiene las siguientes características:

- La unidad de entrada estándar del panel de operador es la pantalla táctil. Todos los objetos de control necesarios para la operación se representan en la pantalla táctil después de arrancar el panel de operador.
- Pueden realizarse entradas con las teclas de función F1 a F14 y K1 a K18. Durante la configuración se define qué función tendrán las teclas de función. Si no hay ningún proyecto abierto, las teclas de función carecerán de función.
- Datos eléctricos

**Tabla 4. Datos eléctricos Panel de operador OP 177 B**

Tensión nominal	+24 V DC
Rango admisible	20.4 a 28.8 V DC (-15%, +20%)
Transitorios, máximo admisible	35 V DC (500 ms)
Tiempo entre dos transitorios, mínimo	50 s
Consumo de corriente	
<ul style="list-style-type: none"> <li>típico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aprox. 300 mA</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>corriente continua máxima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aprox. 500 mA</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>impulso de corriente de conexión <math>I^2t</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aprox. 0.5 A<sup>2</sup>s</li> </ul>
fusible interno	Electrónico

**Figura 59. Panel de operador OP 177B**



## **5.4 BOTONES DE CONTROL**

Con el fin de hacer una interfaz HMI más completa y más amigable para el estudiante, se tomó la decisión de colocar un grupo de botones para desarrollar y/o complementar tareas de control en el robot/manipulador. Por medio de estos botones se pretende que el estudiante pueda realizar prácticas sin utilizar el panel o complementar las implementadas en este.

La distribución de los botones de control se muestra en la figura 38.

## **6. CONSTRUCCION DE SISTEMA AUTOMATIZADO ROBOT/MANIPULADOR CARTESIANO**

Con el diseño definido, se procedió a la fabricación de las partes necesarias para ensamblar el sistema automatizado. Durante el ensamblaje, la idea principal es mantener el diseño sin modificaciones, manteniendo el paralelismo y la linealidad en la estructura.

### **6.1 SISTEMA CARTESIANO**

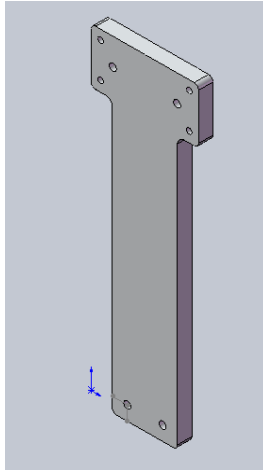
El sistema cartesiano fue construido con los elementos mencionados en el capítulo 3. Gracias a la facilidad de ensamblaje de estos componentes no hubo contratiempos en esta construcción. Estos actuadores neumáticos están diseñados de manera que su ensamble con otros actuadores del mismo tipo se haga rápidamente.

Para construir el sistema bidimensional mostrado en la figura 9, simplemente se unieron los actuadores por medio de tornillos y piezas de sujeción que hacen parte de los mismos actuadores.

Como el actuador seleccionado para el eje Z es diferente a los actuadores del sistema bidimensional, se buscaron y diseñaron opciones para el ensamble de este. Estas alternativas fueron estudiadas en el capítulo 3. Finalmente se tomó la decisión de ensamblar el actuador posicionado con el sistema bidimensional por medio de pies de fijación.

Para utilizar los pies de fijación fue necesario diseñar una placa en aluminio fundido. El molde para fundir esta placa fue construido en madera.

**Figura 60. Lámina para la unión del sistema bidimensional con el actuador posicionado**

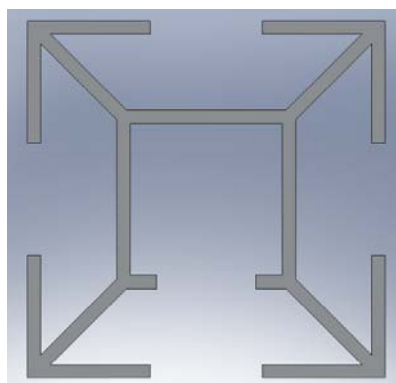


## **6.2 ESTRUCTURA PRINCIPAL**

La estructura fue diseñada y construida teniendo en cuenta consideraciones de carga, ergonómicas y estéticas.

Cada viga y cada columna de la estructura está conformada por la unión de varios perfiles. Estos fueron unidos por medio de tornillos.

**Figura 61. Sección transversal del perfil utilizado para la estructura**



La estructura está compuesta básicamente de la siguiente manera:

- Columnas y vigas construidas con perfiles
- Piezas de sujeción
- Mesas de trabajo
- Pies niveladores

**6.2.1 Columnas y vigas construidas con perfiles.** Para la creación de la estructura, es necesario que los cortes del perfil se hagan con gran exactitud, debido a que para cada viga y cada columna de la estructura se unieron varios perfiles para dar rigidez a cada parte. Para garantizar la igualdad en el corte de los perfiles, se siguieron los siguientes pasos:

- Se cortó cada perfil individualmente, con una longitud un poco mayor a la definida en el diseño.
- Se unieron con tornillos los perfiles necesarios para formar la viga o la columna.
- Se cortaron nuevamente, pero esta vez se corto el bloque de perfiles unidos a la longitud establecida en el diseño.

En la tabla 5 se muestran las características de las columnas y vigas construidas con perfiles.

**Tabla 5. Descripción de elementos construidos con perfil**

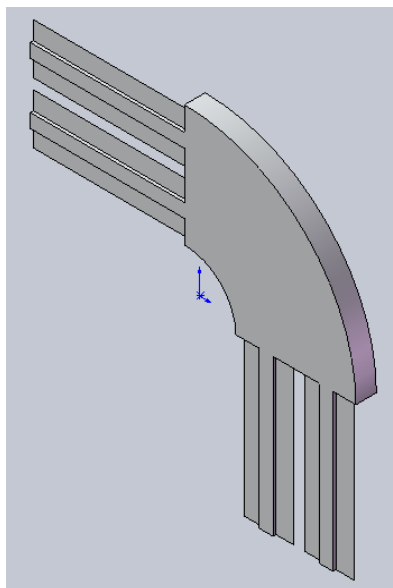
DESCRIPCION	CANTIDAD DE ELEMENTOS	CANTIDAD DE PERFILES	LONGITUD [mm]	MODO DE UNION
Columna para soporte de sistema cartesiano	4	4	1100	Cuadrado
Columna para soporte de parte de control	2	4	707	Cuadrado
Viga para soporte de sistema cartesiano	2	4	665	Cuadrado
Viga lateral superior	3	3	725	Línea
Viga lateral inferior	3	2	725	Línea
Viga frontal superior - parte operativa	2	3	807	Línea
Viga frontal inferior - parte operativa	2	2	807	Línea
Viga frontal superior - parte de control	2	3	800	Línea
Viga frontal inferior - parte de control	2	2	800	Línea

**6.2.2 Piezas de sujeción.** Con el fin de unir las columnas con las vigas fue necesario hacer el diseño y mecanizado de algunas piezas en aluminio. Estas, fueron fundidas, mecanizadas y pulidas. Se hizo el diseño de 3 tipos de piezas.

- Pieza para unir los soportes del sistema cartesiano
- Soporte de vigas superiores e inferiores
- Soporte para vigas superiores y mesas de trabajo
- Pieza para ensamblar los pies niveladores

**6.2.2.1 Pieza para unir los soportes del sistema cartesiano.** Esta pieza, fue diseñada con el fin de dar un aspecto más atractivo visualmente a la unión entre las columnas y las vigas que soportan el sistema cartesiano. Para garantizar la perpendicularidad entre las salientes de la pieza, esta fue fundida y mecanizada en el laboratorio FMS (Sistemas Flexibles de Manufactura) con la máquina de control numérico computarizado (CNC).

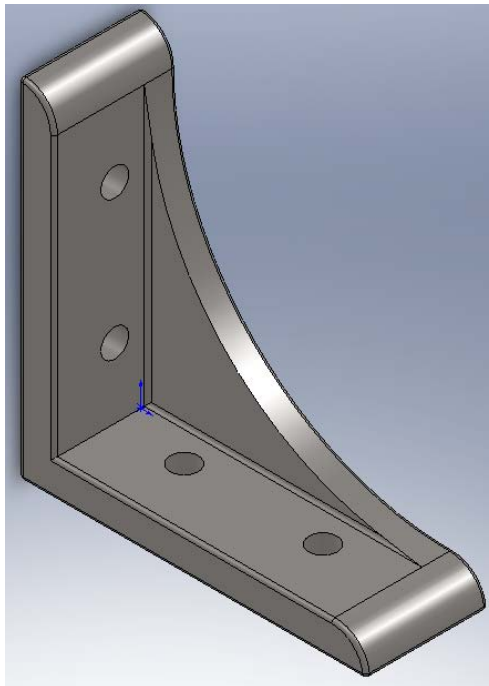
**Figura 62. Pieza para unir los soportes del sistema cartesiano**



Esta pieza fue diseñada de modo que sus salientes encajen en el grupo de perfiles garantizando un ángulo de 90° entre ellos

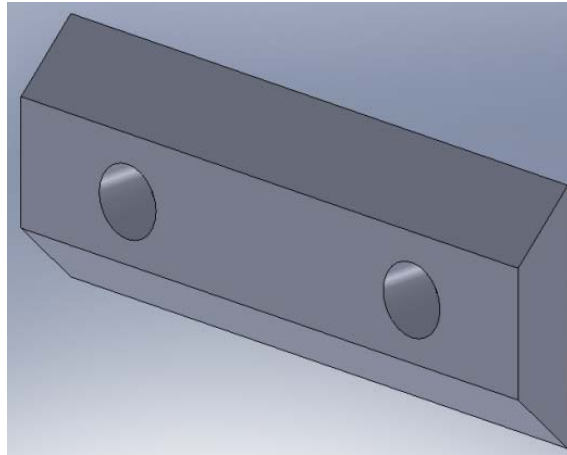
**6.2.2.2 Soporte de vigas superiores e inferiores.** Esta pieza fue diseñada con el fin de unir y garantizar el ángulo recto entre las vigas y las columnas, además, da un aspecto estético a esta unión. El molde para fundir esta pieza fue hecho en madera.

**Figura 63. Soporte de vigas superiores e inferiores**



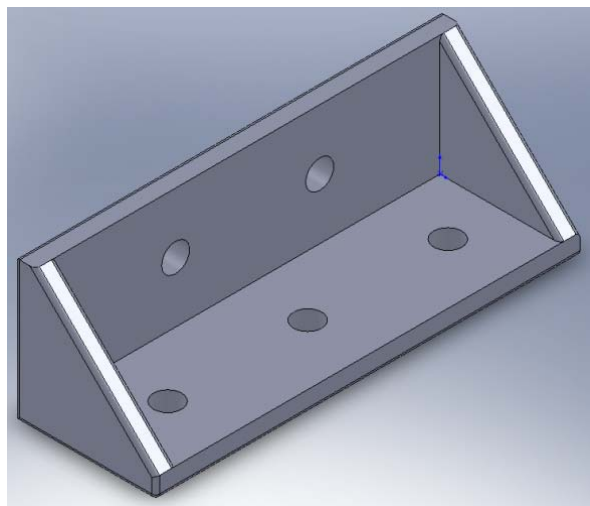
Esta pieza está unida a los perfiles por medio de tornillos. Para hacer esto, se diseñaron y mecanizaron tuercas biseladas que encajan dentro de los perfiles.

**Figura 64. Tuerca biselada**



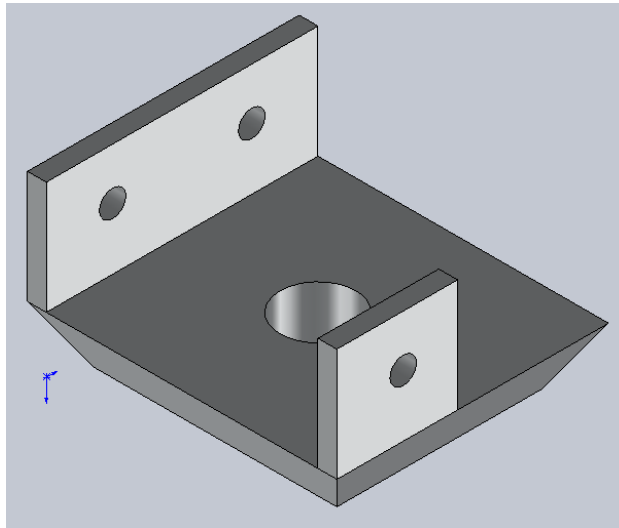
**6.2.2.3 Soporte para vigas superiores y mesas de trabajo.** Esta pieza fue diseñada para dar mas rigidez a la estructura. Fueron colocadas en la interseccion entre las columnas y las vigas debajo de las mesas de trabajo. El molde para fundir esta pieza, fue hecho en madera.

**Figura 65. Soporte para vigas superiores y mesas de trabajo**



**6.2.2.4 Pieza para ensamblar los pies niveladores.** Esta pieza se diseño con el fin de unir la estructura con los pies niveladores. El molde fue hecho en madera y luego fue fundido.

**Figura 66. Pieza para ensamblar pies niveladores**



**6.2.3 Mesas de trabajo.** Las mesas de trabajo se hicieron en madecor aluminizado. Se tomó esta decisión, ya que las láminas de madecor son resistentes y dan una buena apariencia a la estructura. Además, es una alternativa muy llamativa desde el punto de vista económico, en comparación con la opción de la mesa en lámina de acero.

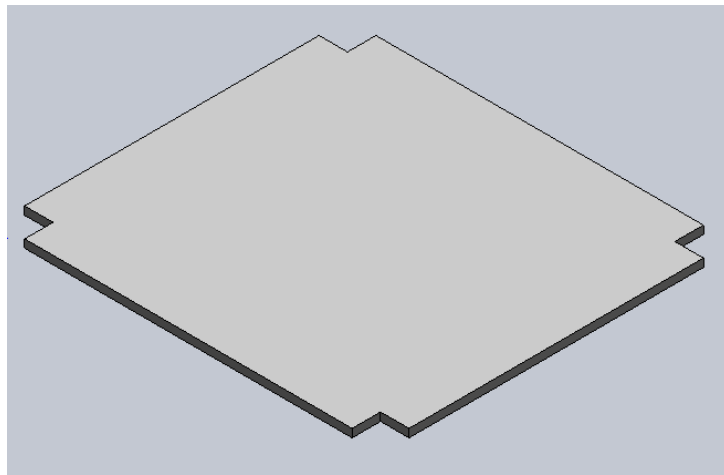
El madecor es una lámina de tablex recubierta con un decorativo melamínico por las dos caras, el cual es termofundido al sustrato de madera, formando una lámina compacta.

Con el fin de que los cortes de las láminas de madecor quedaran exactos, se hicieron unas plantillas en carton cartulina, luego fueron pegadas por detrás de la

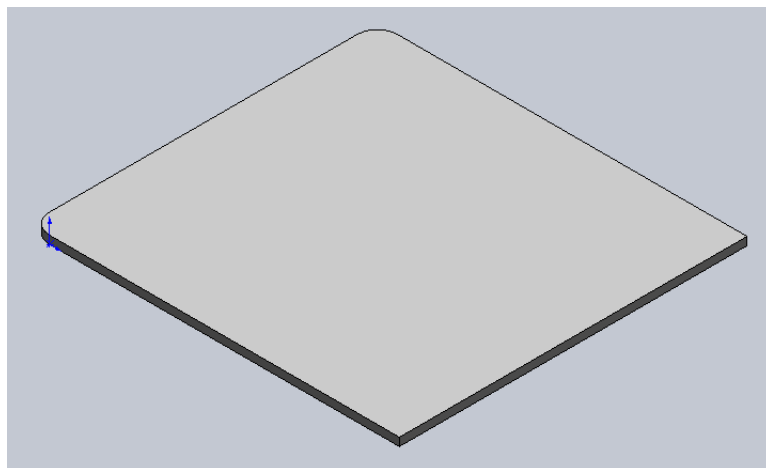
lámina de madecor y cortadas en el taller de carpintería de la escuela de Diseño Industrial.

Dado que el lado de la lámina queda color madera, se optó por añadirle madecanto, una cinta protectora y de acabado en PVC utilizada industrialmente para el terminado final de los cantos de los laminados decorativos.

**Figura 67. Mesa de trabajo del sistema cartesiano**



**Figura 68. Mesa de trabajo del cofre de control y potencia**



**6.2.4 Pies niveladores.** Con el fin de garantizar que el robot esté libre de vibraciones por causa de desniveles en el lugar donde se ubique, se seleccionaron y colocaron seis pies niveladores. En su parte inferior, estos pies tienen una superficie de caucho para que la estructura no se pueda deslizar.

**Figura 69. Pies niveladores**



### **6.3 COFRE DE CONTROL Y POTENCIA**

Teniendo en cuenta los detalles de las superficies que conforman el cofre de control y potencia mencionados en el capítulo 5, se construyó este cofre.

En primer lugar se diseñó y construyó la estructura base de éste. Esta estructura fue construida con tubo cuadrado de 1 pulgada por 1/8 de espesor. Este tubo fue cortado y soldado formando la estructura mostrada en la figura 39. El tubo fue cortado y soldado en el taller de la escuela de Ingeniería Mecánica.

Las láminas laterales fueron dobladas en los lados para dar rigidez a la superficie y posteriormente fueron soldadas a la estructura, mientras las láminas donde se encuentran los preactuadores, el autómatas y la HMI fueron unidas por medio de tornillos; estas láminas, también fueron dobladas en los extremos para dar rigidez a las superficies. Las labores de construcción del cofre de control fueron realizadas en su totalidad en el taller de la escuela de Ingeniería Mecánica.

