

**ADECUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA DEL
LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BAJO LA PLATAFORMA
ARDUINO PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS**

**HENRY ALFONSO ORTÍZ MALDONADO
JUAN FERNANDO RAMÍREZ JAIMES**

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

2016

**ADECUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA DEL
LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BAJO LA PLATAFORMA
ARDUINO PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS**

**HENRY ALFONSO ORTÍZ MALDONADO
JUAN FERNANDO RAMÍREZ JAIMES**

**Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Mecánico**

**Director
M.s.C JORGE ENRIQUE MENESES FLOREZ
Ingeniero Mecánico**

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

2016

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Jorge Enrique Meneses Flórez, Director de este proyecto, por todas las enseñanzas y aportes brindados no solo durante el desarrollo de este proyecto, sino también durante toda nuestra carrera universitaria.

A todo nuestro compañero del laboratorio de Automatización industrial por su constante apoyo durante la realización de todo el proyecto.

A todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

Los Autores.

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso por permitirme alcanzar esta meta.

*A mi madre Ana S. Jaimes por forjar el hombre que soy ahora gracias a su amor,
comprensión y apoyo incondicional.*

A mi hermano Jaime por sus consejos y ayuda incondicional.

A mi tía Alix y mi primo Rodrigo por su incondicionalidad y apoyo.

*A Jessica Alvarado por su amor y paciencia durante la realización de este
proyecto.*

A mis amigos por compartir tantos momentos.

JUAN FERNANDO RAMÍREZ JAIMES

DEDICATORIA

A Dios, el que me ha dado fortaleza de continuar para continuar cuando he estado a punto de caer; por ello, con toda humildad dedico primera mente mi trabajo a DIOS.

Agradezco a mis padres Henry Ortiz y Sandra Maldonado fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes son infinitas.

A mi hermana Elizabeth Ortiz por siempre estar a mi lado.

A mis amigos. Que de alguna manera aportaron su granito de arena para lograr esta meta

Henry Alfonso Ortiz Maldonado

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1. ADECUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BAJO LA PLATAFORMA ARDUINO PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS	23
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2. JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	23
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	24
1.3.1. Objetivo General	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	24
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	25
1.5. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)	26
1.5.1. Requerimientos del consumidor.....	26
1.5.2. Parámetros de diseño.....	26
1.5.3. Matriz de calidad.....	28
1.6. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	28
1.6.1. Alternativas	29
1.6.1.1. Alternativa 1: Diseñar un único circuito que sea adaptable a todos los bancos y construir un banco de sensores y preactuadores.....	29
1.6.1.2. Alternativa 2: Construcción del Banco de Preactuadores y Sensores y Adecuación de los Bancos mediante módulos que responda a las necesidades de cada uno de ellos.....	29
1.7. EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES DE DISEÑO.....	30
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS PLCARD DIDACTIC Y DEL BANCO DE PREACTUADORES Y SENSORES	32

2.1 GENERALIDADES DE LAS PLCARD DIDACTIC	37
2.2 GENERALIDADES DEL BANCO DE PREACTUADORES Y SENSORES.....	42
3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL <i>PLCARD DIDACTIC</i>	46
3.1. DESCRIPCION GENERAL	46
3.1.1. Características	47
3.1.2. Especificaciones Técnicas	48
3.2. DISEÑO Del <i>PLCArd Didactic</i>	48
3.3. COMPONENTES DEL <i>PLCArd Didactic</i>	51
3.3.1. Cuerpo del módulo.....	51
3.3.2. Tarjeta de entradas digitales.....	54
3.3.2.1. Descripción de los componentes principales de la tarjeta de entradas.....	56
3.3.3. Tarjeta de salidas.....	57
3.3.3.1. Descripción de los componentes principales de la tarjeta de salidas	58
3.3.4. Tarjetas Indicadora De estados de E/S Leds.....	59
3.3.5. Regulador de voltaje	60
3.3.6 Interface de conexión.....	60
3.3.7. Tarjeta de control Arduino.....	61
3.3.7.1. Arduino uno.....	62
3.3.7.2. Arduino Mega.....	64
3.3.8 Puerto de Alimentacion.....	65
4. MODULO <i>PLCARD DIDACTIC UNO</i>	66
4.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y COMPONENTES.....	66
4.2. DIRECCIONAMIENTO.....	73
5. MODULO <i>PLCARD DIDACTIC MEGA</i>	74
5.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y COMPONENTES.....	75
5.2. ELEMENTOS DE MANEJO E INDICACIÓN.....	77
5.3. DIRECCIONAMIENTO.....	81