Para facilitar el cableado de los elementos, se instaló internamente una lámina en donde se encuentra un conjunto de borneras, utilizadas para hacer un puente entre los señores, preactuadores o HMI y el autómatas o la fuente de 24 V. En el ANEXO C se encuentra el detalle de la organización de las borneras.

Para dar una apariencia más estética, el cofre de control fue pintado con pintura electrostática.

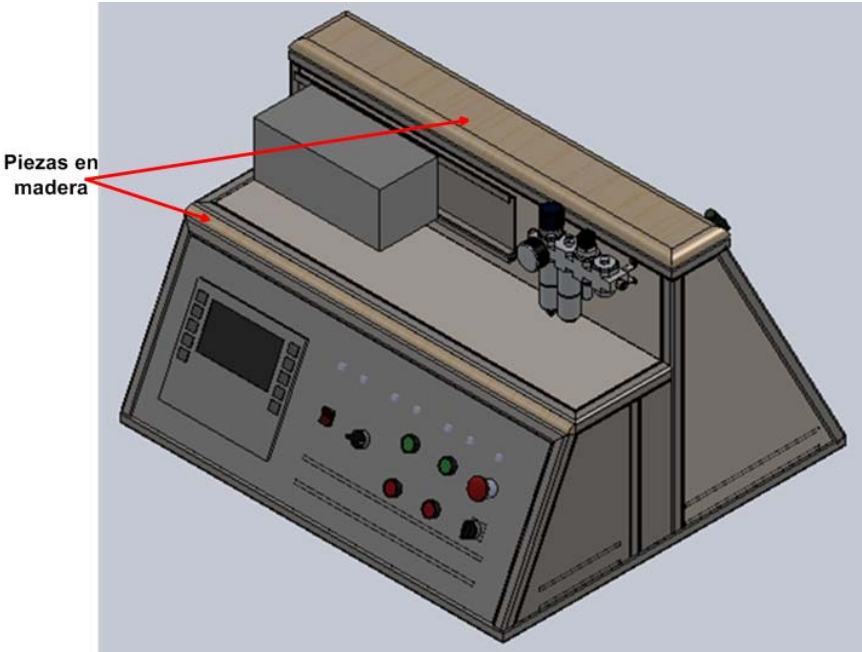
Posteriormente, se adjuntaron unas canaletas para el transporte de los cables de control desde los preactuadores, los sensores y la HMI hasta las borneras (Figura 42).

El cofre de control y potencia se unió a la estructura total por medio de tornillos a la mesa de trabajo. Para el paso de los cables de los sensores hacia el interior del cofre de control, se hicieron tres huecos al lado del cofre que está junto al sistema cartesiano. De igual manera, se perforó la lámina ubicada debajo del autómatas con el fin de pasar por ahí el grupo de cables que van de las borneras al PLC, el cable de red que comunica al autómatas con el panel y el cable de la unidad de mantenimiento.

Para llevar el cable que alimenta eléctricamente el robot/manipulador, se hizo un hueco al costado del cofre de control que está al extremo de la estructura.

Para finalizar y darle un aspecto más estético, se colocaron piezas de madera en la parte superior y en la unión entre la lámina de la HMI y la lámina horizontal.

**Figura 70. Piezas de madera sobre el cofre de control**



## 7. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PRÁCTICAS DE CARÁCTER BASICO PARA EL HARDWARE DE CONTROL S7-300

### 7.1 PROGRAMACIÓN DEL HARDWARE DE CONTROL

El hardware de control del S7-300 en STEP 7 para el robot/manipulador cartesiano consta básicamente de una fuente PS 307 2A, la CPU 315F-2 PN/DP, el modulo de señales digitales DI16/D016x24V/0.5A y el modulo inteligente de regulación de señales analógicas FM 355C PID Control. Con este hardware se puede programar el sistema como automatismo de eventos discretos o como automatismo cuasicontinuo.

**Figura 71. Hardware de control**

Slot	Módulo	Ref...	Fl...	D...	D...	D...	Comentario
1	PS 307 2A	6ES7 307-1EA00-0AA0					
2	CPU 315F-2 PN/DP	6ES7 315-6EG03-0AB0	2	2047	2046	2045	
X1	MPI/DP						
X2	PN-IO						
X2 P1	Puerto 1						
3							
4	DI16/D016x24V/0.5A	6ES7 321-1BH03-0AA0		0...1	0...1		
5	FM 355 C PID Control	6ES7 355-1EX02-0AB0		272...	272...		
6							
7							

## **7.2 IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE CARÁCTER BÁSICO PARA AUTOMATISMO DE EVENTOS DISCRETOS**

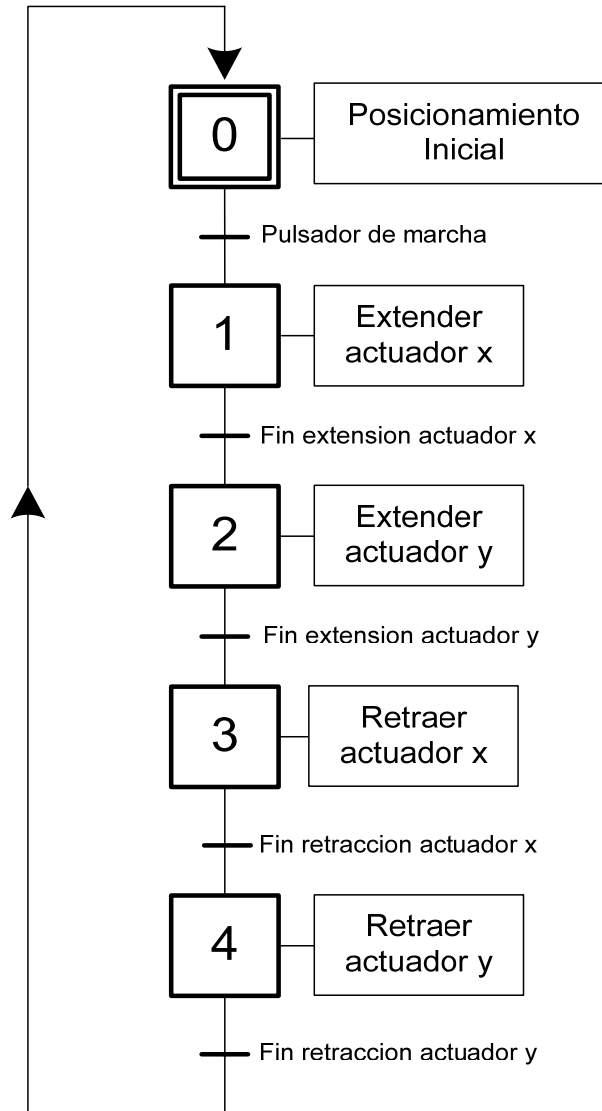
Las prácticas del sistema como automatismo de eventos discretos (manipulador cartesiano) se realizaron con el fin de mostrar la programación para tareas básicas, que servirán en un futuro como base para hacer secuencias más extensas y complejas.

Para llevar a cabo cualquier secuencia de carácter básico el robot cuenta con un pulsador de marcha y finales de carrera que pueden identificar el avance o retroceso total de los actuadores.

**7.2.1 Primera práctica (automatismo de eventos discretos).** Se plantea un movimiento básico de los dos actuadores del plano horizontal del sistema cartesiano siguiendo la siguiente secuencia: extensión eje X, extensión eje Y, retracción eje X, retracción eje Y.

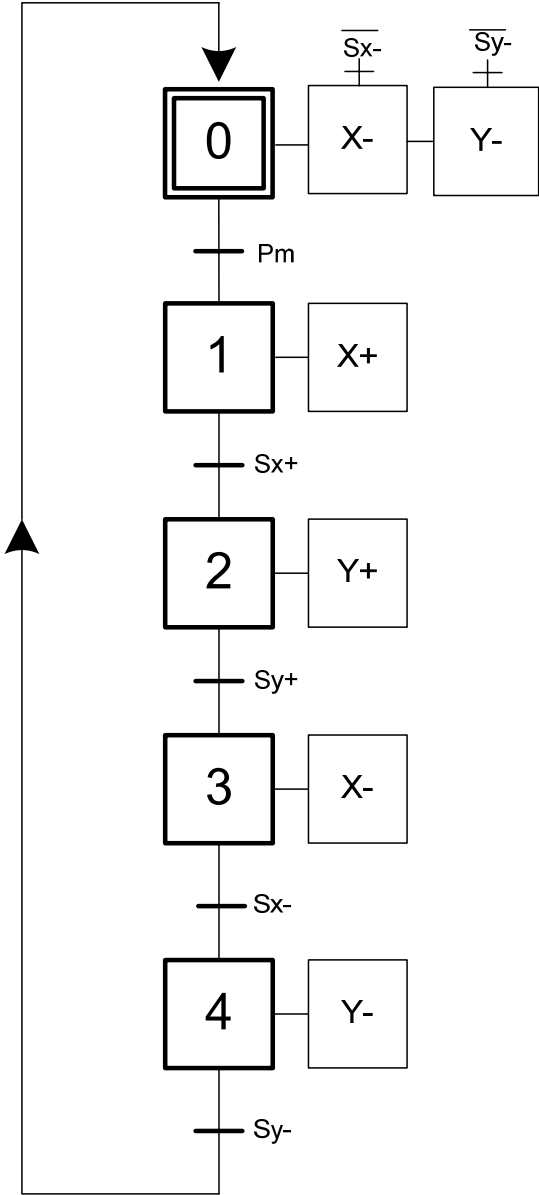
De acuerdo a las especificaciones de la secuencia planteada se desarrolla el GRAFCET de nivel 1 mostrado en la figura 72.

Figura 72. GRAFCET de nivel 1



Basado en el GRAFCET de nivel 1 se desarrolla el GRAFCET de nivel 2 mostrado en la figura 73.

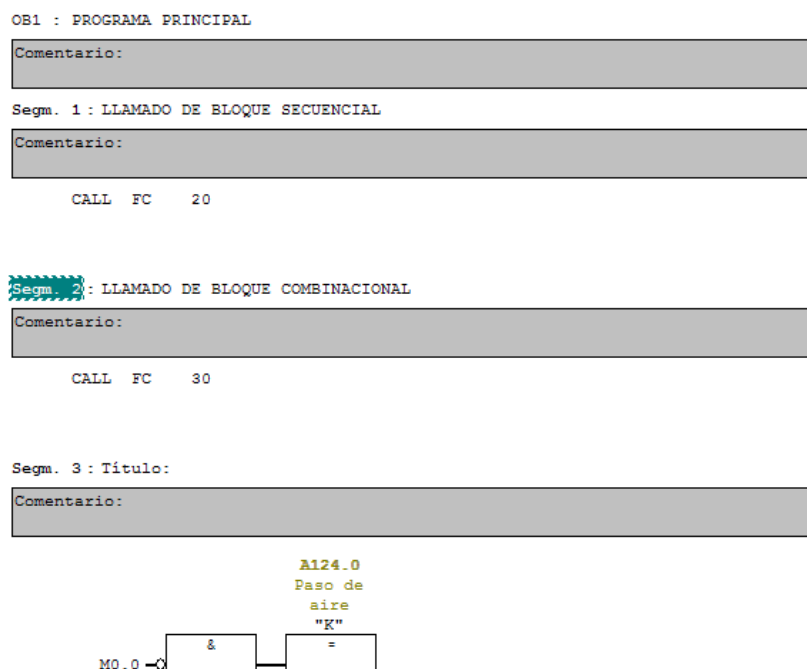
Figura 73. GRAFCET de nivel 2



Como muestra el GRAFCET de nivel 2 en su etapa inicial, para empezar la secuencia deben estar activos los sensores Sx- y Sy-, lo que indica que los actuadores están retraídos, de lo contrario el sistema los retrae para establecer su posición inicial. En este punto el robot se encuentra listo para recibir una orden de arranque con el pulsador de marcha. Cuando el primer movimiento de la secuencia se ejecute, se activará el sensor Sx+, correspondiente a la posición X+. Con esta condición, el actuador correspondiente al eje Y, inicia su movimiento; cuando éste termine, se activará el sensor Sy+, correspondiente a la posición Y+. Condición que permitirá ejecutar la orden para retornar el actuador X activando nuevamente Sx-, mientras el eje Y permanece en su posición. Finalmente, el eje Y regresa a su posición inicial y la secuencia queda lista para empezar nuevamente.

Con ayuda del GRAFCET de nivel 2, se realizó la programación de esta práctica en STEP 7

**Figura 74. BLOQUE OB1**



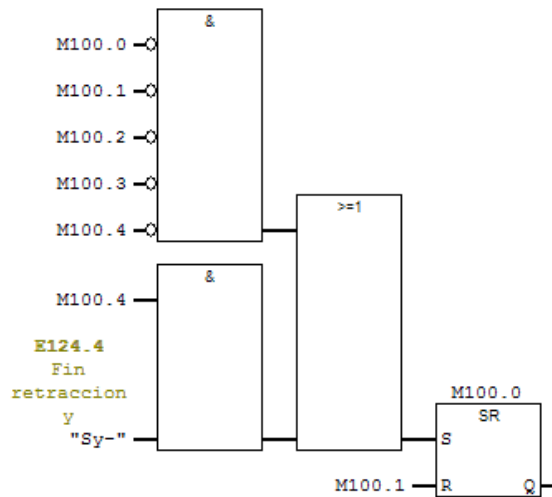
**Figura 75. BLOQUE FC20 (PROGRAMA SECUENCIAL)**

FC20 : PROGRAMA SECUENCIAL

Comentario:

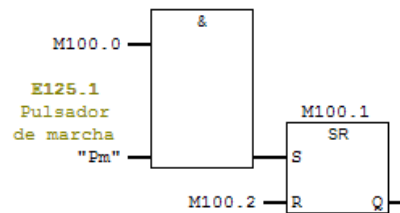
Segm. 1 : GRAFCET, ETAPA 0

Comentario:



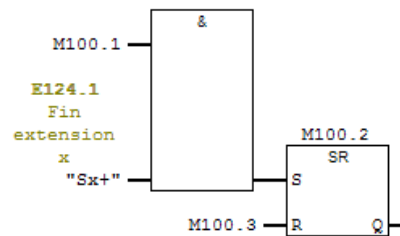
Segm. 2 : GRAFCET, ETAPA 1

Comentario:



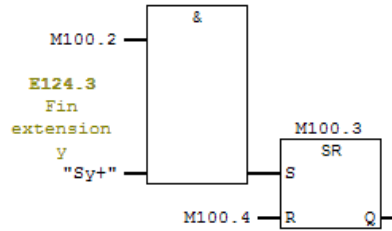
Segm. 3 : GRAFCET, ETAPA 2

Comentario:



Segm. 4 : GRAFCET, ETAPA 3

Comentario:



Segm. 5 : GRAFCET, ETAPA 4

Comentario:

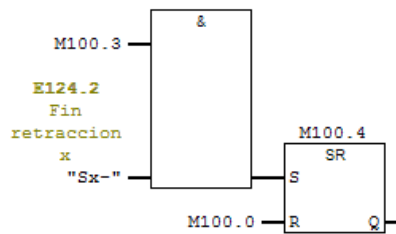


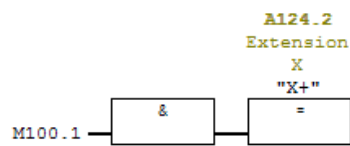
Figura 76. BLOQUE FC30 (PROGRAMA COMBINACIONAL)

FC30 : PROGRAMA COMBINACIONAL

Comentario:

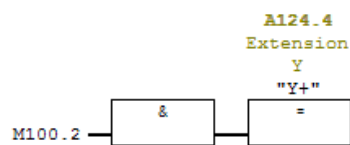
Segm. 1 : EXTENSION X

Comentario:



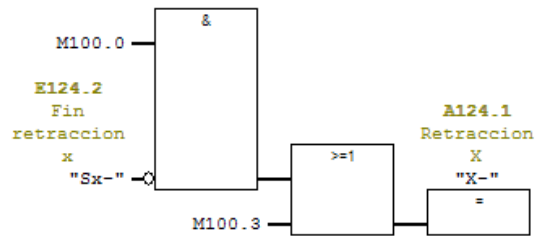
Segm. 2 : EXTENSION Y

Comentario:



Segm. 3 : RETRACCION X

Comentario:

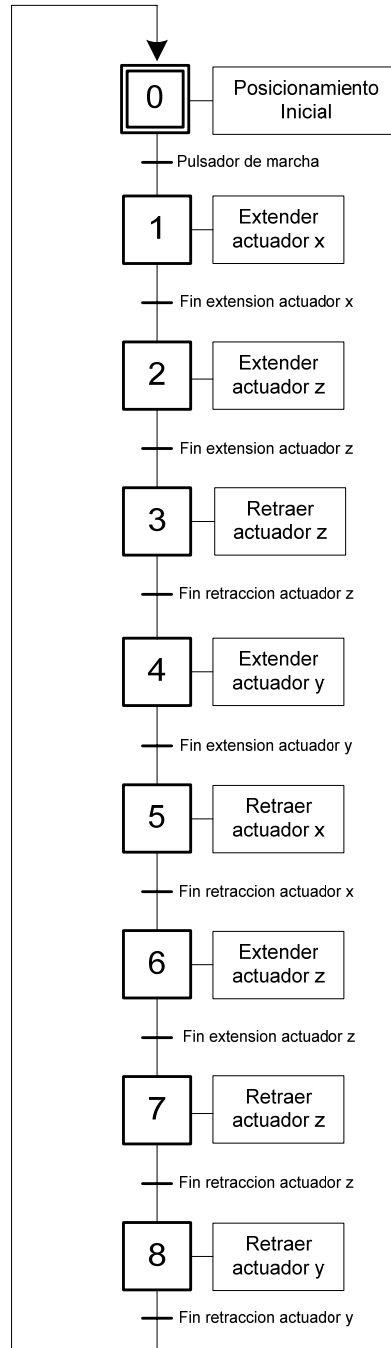


**7.2.2 Segunda práctica (automatismo de eventos discretos).** En esta práctica se propone una secuencia de movimientos en tres ejes. Cabe resaltar que el tercer eje (actuador Z) es preactuado por una válvula 5/2 monoestable y por lo tanto cuando el sistema esta desenergizado el actuador se retraerá inmediatamente si la válvula está conectada neumáticamente a la entrada que reposiciona el cilindro en su estado normal.

Con esta práctica, se pretende hacer una analogía a una aplicación práctica de movimiento de cajas de un punto a otro. La secuencia presentada a continuación es la siguiente: extensión eje X, extensión eje Z, retracción eje Z, extensión eje Y, retracción eje X, extensión eje Z, retracción eje Z, retracción eje Y.

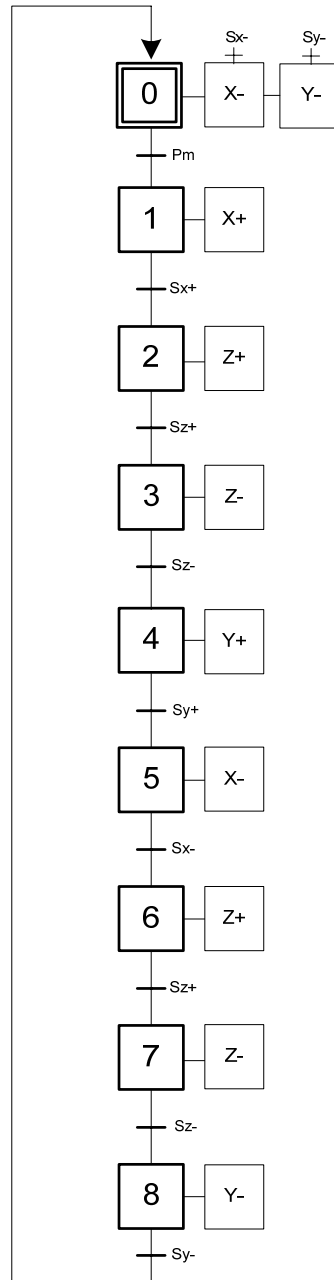
De acuerdo a las especificaciones de la secuencia planteada se desarrolla el GRAFCET de nivel 1 mostrado en la figura 77.

Figura 77. GRAFCET de nivel 1, práctica 2



Basado en el GRAFCET de nivel 1 se desarrolla el GRAFCET de nivel 2 mostrado en la figura 78.

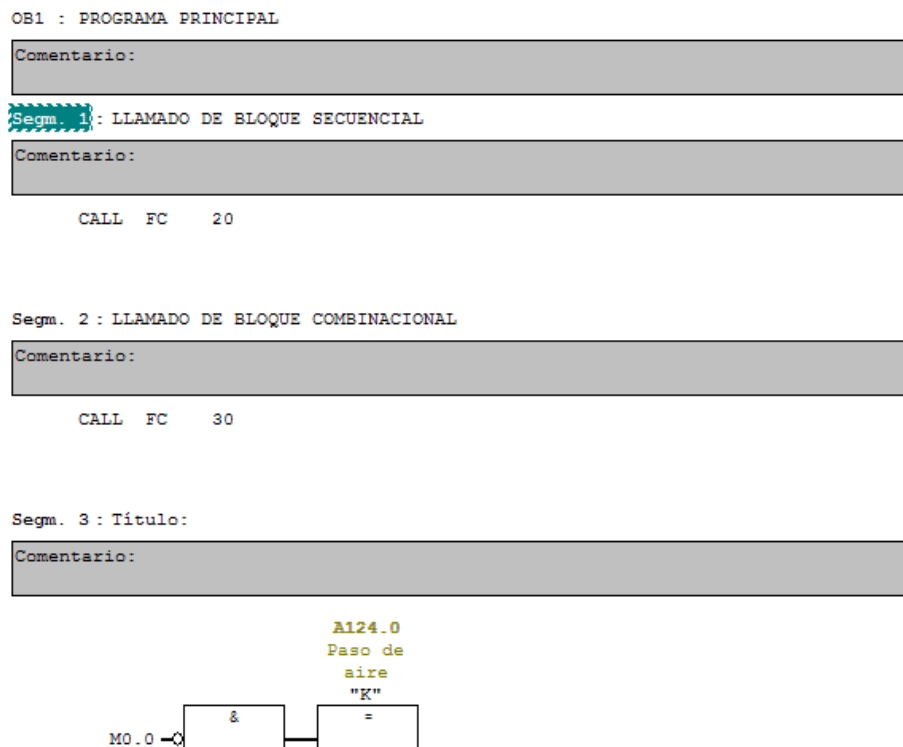
**Figura 78. GRAFCET de nivel 2, práctica 2**



Como muestra el GRAFCET de nivel 2, al igual que en la práctica número 1 para empezar la secuencia es necesario que los sensores Sx- y Sy-, correspondientes a las posiciones X- y Y- estén activos. De lo contrario el sistema los retrae para establecer su posición inicial. A medida que los actuadores cambian de posición, activan los sensores ubicados al final de su movimiento dando paso al siguiente movimiento de la secuencia.

Con ayuda del GRAFCET de nivel 2 se realizó la programación de esta práctica

**Figura 79. BLOQUE OB1**



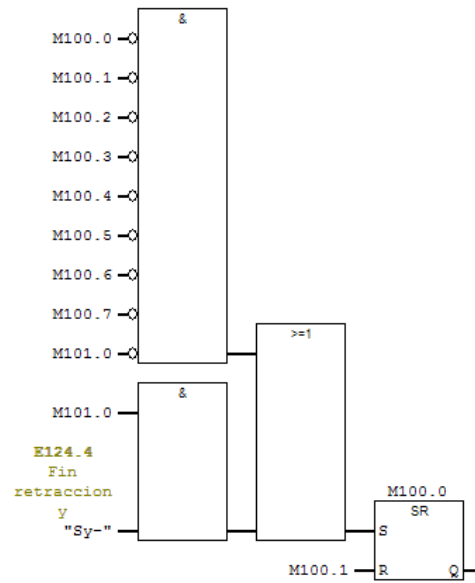
**Figura 80. BLOQUE FC20**

FC20 : PROGRAMA SECUENCIAL

Comentario:

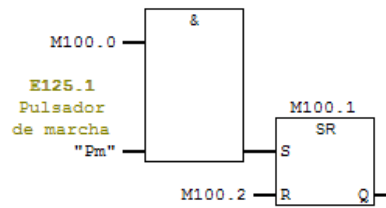
Segm. 1: GRAFCET, ETAPA 0

Comentario:



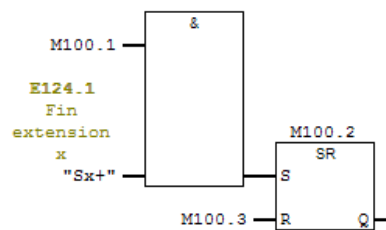
Segm. 2 : GRAFCET, ETAPA 1

Comentario:



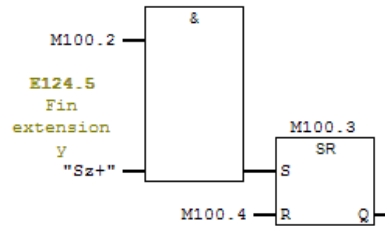
Segm. 3 : GRAFCET, ETAPA 2

Comentario:



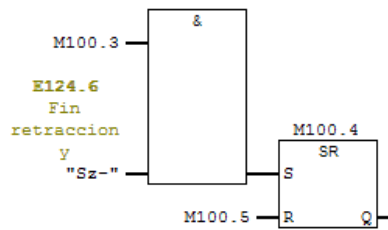
Segm. 4 : GRAFCET, ETAPA 3

Comentario:



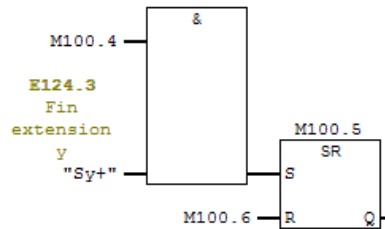
Segm. 5 : GRAFCET, ETAPA 4

Comentario:



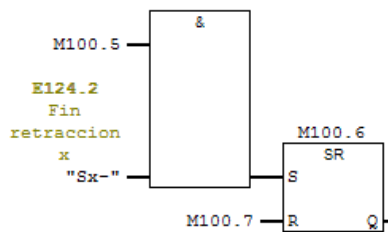
Segm. 6 : GRAFCET, ETAPA 5

Comentario:



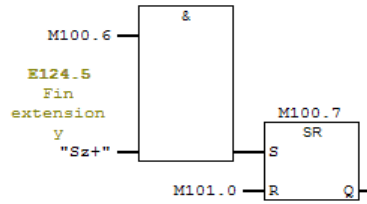
Segm. 7 : GRAFCET, ETAPA 6

Comentario:



Segm. 8 : GRAFCET, ETAPA 7

Comentario:



Segm. 9 : GRAFCET, ETAPA 8

Comentario:

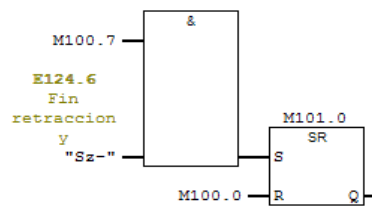


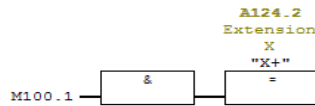
Figura 81. BLOQUE FC 30

FC30 : PROGRAMA COMBINACIONAL

Comentario:

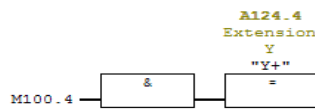
Segm. 1 : EXTENSION X

Comentario:



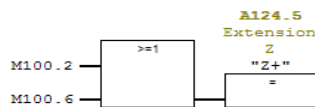
Segm. 2 : EXTENSION Y

Comentario:



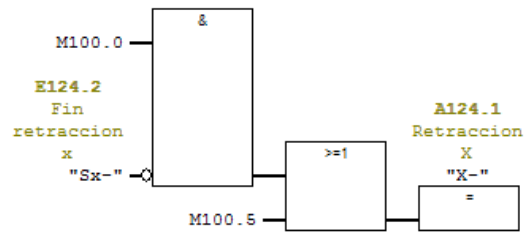
Segm. 3 : EXTENSION Z

Comentario:



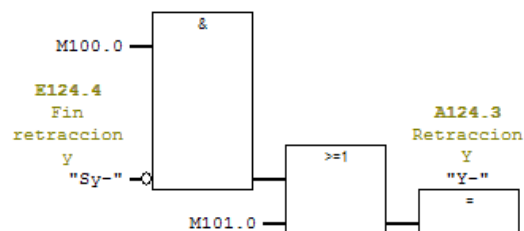
Segm. 4 : RETRACCION X

Comentario:



Segm. 5 : RETRACCION Y

Comentario:

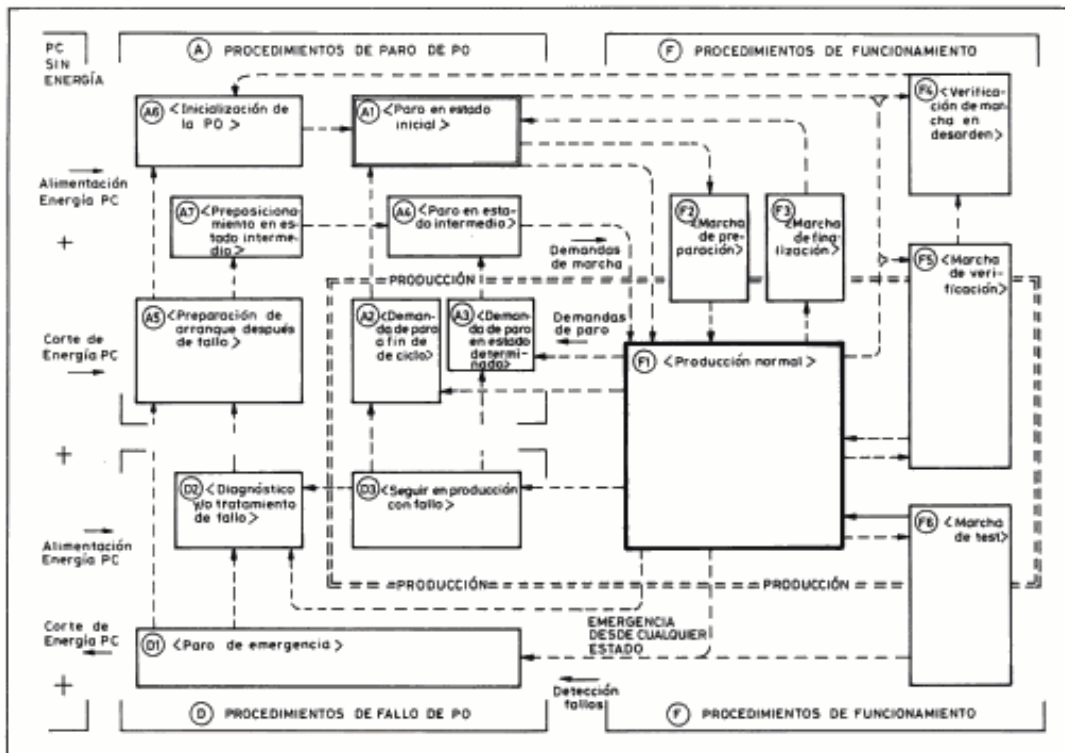


Físicamente no existe una salida asociada a la retracción del eje Z dada la naturaleza de la electroválvula que controla este actuador. Por este motivo, en la programación mostrada anteriormente, el bloque combinacional no contiene dicha salida, sin embargo, en el bloque secuencial se contempla esta etapa del GRAFCET.

Para la complementación y aplicación de estas prácticas se propone que el estudiante realice el GRAFCET de nivel 3 y posteriormente la programación de este.

También se propone un análisis de posibles situaciones de paro y fallo del sistema cartesiano tales como parada de emergencia o fallos por presión, entre otros. Para este propósito se cuenta con la metodología GEMMA (Figura 82) en la cual es posible prever más fácilmente dichas situaciones.

Figura 82. Gráfico GEMMA con todos los estados normalizados



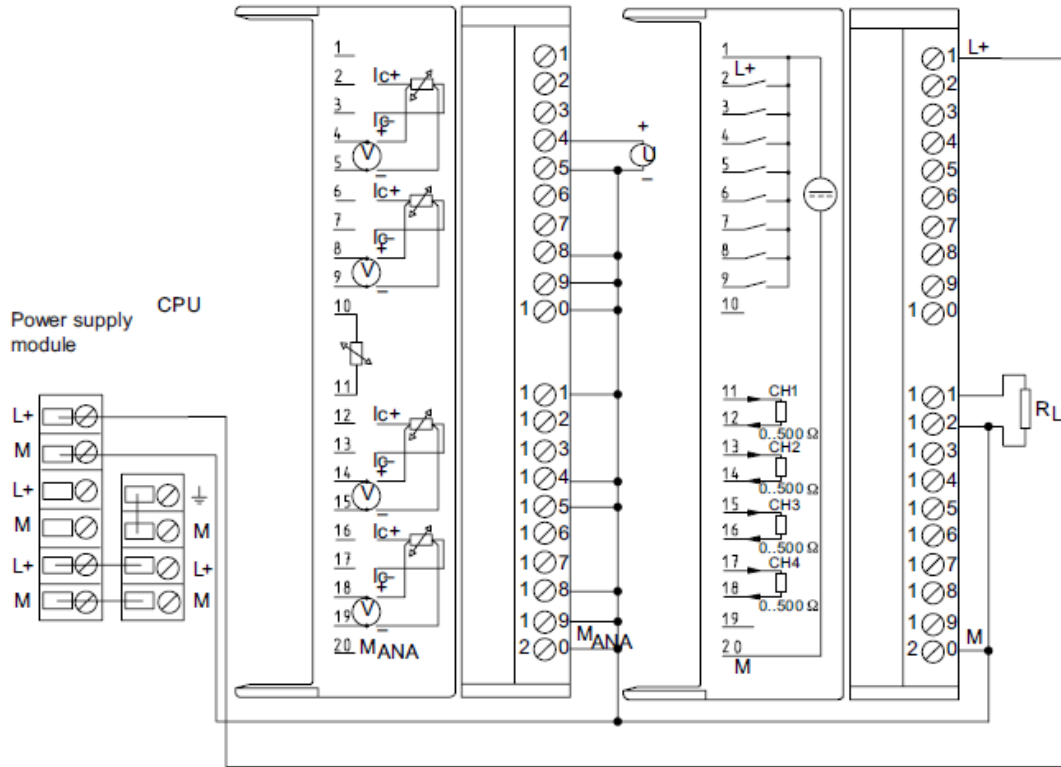
Fuente: BALCELLS Joseph. Autómatas programables

### 7.3 IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE CARÁCTER BÁSICO PARA AUTOMATISMO CUASICONTINUO

Para el diseño e implementación de estas prácticas se utilizó un actuador del robot, un modulo para regulación PID, una válvula proporcional a la cual llega el valor de la variable manipulada (4 a 20 mA) proveniente del modulo y un potenciómetro lineal adosado al actuador lineal para medir la posición del actuador (0 a 10 v).

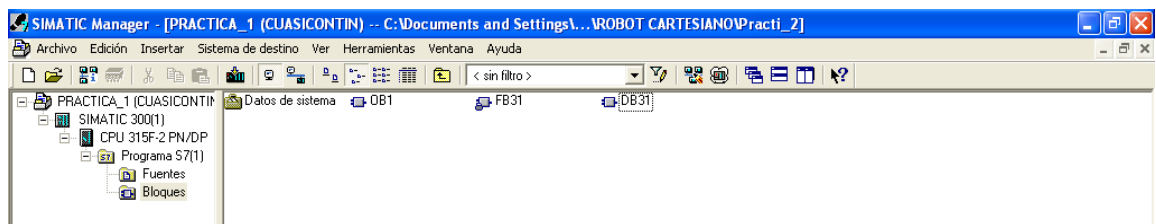
Las conexión del modulo de regulación se muestra a continuación

**Figura 83. Plano de conexiones FM 355C.**

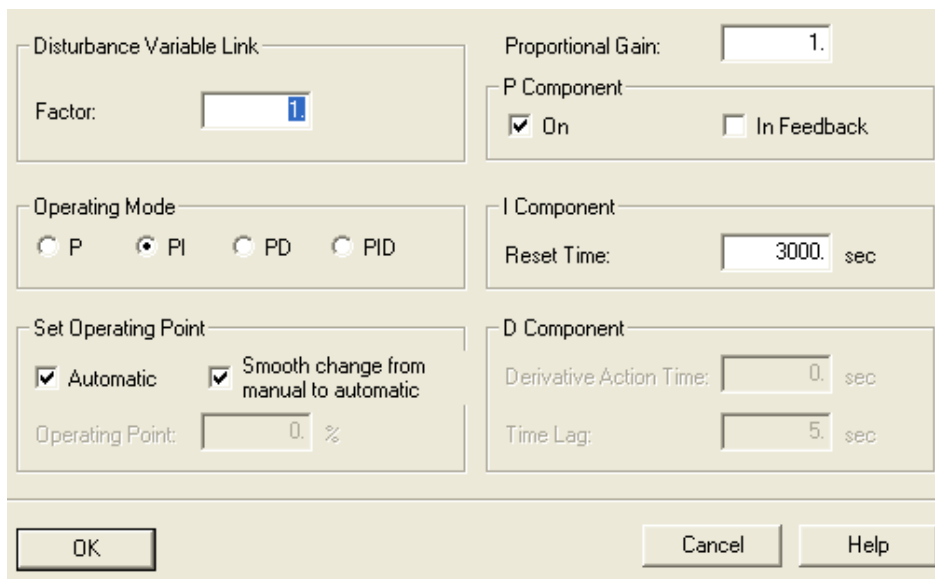


El lenguaje de programación STEP 7 permite la parametrización del módulo (figura 85) de regulación FM 355C por medio de un bloque de función FB 31 el cual almacena el algoritmo de control PID. Con un bloque organización OB y un bloque de datos DB de instancia es posible llevar a cabo el control del actuador. En el bloque de instancia se almacenan los parámetros del módulo para su observación y modificación.

**Figura 84. Bloques control PID**



**Figura 85. Interfaz de parametrización**



Disturbance Variable Link

Factor:

Proportional Gain:

P Component

On  In Feedback

Operating Mode

P  PI  PD  PID

I Component

Reset Time:  sec

D Component

Derivative Action Time:  sec

Time Lag:  sec

Set Operating Point

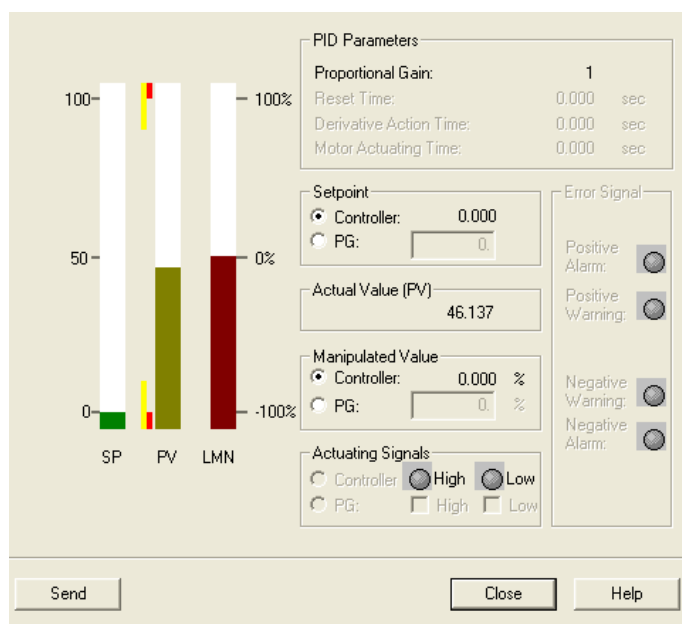
Automatic  Smooth change from manual to automatic

Operating Point:  %

OK Cancel Help

Los valores de setpoint, variable controlada y variable manipulada pueden ser vistos e ingresados por medio de la interfaz “Loop Monitor”, mostrada a continuación.

**Figura 86. Interfaz de estado en línea**



PID Parameters

Proportional Gain: 1

Reset Time: 0.000 sec

Derivative Action Time: 0.000 sec

Motor Actuating Time: 0.000 sec

Setpoint

Controller: 0.000

PG:

Actual Value (FV)

46.137

Manipulated Value

Controller: 0.000 %

PG:  %

Actuating Signals

Controller  High  Low

PG:  High  Low

Error Signal

Positive Alarm:

Positive Warning:

Negative Warning:

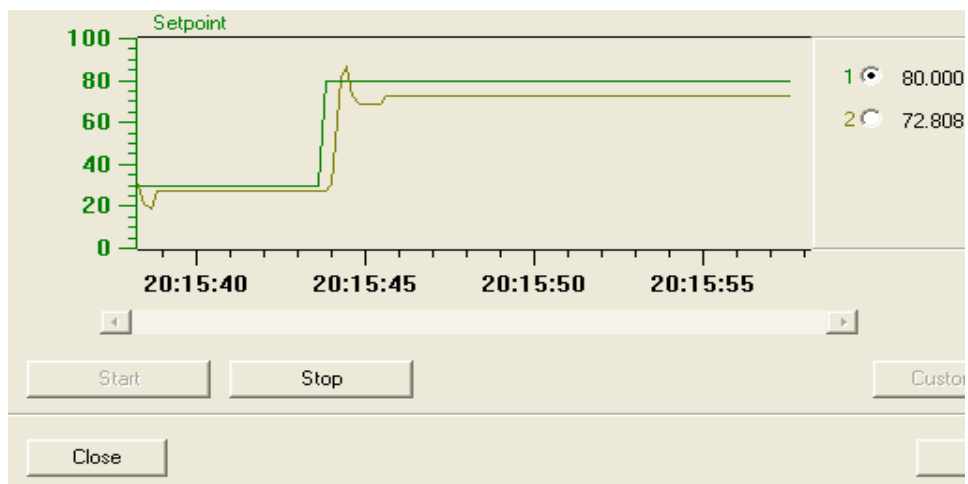
Negative Alarm:

Send Close Help

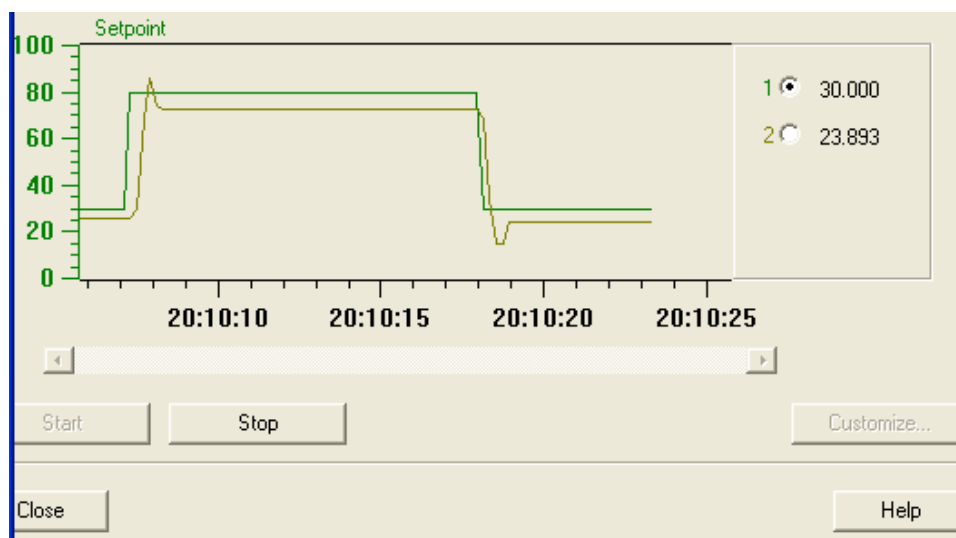
**7.3.1 Primera práctica (automatismo cuasicontínuo).** Se propone un control P en el cual se varíen los valores de ganancia proporcional y se pueda observar el comportamiento de este tipo de control.

Para el posicionamiento se utilizaron tres valores de ganancia proporcional, a continuación se muestra el comportamiento de la variable controlada con respecto al valor de setpoint ingresado.

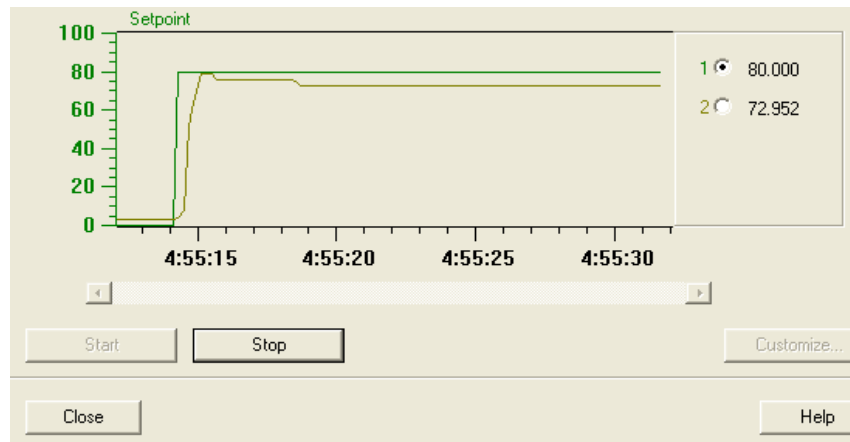
**Figura 87. Ganancia proporcional = 1**



**Figura 88. Ganancia proporcional = 0.8**



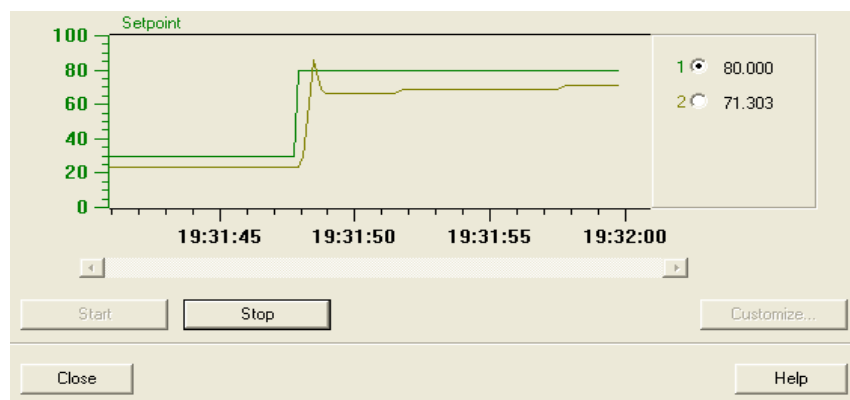
**Figura 89. Ganancia proporcional = 0.6**



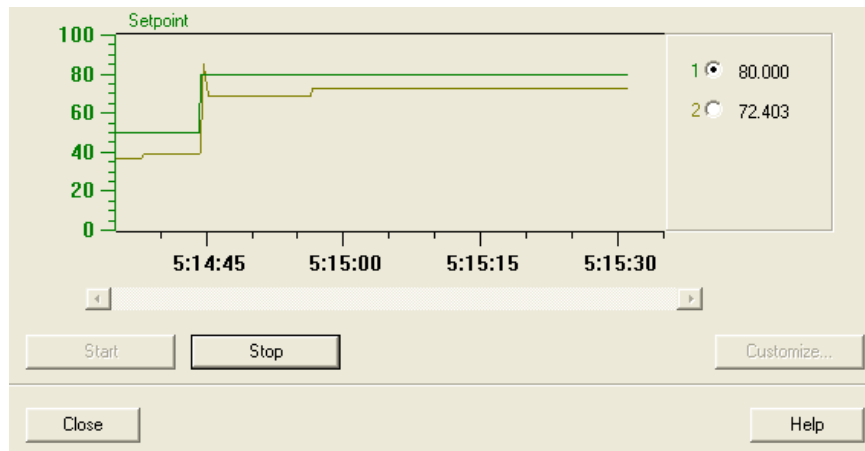
En las anteriores figuras se puede ver una pequeña diferencia entre la variable controlada y el setpoint debido a la ausencia de la parte de integración, con la cual es posible eliminar este offset. Por lo tanto se propone la siguiente práctica en la cual se trabaja con el tiempo de integración.

**7.3.2 Segunda practica (automatismo cuasicontinuo).** Se propone un control PI con el propósito de disminuir y eliminar el error provocado por el modo proporcional. A continuación se muestra el comportamiento del actuador con diferentes valores:

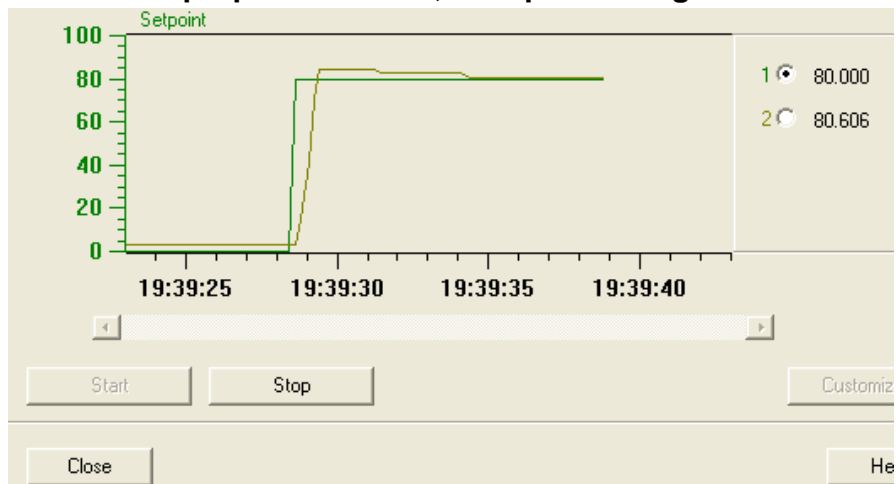
**Figura 90. Ganancia proporcional = 0.8, tiempo de integración = 200**



**Figura 91. Ganancia proporcional=0.75, tiempo de integración=100**



**Figura 92. Ganancia proporcional=0.5, Tiempo de integración=150**



Es evidente que la parte integral del control mejora notoriamente el posicionamiento del actuador debido a que esta elimina la desviación generada por la ganancia proporcional. En la figura 92, se muestra que el posicionamiento del robot fue realizado con un error mínimo en menos de diez segundos lo cual me da una visión aproximada de los valores correctos para dicho posicionamiento.

## 8. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL ROBOT/MANIPULADOR CARTESIANO

Teniendo en cuenta la importancia del sistema automatizado de control (SAC) previamente descrito y diseñado, valorando su representación dentro de la formación que recibirán los usuarios del laboratorio de automatización industrial; se hace necesario establecer un adecuado plan de mantenimiento el cual describa las actividades precisas que permitan conservar las funciones objetivo propias del sistema para las cuales fue diseñado. Estas actividades van encaminadas a lograr un alto nivel de confiabilidad en la operación del sistema y los respectivos datos que arroje en todas y cada una de las prácticas que realicen los usuarios.

El SAC se diseñó haciendo uso de elementos de última tecnología –componentes del robot/manipulador- los cuales facilitan en gran manera las labores de mantenimiento, muchos de ellos alcanzando un nivel de libre mantenimiento según su función y sus características.

**Tabla 6. Listado de componentes**

No. Ref.	Nombre
9394	Tobera aspiradora por vacio
9964	Electroválvula
9982	Electroválvula
19788	Electroválvula
34587	Ventosa
150261	Vacuostato
150855	Detector de proximidad
151909	Cable del conector
152629	Sistema de medición de recorrido (potenciómetro)
159638	Escuadra de fijación

No. Ref.	Nombre
161980	Válvula proporcional
171157	Conector
174844	Cable del conector
185745	Combinación de unidades de mto (unid. Mto)
192851	Eje de guía
193144	Válvula de estrangulación y antiretorno
345395	Manómetro
526651	Actuador Lineal
528940	Actuador de posicionamiento
OP 177B	Panel de operador OP 177B
S7-300	Autómata programable S7-300

## 8.1 INSTRUCCIONES DE USO.

Las siguientes indicaciones son de vital importancia a la hora de hacer uso del robot/manipulador (SAC).

- Tener definido el modo de operación (robot o manipulador)
- Encender el compresor
- Verificar que las conexiones neumáticas estén debidamente conectadas (para robot, en las válvulas proporcionales; para manipulador, en las electroválvulas)
- Verificar que el sistema este alimentado eléctricamente
- Tener totalmente definidos y probados los programas y las tareas a ejecutar por el robot/manipulador.
- Verificar la alimentación de aire comprimido
- Verificar la presión del aire de entrada al sistema (debe estar entre 4 y 12 bar).

## 8.2 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Tabla 7. Actividades de mantenimiento

	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
<b>AUTOMATA</b>	· Revisar condiciones de la batería y los fusibles (cambiar según ficha técnica)	Semestral
	· Inspeccionar en qué condiciones se encuentran los contactos, terminales, las escobillas y/o ajustar dichos elementos en caso de encontrarse deteriorados.	Trimestral
	· Comprobar el buen estado de los relés diferenciales y las ventilaciones forzadas.	Mensual
	· Controle los niveles de suciedad por presencia de polvo.	Semanal
	· Revise el cableado cerciorándose que no exista conectores o bornes flojos.	Semanal
	· Revise las tomas de tierra comprobando que no haya mal contacto.	Mensual
	· Verificar las condiciones ambientales a las que esté sometido el sistema, ya que se debe tener especial cuidado si se elevan los índices de humedad.	----
<b>SISTEMA NEUMATICO</b>	· Verifique las conexiones neumáticas.	Semanal
	· Revise detalladamente el estado de los racores y si se encuentran deteriorados cámbielos inmediatamente.	Semanal
	· Revise el estado de las mangueras, cerciórese que no estén cristalizadas o quebradas.	Semanal
	· Revise que las presiones de entrada de aire	Diario

ACTIVIDAD		PERIODICIDAD
	se encuentren en el rango de 4 a 10 psi.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Verifique que la unidad de mantenimiento en la fuente de alimentación cuente con el nivel de lubricante adecuado (solo si aplica).</li> </ul>	Mensual
ACTUADORES	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revise que las guías no se encuentre afectadas por impactos mecánicos que alteren su forma.</li> </ul>	Mensual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Verifique el estado de las conexiones neumáticas.</li> </ul>	Mensual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Realice prueba de funcionamiento detallada, observando que no haya obstrucciones en el recorrido.</li> </ul>	Trimestral
SISTEMA ELECTRICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Realice mediciones de aislamiento en el cableado usando un megohmetro.</li> </ul>	Mensual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revise los bornes y las conexiones que puedan presentar inicios de oxidación y/o sulfatado.</li> </ul>	Mensual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Verifique el funcionamiento de las luces indicadoras.</li> </ul>	Mensual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Haga una valoración de interruptores y contactores (cheque que no haya exceso de carbón)</li> </ul>	Semestral
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Verifique posibles elevaciones de temperatura en las bobinas.</li> </ul>	Mensual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ajuste la tornillería que se encuentre floja.</li> </ul>	Semestral

Es necesario tener en cuenta que debido a la complejidad de los componentes del sistema, es de vital importancia crear conciencia en el usuario de hacer una buena operación y mantener cuidado especial en los procedimientos seguidos para su práctica.

Los componentes del sistema cuentan con una alta fiabilidad, garantizada por el fabricante, por lo que las labores de mantenimiento se reducen a las ya descritas en la tabla 7, pero que si se omiten pueden acarrear serias consecuencias en la disponibilidad y mantenibilidad de sus componentes.

En las electroválvulas y las válvulas posicionadoras en caso de presentar fallas en su funcionamiento se recomienda consultar al fabricante o a un proveedor de mantenimiento especializado. Los demás componentes del sistema se estimaron libres de mantenimiento.

## 9. CONCLUSIONES

Se consiguió hacer un diseño muy completo respecto a confiabilidad, rigidez y estética. Estas características se alcanzaron con la ayuda de software como SolidWorks y Mastercam, ya que son herramientas de diseño muy útiles y permiten prever y corregir problemas que se pueden dar durante la construcción. Además, el centro de mecanizado da una gran precisión en los acabados de las piezas, reduciendo al mínimo los errores de ensamble.

Se adquirió gran experiencia en la fase de diseño-construcción, ya que se logró reconocer la diferencia entre lo virtual y lo real.

Dado que las fuerzas ejercidas por el sistema cartesiano y por el cofre de control no son muy elevadas, se pudo dar una especial atención al diseño estético de la estructura.

Se aplicaron los conceptos básicos de un sistema automatizado de control y su funcionamiento, teniendo en cuenta el diseño del robot y la selección de sus componentes, observando las características eléctricas y neumáticas de cada uno y su ubicación dentro del modelo estructural.

Se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos en asignaturas como automatización industrial y autómatas programables, tales como: montaje, conexión eléctrica, puesta a punto, configuración y programación por medio de la implementación de movimientos básicos en el robot con lo cual se adquirió gran experiencia en este campo.

Con el módulo inteligente de regulación FM 355C, se adquirieron nociones acerca de control PID por medio de su implementación para el control de posición en un actuador neumático. Debido al carácter básico de las prácticas realizadas, no fue

necesario realizar una sintonización empírica metodológica o exhaustiva ni un modelamiento del robot (planta).

## RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

Cuando el robot este trabajando con succión, es recomendable que las piezas a sujetar tengan una sección plana debido a la naturaleza de forma de la ventosa.

Debido a que los equipos utilizados son muy costosos, su reparación y/o cambio es una opción poco viable, se debe tener especial atención en el momento de realizar conexiones eléctricas y neumáticas

Se recomienda en una segunda fase del proyecto, hacer un modelamiento del robot para calcular de manera exacta los parámetros de control PID y realizar un control óptimo de posición, velocidad y aceleración.

Se recomienda en una fase posterior realizar una modificación de las conexiones neumáticas, de modo que no sea necesario hacer cambio de conexiones cuando se necesite cambiar de modo de trabajo.

## **BIBLIOGRAFIA**

**BALCELLS, Josep; ROMERAL, José Luis.** “Autómatas programables”, Alfaomega Marcombo Boixareu Editores, 2000.

**FESTO SOFTWARE.** “El catálogo de neumática”, versión 10/2004.

**FM 355C CLOSE LOOP CONTROL MODULE.** Siemens

**MENESES FLÓREZ, Jorge Enrique.** “Autómatas Programables Industriales”. Universidad Industrial de Santander

**MENESES FLÓREZ, Jorge Enrique.** “Documentación asignatura autómatas programables”, Universidad Industrial de Santander

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL PANEL DE OPERADOR SIEMENS OP 177B.**

# **ANEXOS**

## **ANEXO A. MODULO INTELIGENTE DE REGULACION FM 355 C**

El módulo FM 355 tiene dos variantes de operación:

- Controlador de acción continua con entradas y salidas análogas
- Controlador S (controlador de paso y pulso con entradas y salidas digitales)

El módulo utilizado para el robot/manipulador cartesiano es el FM 355 C, es decir, el controlador de acción continua con entradas y salidas análogas.

### **FUNCIONALIDAD DEL FM 355**

#### **ESTRUCTURAS DE CONTROL**

El FM 355 puede usarse con las siguientes estructuras de control:

- Control manual (set-value)
- Control de seguidor
- Control de 3 componentes
- Control de cascada
- Control de relación
- Control de mezcla
- Control de divisor de rango (Split-range)

#### **MODOS DE OPERACIÓN**

El FM 355 puede ser operado en los siguientes modos:

- Automático
- Manual

- Modo de seguridad
- Seguimiento del modo de control (cambio a valor de seguridad predeterminado)
- Especificación del valor manipulado DDC (Control Digital Directo)
- Controlador de seguimiento/SPC (SPC= control de set point)
- Modo de respaldo (con CPU en STOP o fallo)

### **NÚMERO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL FM 355 C**

Entradas análogas: 4

Entradas digitales: 8

Salidas análogas: 4

### **TENSIONES PERMITIDAS**

Tensión nominal: 24 V DC

Rango permitido: de 20.4 a 28.8 V DC

Protección contra inversión de polaridad en las entradas: si

Protección contra inversión de polaridad en las salidas: si

### **DIAGNÓSTICO DE INTERRUPCIÓN**

El FM 355 puede disparar un diagnóstico de interrupción en cualquiera de los siguientes casos:

- Error en parametrización del módulo
- Módulo defectuoso

- Demasiado flujo o muy bajo en las entradas análogas
- Sobrecarga y corto circuito en las salidas análogas

## **PARAMETRIZACIÓN**

Se puede parametrizar por medio de una interfaz de configuración de parámetros.

## **ÁREAS DE APLICACIÓN PARA EL FM 355**

El FM 355 es un controlador universal aplicable para el siguiente control de tareas:

- Control de temperatura
- Control de nivel
- Control de nivel de llenado
- Control de presión
- Control de flujo
- Control de concentración
- Control de posición

## **APLICACIONES**

El FM 355 es comúnmente usado para llevar a cabo tareas de control en las siguientes ramas:

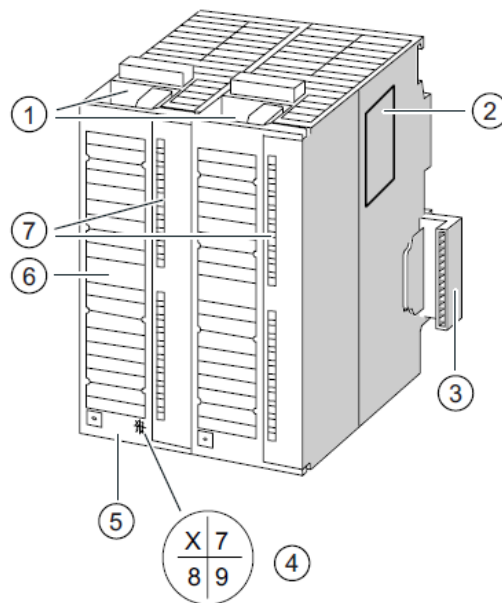
- Construcción de máquinas
- Construcción de planta
- Construcción de horno industrial
- Construcción de unidades de refrigeración y calefacción
- Industria de alimentación y bebidas
- Ingeniería de procesos

- Tecnología ambiental
- Fabricación de cerámica y vidrio
- Plásticos y cauchos para máquinas
- Industria de madera y papel

## HARDWARE

La figura 93 muestra el módulo FM 355 con los conectores frontales y el conector del bus con la puerta frontal cerrada.

**Figura 93. Módulo FM 355**



1. Conector frontal con frontal de codificación
2. Placa
3. Conector de la interfaz de bus SIMATIC
4. Versión
5. Numero de orden
6. Rótulos

## 7. LEDs

### **CONECTORES FRONTALES**

El FM 355 ofrece las siguientes posibilidades de conectores frontales:

- 8 entradas digitales
- 4 entradas análogas
- 1 referencia en la entrada de conexiones
- 4 salidas análogas
- Tensión de alimentación de 24 V DC para el módulo y las salidas análogas y digitales
- Punto de referencia del circuito análogo MANA (neutro del circuito analógico)

### **FRENTE DEL CONECTOR DE CODIFICACIÓN**

Cuando se conecta un conector frontal desde la posición de alimentación a la posición de funcionamiento, el conector frontal de codificación encaja. Desde este momento, este conector frontal sólo se puede conectar a un módulo de FM 355

### **TIRAS DE ROTULACIÓN**

Adjunto con el módulo, hay dos tiras de rotulación. En cada una, se puede escribir los nombres de la señal en forma individual.

Las correspondientes asignaciones son impresas dentro del panel frontal.

## DIAGNÓSTICO Y ESTADO DE LOS LEDS

El FM 355 tiene 10 LEDs que pueden ser usados para diagnósticos y para indicar el estado del FM 355 y sus entradas digitales.

**Tabla 8. Diagnóstico y estado de los LEDs**

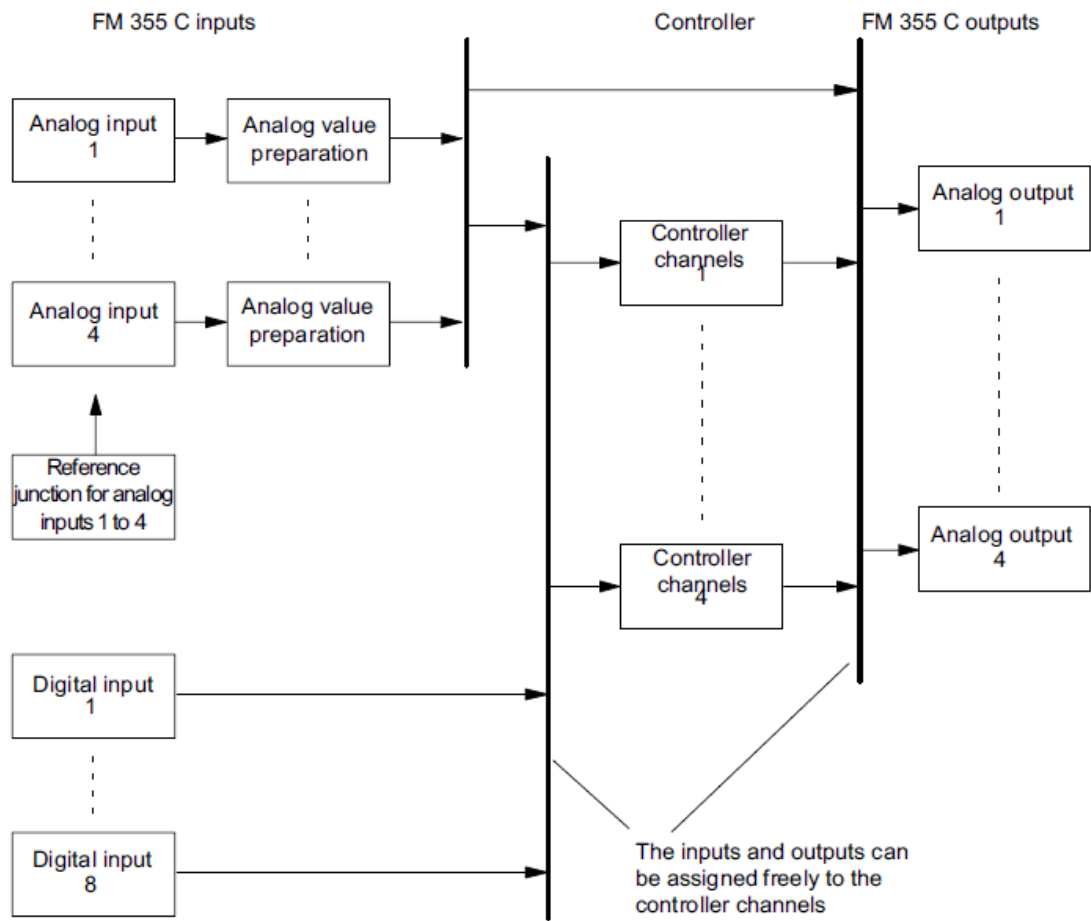
ETIQUETA	COLOR	FUNCIÓN
SF	Rojo	Error de grupo
Seguridad	Amarillo	Display del modo de seguridad
I1	Verde	Estado de la entrada digital I1
I2	Verde	Estado de la entrada digital I2
I3	Verde	Estado de la entrada digital I3
I4	Verde	Estado de la entrada digital I4
I5	Verde	Estado de la entrada digital I5
I6	Verde	Estado de la entrada digital I6
I7	Verde	Estado de la entrada digital I7
I8	Verde	Estado de la entrada digital I8

## ESTRUCTURA BÁSICA DEL FM 355

La estructura del FM 355 consiste básicamente en el siguiente bloque de funciones:

- Entradas del FM 355
  - 4 entradas análogas con valores analógicos condicionados
  - 8 entradas digitales
  
- Controlador
  - 4 canales de control independientes el uno del otro, dentro de cada subdivisión se calcula la desviación negativa, control algorítmico y salida de control.
  
- Salidas del FM 355
  - 4 salidas análogas

**Figura 94. Diagrama de bloque del FM 355 C (control de acción continua)**



## ANEXO B. PANEL DE OPERADPOR OP 177B

### DESCRIPCIÓN

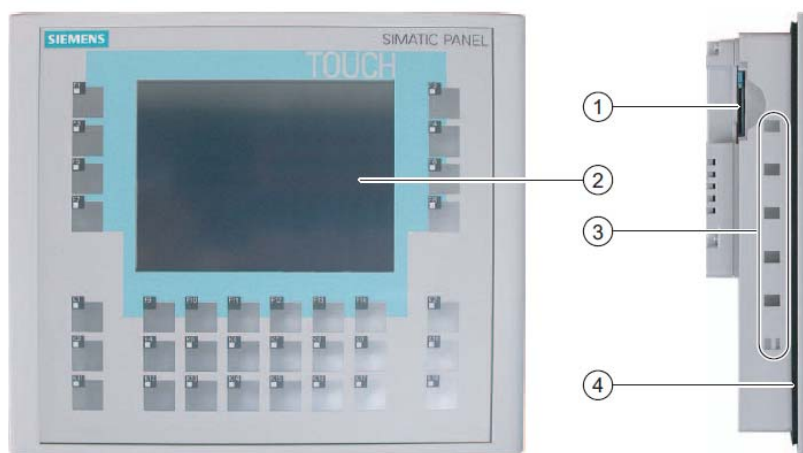
El panel OP 177B permite utilizar de forma más eficiente los proyectos basados en textos o gráficos para realizar tareas de manejo y visualización simples o medianas en máquinas e instalaciones. Los proyectos configurados con caracteres asiáticos o cirílicos se pueden utilizar de la forma habitual.

El OP 177B se caracteriza porque se puede manejar no sólo con el teclado de membrana, sino también con la pantalla táctil estándar. Es posible configurar que las teclas de función conmuten a teclas del sistema específicas. Además, se caracteriza por su breve tiempo de puesta en marcha, el gran tamaño de su memoria de trabajo y su elevado rendimiento, habiéndose optimizado para proyectos basados en WinCC flexible.

### ESTRUCTURA DEL PANEL DE OPERADOR OP 177B

Vistas frontal y lateral

**Figura 95. Vista frontal y lateral del panel de operador OP 177B**



- Ranura para una MultiMediaCard
- Display/Pantalla táctil
- Escotaduras para sensores
- Junta de montaje

## VISTA POSTERIOR

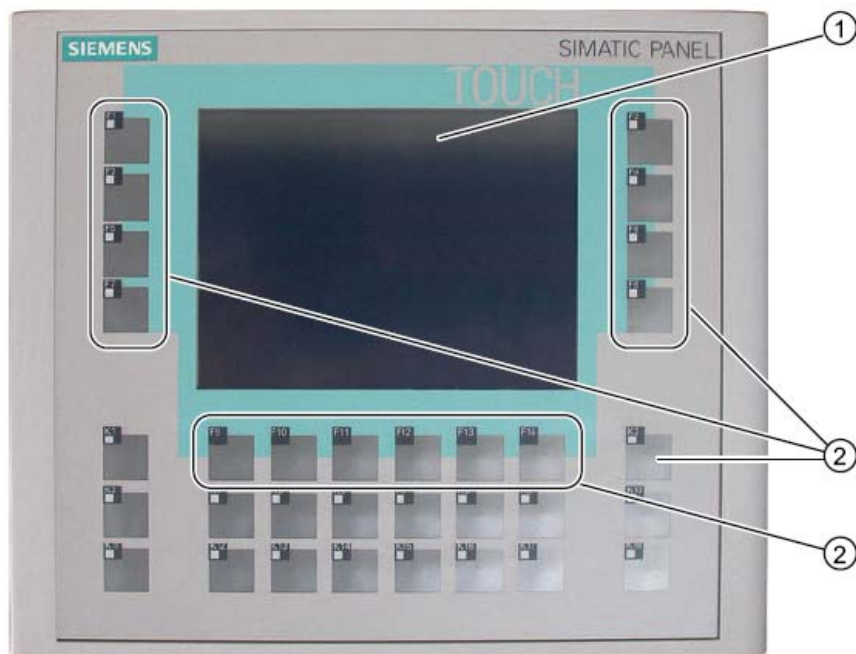
Figura 96. Vista posterior del panel de operador OP 177B



- Ranura para una MultiMediaCard
- Placa de características
- Interruptor DIL
- Nombre del puerto

## ELEMENTOS DE CONTROL DEL OP 177B

Figura 97. Elementos de control del panel



- Display con pantalla táctil
- Teclas de función con LED
- Teclas de función sin LED

## PANTALLA TÁCTIL

La unidad de entrada estándar del panel de operador es la pantalla táctil. Todos los objetos de control necesarios para la operación se representan en la pantalla táctil después de arrancar el panel de operador.

## DETERIORO DE LA PANTALLA TÁCTIL

Los objetos puntiagudos o afilados pueden dañar la superficie de plástico de la pantalla táctil.

Maneje la pantalla táctil únicamente con el dedo o con un lápiz apropiado.

## **ACTIVACIÓN DE ACCIONES NO INTENCIONADAS**

En caso de tocar simultáneamente varios objetos de operador pueden activarse acciones no intencionadas. No toque nunca más de un objeto de control a la vez en la pantalla.

## **TECLAS DE FUNCIÓN**

En el OP 177B también pueden realizarse entradas con las teclas de función F1 a F14 y K1 a K18.

Durante la configuración se define qué función tendrán las teclas de función. Si no hay ningún proyecto abierto, las teclas de función carecerán de función.

## **PELIGRO DE DAÑARSE EL TECLADO**

Pulse las teclas del panel de operador únicamente con los dedos. Si utiliza un objeto duro, se reducirá la vida útil del mecanismo del teclado.

## **UTILIZACIÓN DE UNA TARJETA DE MEMORIA EN EL OP 177B**

- **TARJETAS DE MEMORIA AUTORIZADAS**

Utilice sólo las MultiMediaCards probadas y autorizadas por Siemens AG para el panel de operador en cuestión.

## LA MULTIMEDIACARD DE SIMATIC S7 YA NO PUEDE UTILIZARSE

Si formatea una MultiMediaCard para el SIMATIC S7 en el panel de operador, ya no podrá utilizar esta MultiMediaCard en el SIMATIC S7.

Utilice exclusivamente MultiMediaCards apropiadas para el panel de operador.

### • PROCEDIMIENTO PARA INSERTAR UNA TARJETA DE MEMORIA

Proceda del siguiente modo:

1. Inserte la tarjeta de memoria en la ranura pertinente.

Cuando vaya a insertar la tarjeta de memoria, tenga en cuenta que para poder insertarla en la ranura tiene que estar visible la parte delantera.

La figura 98 muestra cómo insertar la tarjeta de memoria

**Figura 98. Insertar memoria**



- 1 Portador de la tarjeta de memoria
- 2 Tarjeta de memoria
- 3 Receptáculo de la tarjeta de memoria

2. Verifique que la tarjeta de memoria esté bien colocada.

Si la tarjeta de memoria está insertada correctamente en su ranura, el soporte de la tarjeta quedará encajado detrás de ella.

- **PRIMERA UTILIZACIÓN DE UNA TARJETA DE MEMORIA**

### **PÉRDIDA DE DATOS**

Si al utilizar una tarjeta de memoria por primera vez el panel de operador le solicita que ésta sea formateada, conviene realizar una copia de seguridad (en un PC) de los datos contenidos en la tarjeta.

Para evitar la pérdida de datos, proceda del modo siguiente:

1. Pulse el botón "ESC" si desea cancelar el proceso de formateo.
2. Cree una copia de seguridad en un PC de los datos que no se deban perder.
3. Formatee la tarjeta de memoria en el panel de operador.
4. Si necesita los datos salvaguardados en el PC en su panel de operador, retransfiera los datos a la tarjeta de memoria.

A continuación, podrá transferir los datos de la tarjeta de memoria al panel de operador.

- **PROCEDIMIENTO PARA EXPULSAR LA TARJETA DE MEMORIA**

### **PELIGRO DE PÉRDIDA DE DATOS**

Si se retira la tarjeta de memoria mientras el panel de operador está accediendo a los datos que residen en la misma, pueden perderse dichos datos.

No retire la tarjeta de memoria mientras el panel está accediendo a los datos.

Tenga en cuenta los mensajes al respecto que aparecen en la pantalla.

La figura 93 muestra cómo expulsar la tarjeta de memoria.

**Figura 99. Expulsión de la tarjeta de memoria**



□ Botón de expulsión

Proceda del siguiente modo:

1. Pulse el botón de expulsión. La tarjeta de memoria se empujará fuera del receptáculo. Evite pulsar el botón bruscamente. Esto podría dañar el mecanismo de expulsión.
2. Tome la tarjeta de memoria con los dedos y extraígalas de la ranura.
3. Almacene la tarjeta de memoria en un lugar seguro.

## **ROTULACIÓN DE LAS TECLAS DE FUNCIÓN EN EL TP 177B 4" Y OP 177B**

Las teclas de función se pueden rotular específicamente para el proyecto. A este efecto, utilice tiras rotulables. No escriba sobre el teclado para rotular las teclas de función.

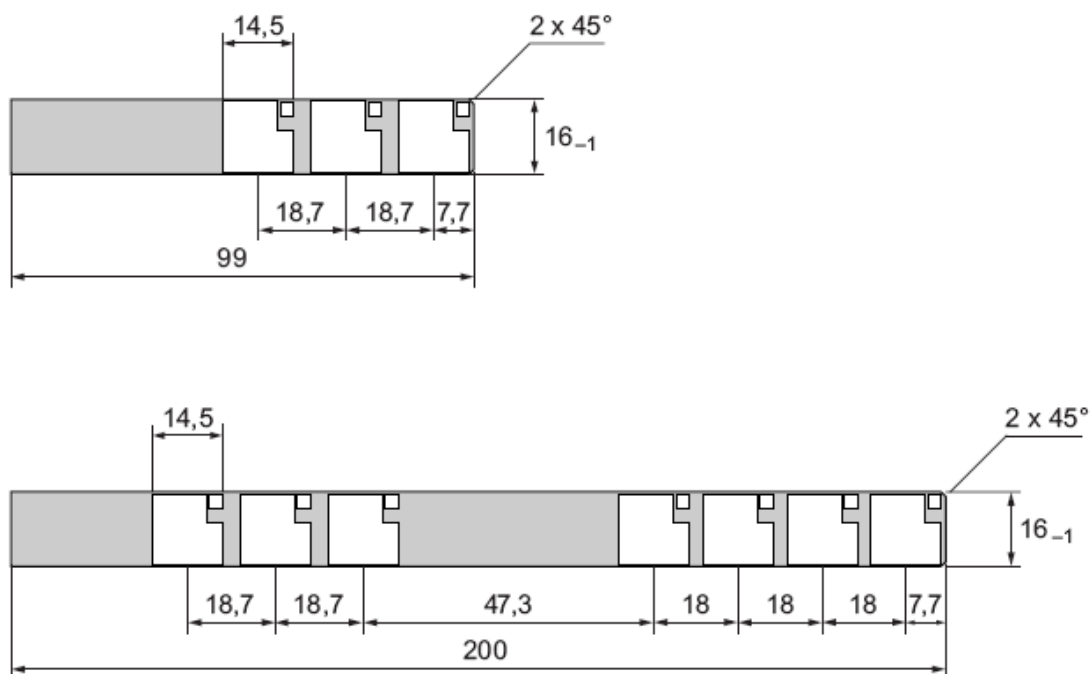
### **IMPRIMIR TIRAS ROTULABLES**

Con WinCC flexible se suministran plantillas para las tiras rotulables. Para más información sobre la ubicación de las plantillas, consulte la Ayuda en pantalla de WinCC flexible.

Para las tiras rotulables se pueden utilizar láminas imprimibles y rotulables. Puede utilizar láminas transparentes, la lámina del teclado del panel de operador está impresa por detrás.

En caso de utilizar las láminas transparentes, los LEDs de las teclas de función permanecen visibles. Las tiras rotulables pueden tener un espesor de 0,15 mm como máximo. Las tiras rotulables de papel no son apropiadas. La figura 100 muestra las dimensiones para las tiras rotulables.

**Figura 100. Dimensiones de las tiras rotulables para el panel OP 177B**



## PROCEDIMIENTO

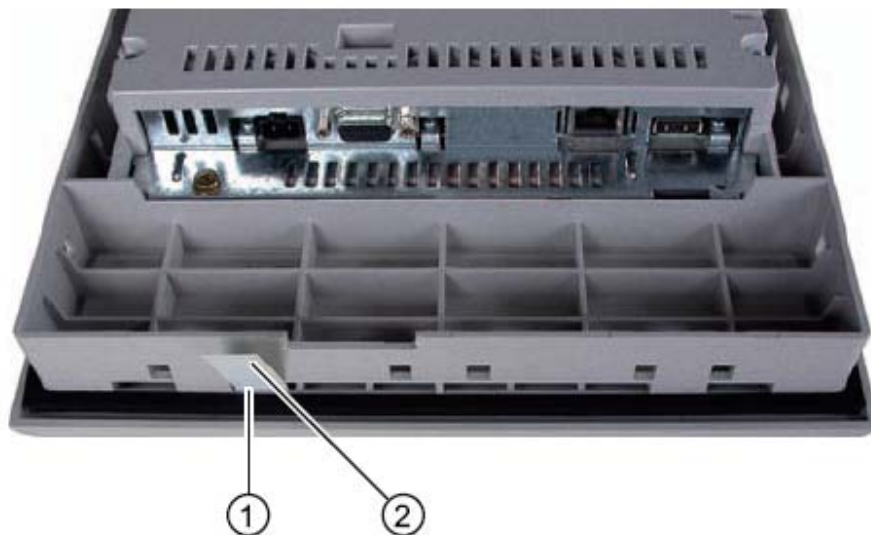
En el OP 177B las guías para las tiras rotulables se encuentran en el lado inferior del panel de operador.

Proceda del siguiente modo:

1. Edite la plantilla e imprímala. Opcionalmente imprima las plantillas sin rotular y rotule después las tiras manualmente.
2. Rocíe las tiras rotulables con spray fijador. El spray fijador sirve para que la impresión sea impermeable al agua e imborrable y, además, para que la tinta de la impresora no manche la lámina del teclado.

3. Recorte las tiras rotulables. Para facilitar la inserción de la tira en la guía, recorte las esquinas de la tira de rotulación como se muestra en la figura anterior.
4. Retire las tiras rotulables insertadas. Antes de insertar las tiras rotulables, espere hasta que se seque la tinta.
5. Inserte la tira de rotulación 2 en la guía 1

**Figura 101. Tiras rotulables del OP 177B**



6. Inserte la tira rotulable hasta el final de la guía. Después de hacerlo, la tira rotulable sobresaldrá aprox. 3 cm de la guía. La plantilla de la tira de rotulación se ha dimensionado de manera que el título de las teclas de función aparezca en el lugar correcto. No es necesario fijar la tira de rotulación adicionalmente.

Al montar el panel de operador, asegúrese de que las tiras rotulables no queden aprisionadas entre el recorte de montaje y el panel.

## ANEXO C. DETALLE DE ORGANIZACIÓN DE LAS BORNERAS

**Tabla 9. Borneras 24 V DC**

BORNERAS 24 V		
1	Línea 24 v pulsador ON/OFF	Negro
2	Línea 24 v	Negro
3	CPU	Rojo
4	Modulo de regulación	Rojo
5	Modulo señales digitales	Rojo
7	Panel de operador	Rojo
8	Proporcional M1	Café
9	Proporcional M2	Café
10	Proporcional M3	Café
11	Vacuostato	Rojo
12	Detector Sx+	Café
13	Detector Sx-	Café
14	Detector Sy+	Café
15	Detector Sy-	Café
16	Detector Sz+	Café
17	Detector Sz-	Café
18	Alimentación pulsadores	Negro
19	Potenciómetro x	Café
20	Potenciómetro y	Café
21	Potenciómetro z	Café

**Tabla 10. Borneras 0 V**

BORNERAS 0 V		
1	Línea 0 v pulsador ON/OFF	Blanco
2	Línea 0 v	Negro
3	CPU	Negro
4	Modulo de regulación	Negro
5	Modulo de regulación	Negro
6	Modulo señales digitales	Negro
8	Panel de operador	Negro
9	Proporcional M1	Blanco

BORNERAS 0 V		
10	Proporcional M2	Blanco
11	Proporcional M3	Blanco
12	Bobina V11	Negro
13	Bobina V12	Negro
14	Bobina V21	Negro
15	Bobina V22	Negro
16	Bobina V3	Negro
17	Bobina V4	Negro
18	Vacoustato V	Negro
19	Bobina regulador	Negro
20	Detector Sx+	Amarillo
21	Detector Sx-	Amarillo
22	Detector Sy+	Amarillo
23	Detector Sy-	Amarillo
24	Detector Sz+	Amarillo
25	Detector Sz-	Amarillo
26	Potenciómetro x	Negro
27	Potenciómetro y	Negro
28	Potenciómetro z	Negro

**Tabla 11. Borneras Tierra**

BORNERAS TIERRA		
1	Línea tierra	Verde
2	Bobina V11	Café
3	Bobina V12	Café
4	Bobina V21	Café
5	Bobina V22	Café
6	Bobina V3	Café
7	Bobina V4	Café

8	Bobina regulador	Verde
9	Potenciómetro x	Blanco
10	Potenciómetro y	Blanco
11	Potenciómetro z	Blanco
12	Panel de operador	Verde

**Tabla 12. Entradas del autómata**

ENTRADAS			
1	Potenciómetro M1	Verde	Canal 2
2	Potenciómetro M2	Verde	Canal 3
3	Potenciómetro M3	Verde	Canal 4
4	Vacuostato	Azul	E124.0
5	Detector Sx+	Negro	E124.1
6	Detector Sx-	Negro	E124.2
7	Detector Sy+	Negro	E124.3
8	Detector Sy-	Negro	E124.4
9	Detector Sz+	Negro	E124.5
10	Detector Sz-	Negro	E124.6
11	Selector de modo	Rojo	E124.7
12	Selector de modo	Rojo	E125.0
13	Pulsador de marcha	Rojo	E125.1
14	Pulsador de succión	Rojo	E125.2
15	Parada de emergencia	Rojo	E125.3
16	Pulsador de movimiento -	Rojo	E125.4
17	Pulsador de movimiento +	Rojo	E125.5
18	Selector de eje	Rojo	E125.6
19	Selector de eje	Rojo	E125.7

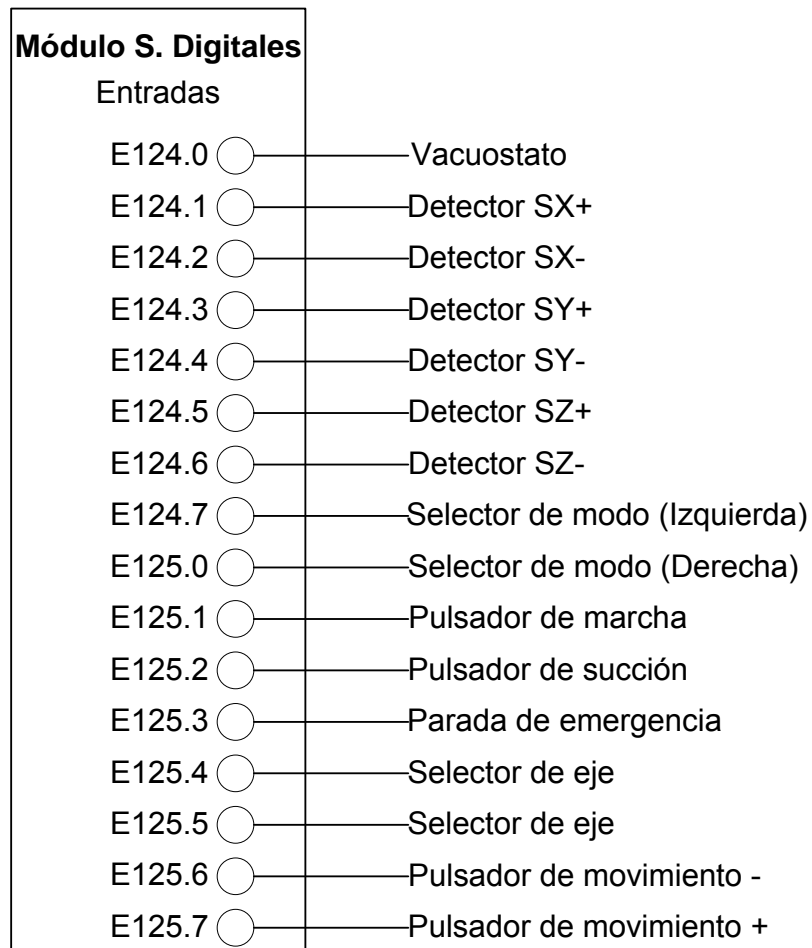
**Tabla 13. Salidas del autómata**

SALIDAS			
1	Proporcional M1	Verde	Canal 1
2	Proporcional M2	Amarillo	Canal 1
3	Proporcional M1	Verde	Canal 2
4	Proporcional M2	Amarillo	Canal 2
5	Proporcional M1	Verde	Canal 3
6	Proporcional M2	Amarillo	Canal 3

SALIDAS			
7	Bobina regulador	Negro	A124.0
8	Bobina V11	Rojo	A124.1
9	Bobina V12	Rojo	A124.2
10	Bobina V21	Rojo	A124.3
11	Bobina V22	Rojo	A124.4
12	Bobina V3	Rojo	A124.5
13	Bobina V4	Rojo	A124.6

## ANEXO D. ESQUEMAS DE CONEXIONES DEL AUTOMATA

Figura 102. Esquema de conexiones de entradas digitales



**Figura 103. Esquema de conexiones de salidas digitales**

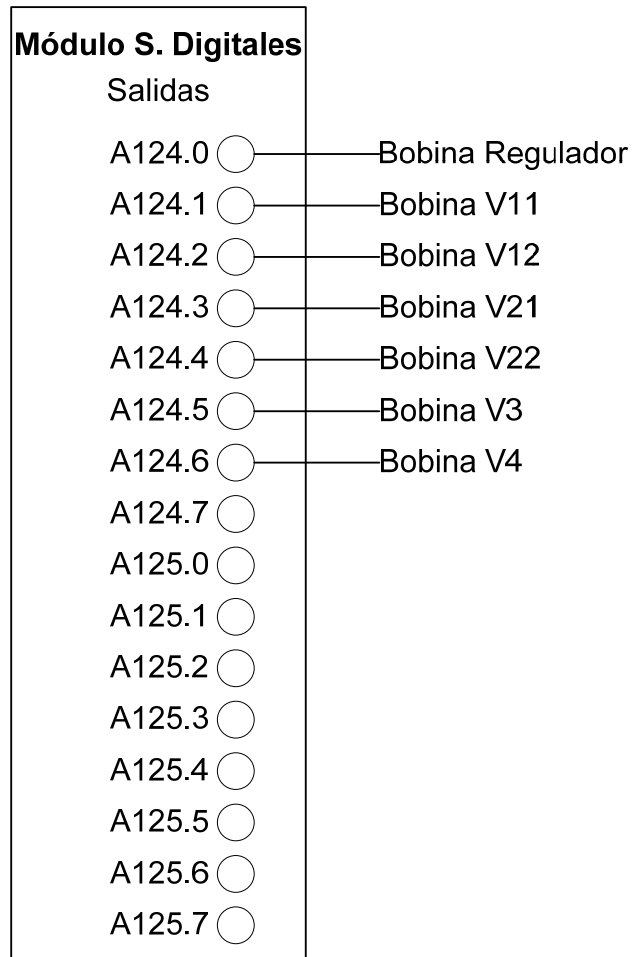


Figura 104. Esquema de conexiones de entradas del módulo FM 355C

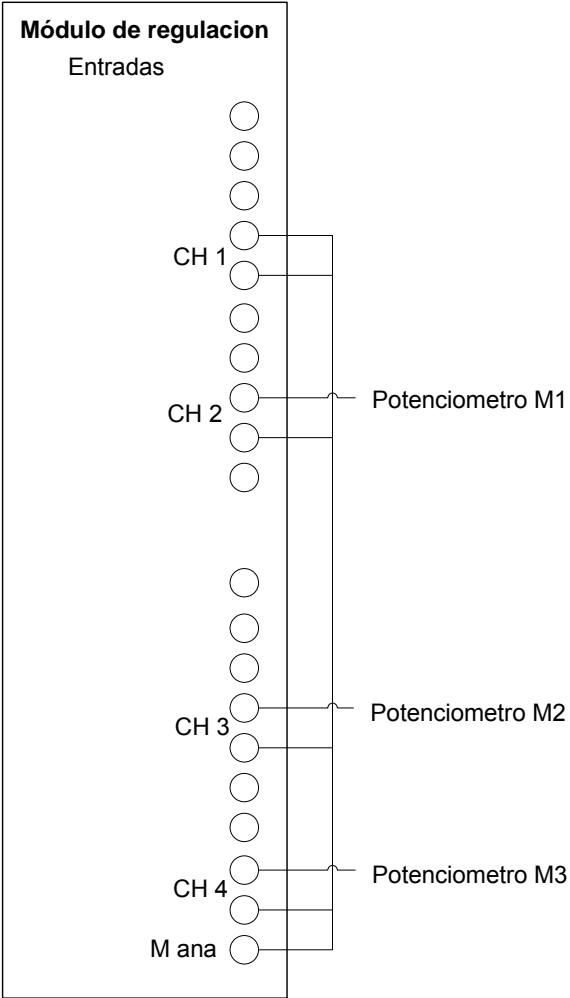
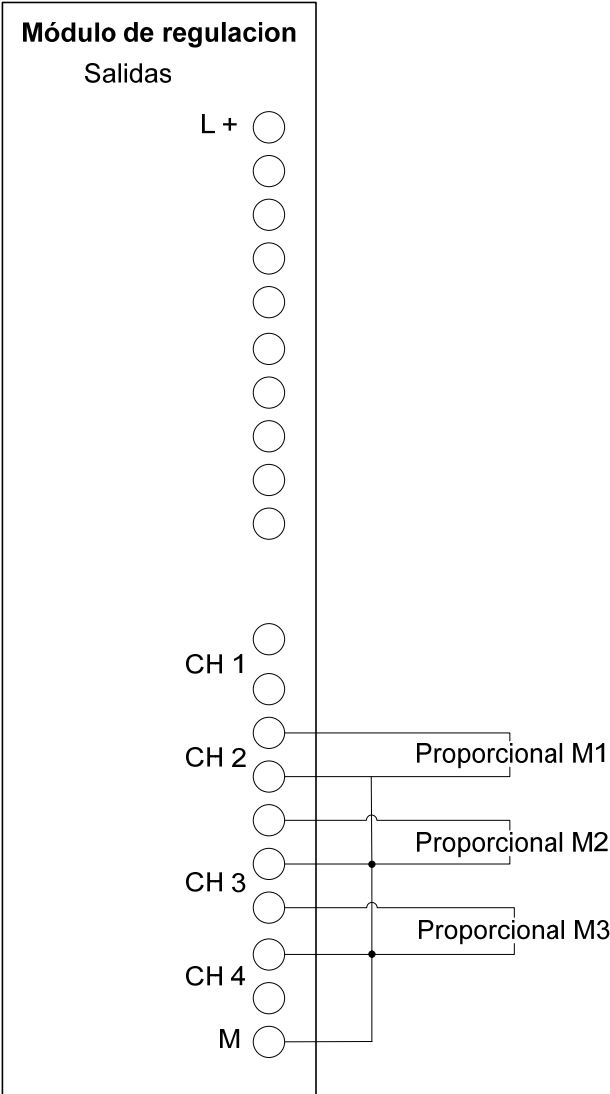
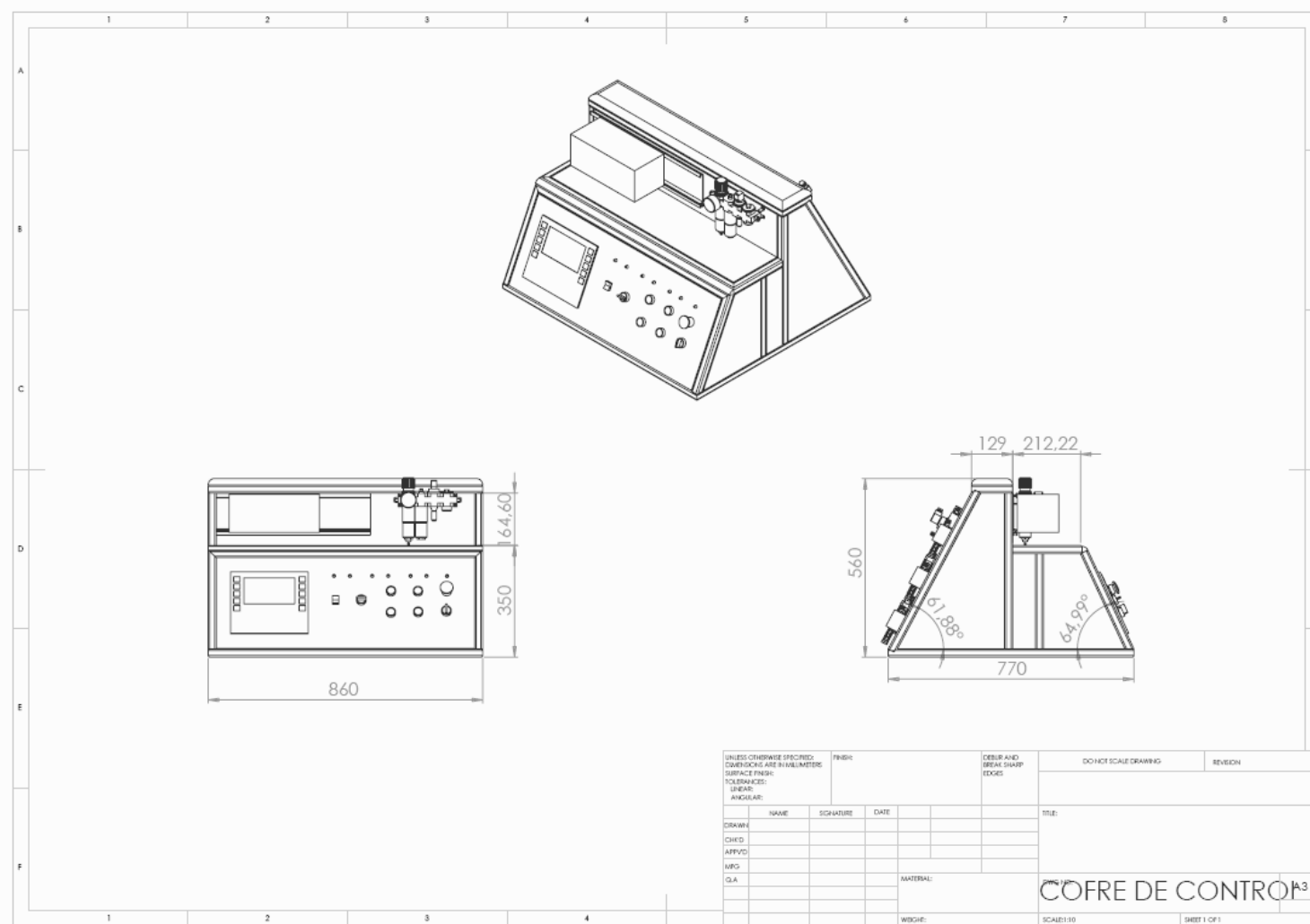


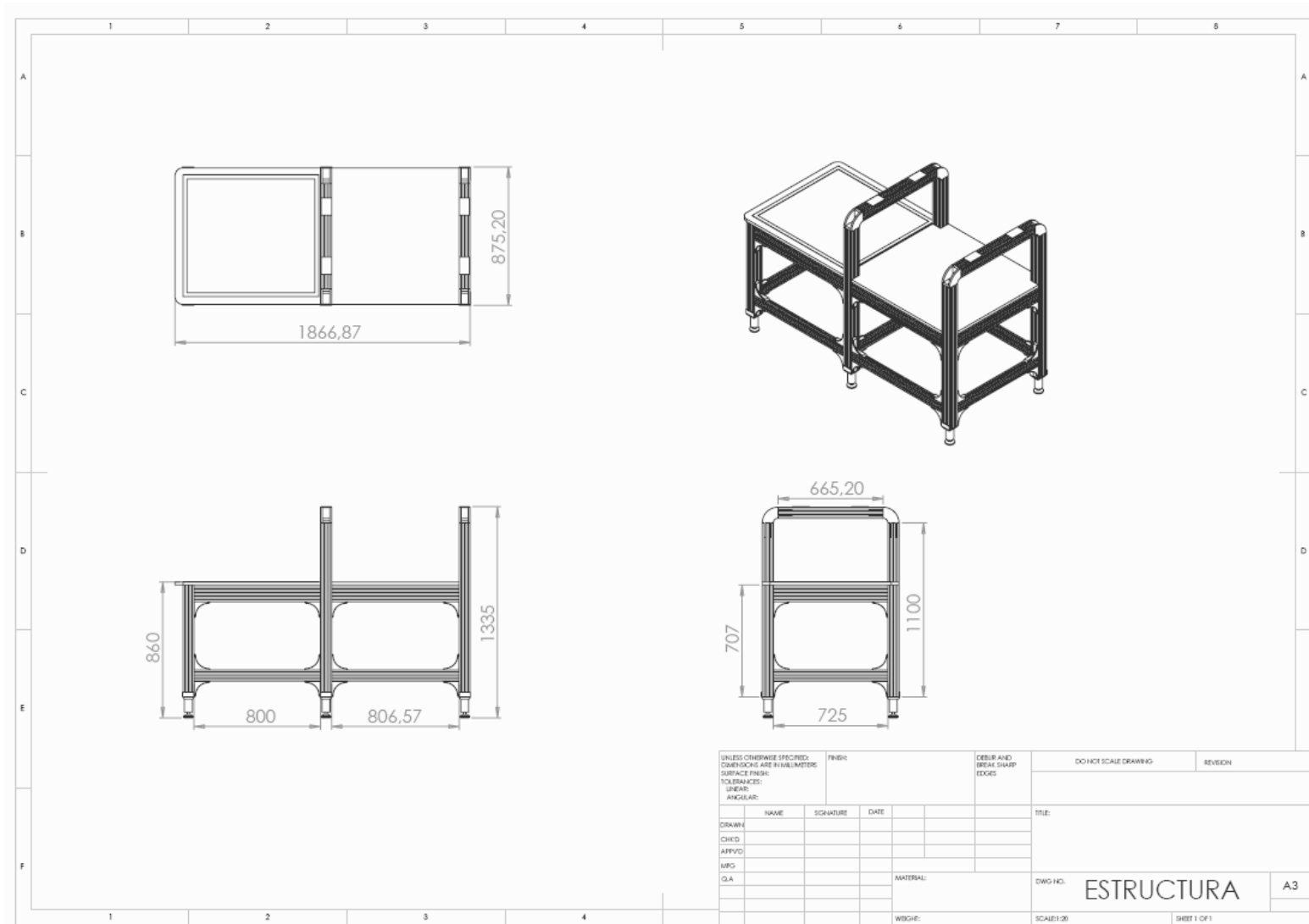
Figura 105. Esquema de conexiones de salidas del módulo FM 355C

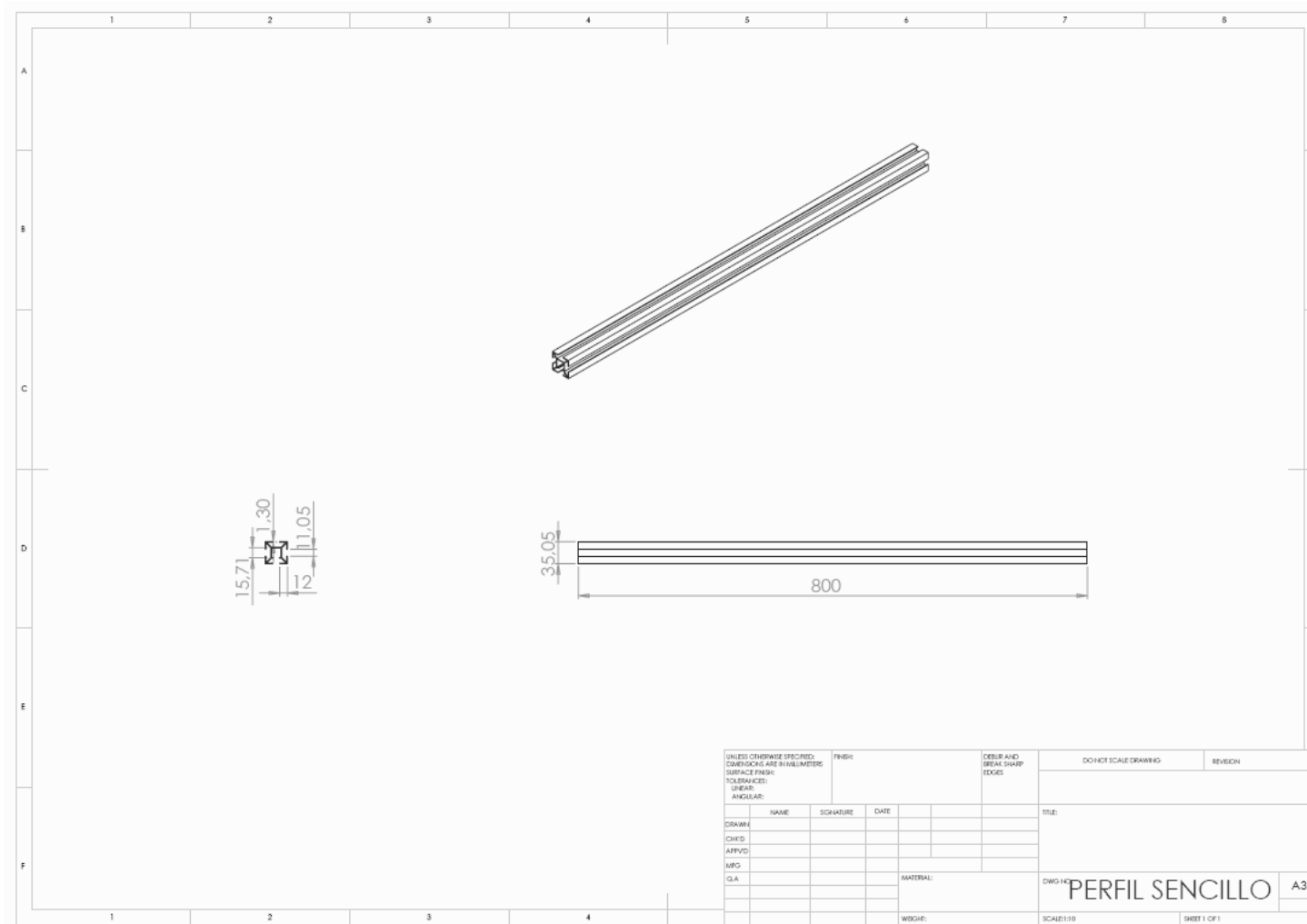


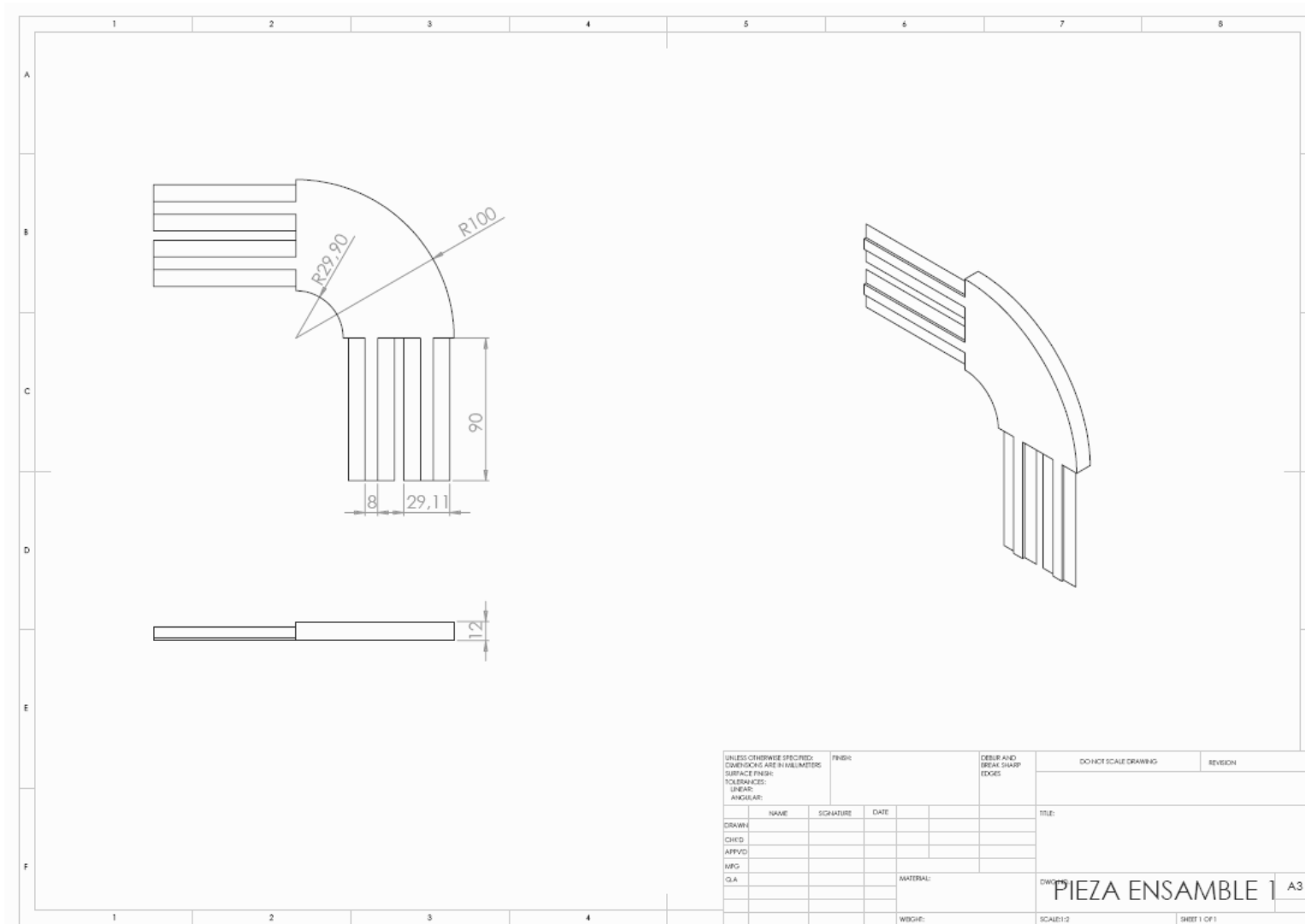
## ANEXO E. PLANOS



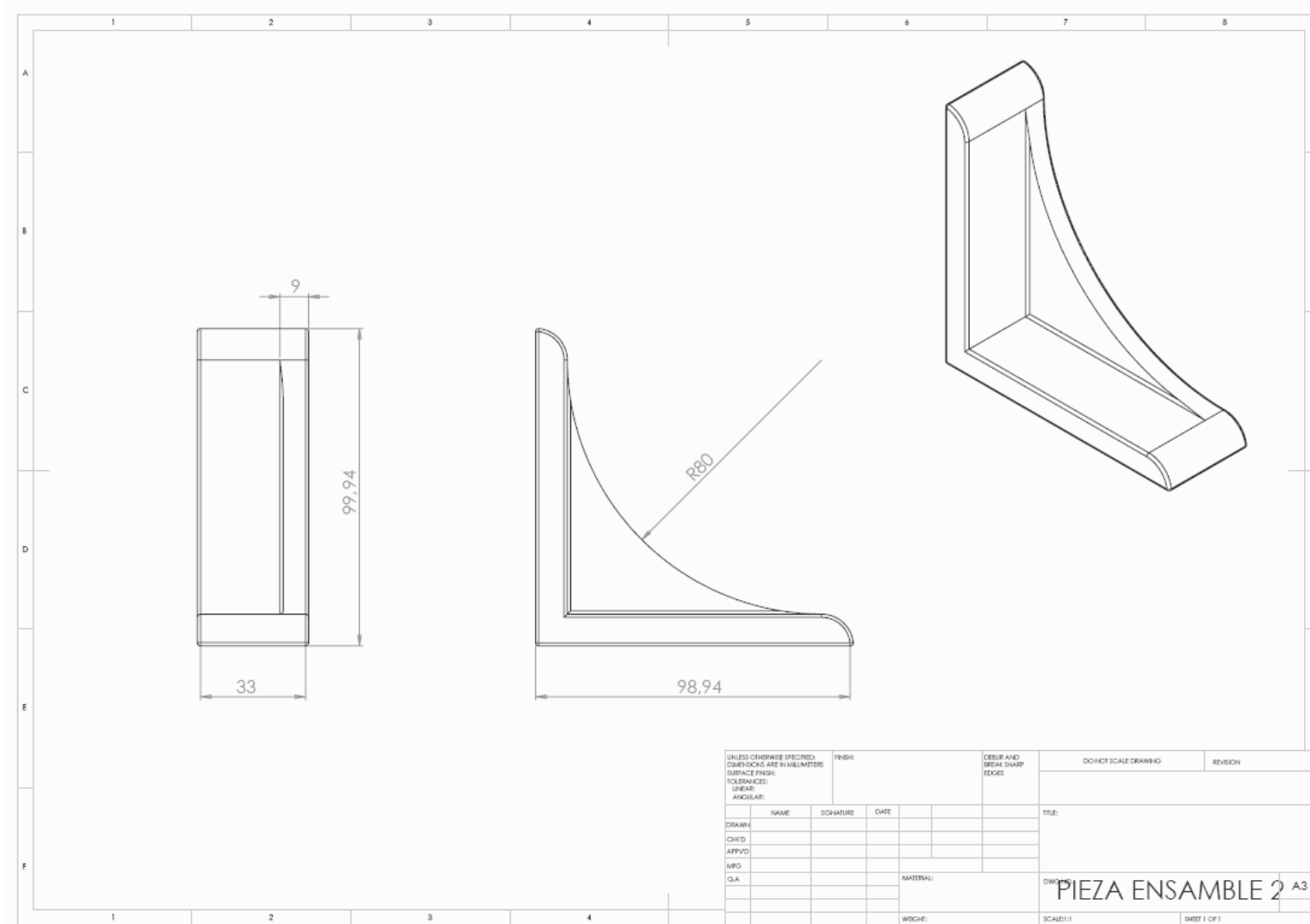


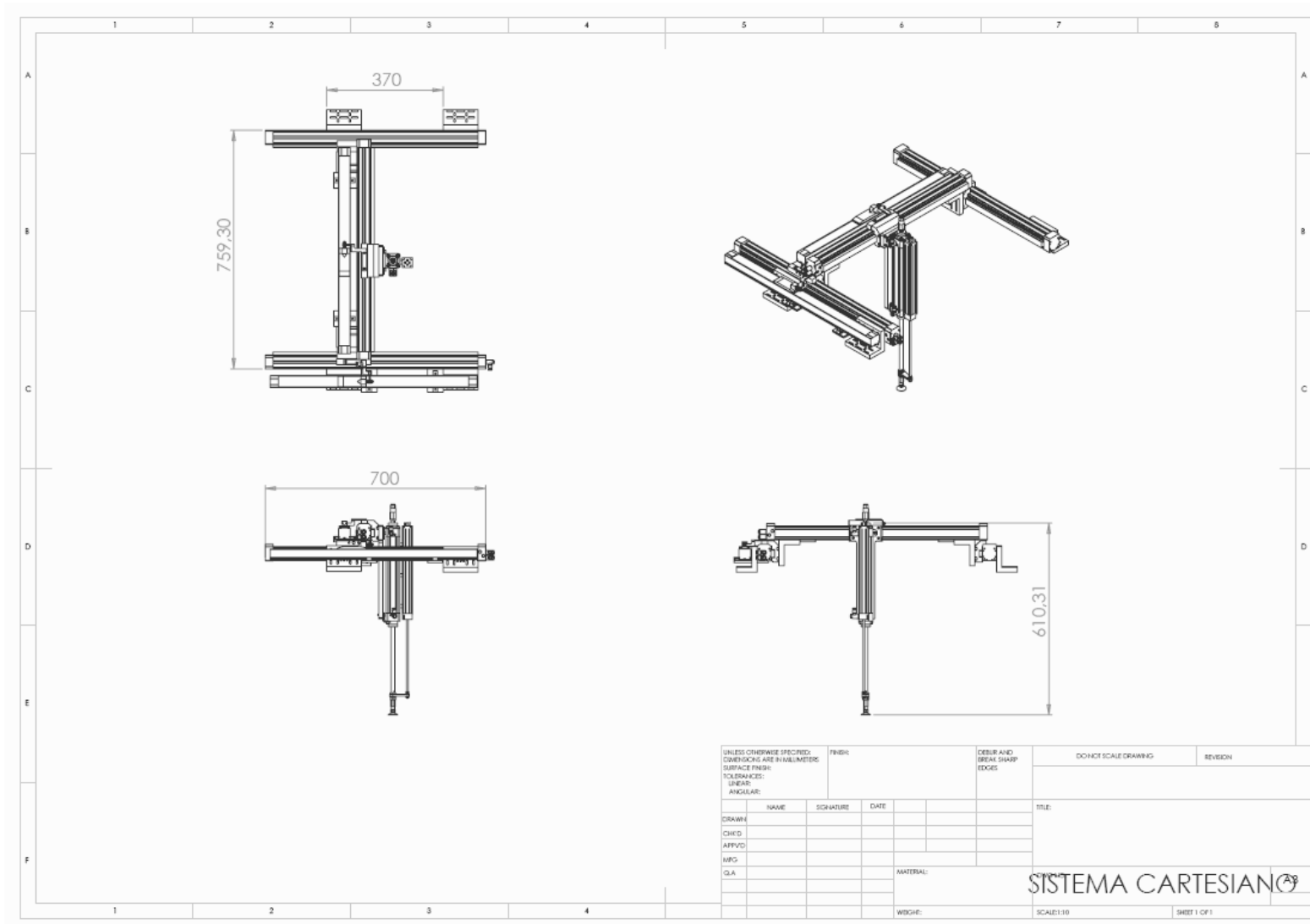






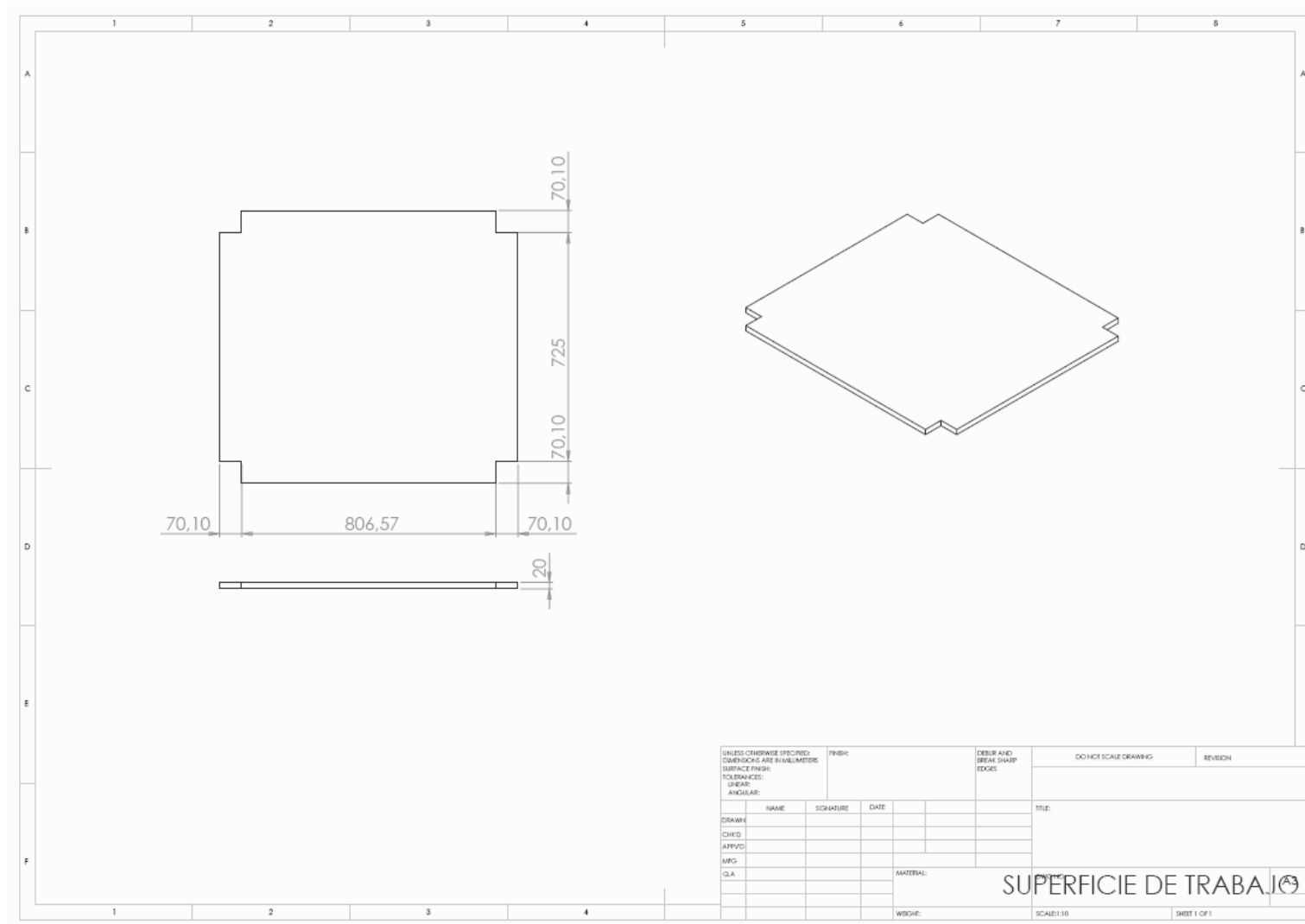
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		FILLS AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:			TOLERANCES:		LINEAR:		ANGULAR:		TITLE:	
DRAWN:			NAME		SIGNATURE		DATE		MATERIAL:	
CHK'D:									DWG NO:	
APP'D:									PIEZA ENSAMBLE 1	
MFG:									A3	
Q.A.:									SCALE: 1:2	
									SHEET 1 OF 1	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN:	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:	
CHECKED:						
APPROVED:						
MFG:						
QA:						
				MATERIAL:		
				WEIGHT:	SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1

SISTEMA CARTESIANO



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
CHECKED									
APPROVED									
WPG									
G.A.									
					MATERIAL:				
					WEIGHT:	SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	

SUPERFICIE DE TRABAJO