6. MODULO <i>PLCARD DIDACTIC MEGA+</i>	83
6.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y COMPONENTES.....	84
6.2. ELEMENTOS DE MANEJO E INDICACION.....	86
6.3. DIRECCIONAMIENTO.....	90
7. BANCO DE PRÁCTICAS DE CONEXIONES DE PREACTUADORES Y SENSORES	91
7.1. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO	93
7.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO.....	95
7.3. COMPONENTES DEL BANCO DE PRÁCTICAS.....	98
7.3.1. Panel de conexión didáctico	98
7.3.2. Panel de preactuadores.....	100
8. MANUAL DE PRÁCTICAS.....	101
9. PRESUPUESTO	108
9.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS <i>PLCARD DIDACTIC</i>	108
9.2. CONSTRUCCIÓN BANCO DE SENSORES Y PREACTUADORES.....	110
10. CONCLUSIONES	111
11. RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFIA	113
ANEXOS	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Identificación de equipos Sensores	29
Figura 2	Esquema representativo.....	30
Figura 3	PLCArd Didactic y Banco de preactuadores y sensores	32
Figura 4	.Bancos del Laboratorio de Automatización Industrial	33
Figura 5	Arquitectura base de <i>PLCArd Didactic</i>	34
Figura 7	Versiones de <i>PLCArd Didactic</i>	36
Figura 8	Banco de actuadores y preactuadores	37
Figura 9.	PLCArd Didactic Uno	38
Figura 10	Bancos de práctica de 2 Hp y 10 Hp (Accionamiento de Motores Eléctricos Basados En Lógica Programada).....	39
Figura 11	.PLCArd Didactic Mega.....	40
Figura 12	.Banco de Vagonetas y Conexiones Neumáticas	41
Figura 13	.PLCArd Didactic Mega+.....	42
Figura 14	.Banco de prácticas.....	42
Figura 15	.Modelamiento Banco de Preactuadores y Sensores	44
Figura 16	elementos banco de sensores y preactuadores.....	45
Figura 17	Versiones PLCArD Didactic.....	47
Figura 18	Esquemática de los Elementos que Componen el PLCArD Didactic.....	49
Figura 19	Primer modelo CAD	49
Figura 20	Figura 21.Primer Prototipo.	50
Figura 22	Segundo prototipo.....	50
Figura 23	Dimensiones mínimas de la caja HACER	51
Figura 24	Cajas de Aluminio	52
Figura 25	Proceso de taladrado del panel superior de los PLCArD Didactic.	53
Figura 26	Tarjeta de entradas digitales.	54
Figura 27	Diagrama esquemático de una de las entradas.....	55
Figura 28	Optoacoplador y diagrama interno de conexión.....	56

Figura 29 .Transceptor 74LS245N y diagrama interno de conexión.	56
Figura 30 Tarjeta de salidas.....	57
Figura 31 Diagrama esquemático de una de las salidas.....	57
Figura 32 Relé y diagrama interno de conexión.....	58
Figura 33 Tarjetas indicadoras de estado de E/S leds.....	59
Figura 34 Diagrama esquemático de la tarjeta indicadora de estados.....	59
Figura 35 Regulador de voltaje.	60
Figura 36 .Tipo de conexión de las E/S de los bancos de prácticas.	61
Figura 37 Figura 38 .Bornera tipo banana y conector SysLink.....	61
Figura 39 Arduino Uno.	63
Figura 40 Arduino Mega2560.....	65
Figura 41 .Conector hembra DIN XLR de 3 pines.	65
Figura 42 .PLCArd Didactic Uno.	66
Figura 43. Despiece del módulo PLCArd Didactic Uno.....	68
Figura 44.Vista Frontal <i>PLCArd Didactic Uno</i>	69
Figura 45.Vista superior PLCArd Didactic Uno.	69
Figura 46 Código de colores.	70
Figura 47. Componentes Internos del PLCArd Didactic Uno.	71
Figura 48.Diagrama de conexiones del PLCArd Didactic Uno.....	72
Figura 49 PLCArd Didactic Mega.....	74
Figura 50 Despiece del módulo PLCArd Didactic Mega.	76
Figura 51 Vista Frontal PLCArd Didactic Mega.....	77
Figura 52 . Vista superior PLCArd Didactic Mega.	77
Figura 53 .Componentes Internos del PLCArd Didactic Mega.	78
Figura 54. Diagrama de conexiones del PLCArd Didactic Mega primer bloque. ...	79
Figura 55 .Diagrama de conexiones del PLCArd Didactic Mega segundo bloque.	80
Figura 56 .PLCArd Didactic Mega+.....	83
Figura 57 .Despiece del módulo PLCArd Didactic Mega+.	85
Figura 58 Vista Frontal PLCArd Didactic Mega+.....	86

Figura 59 Vista superior PLCard Didactic Mega+.....	86
Figura 60 Diagrama de conexiones del PLCard Didactic + Mega primer bloque..	88
Figura 61. Diagrama de conexiones del PLCard Didactic + Mega segundo bloque.	89
Figura 62.Banco de Preactuadores y Sensores.....	91
Figura 63 .Esquema de un sistema de control	93
Figura 64 Diseño CAD de la estación de trabajo.	94
Figura 65 Construcción de la estación de trabajo.	96
Figura 66 Platina de acero con el logo de la Universidad Industrial de Santander.	97
Figura 67 Vista Frontal y Posterior de la Estación de Trabajo.	98
Figura 68 Panel de conexión didáctico	99
Figura 69. Panel de conexiones.....	100
Figura 70. Panel de preactuadores.....	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	.Requerimientos del consumidor.	26
Tabla 2	Parámetros de diseño.	27
Tabla 3	Matriz de calidad.	28
Tabla 4	.Evaluación de las opciones de diseño.....	31
Tabla 5	Comparativo de los módulos PLCard Didactic	36
Tabla 6	Especificaciones generales del PLCard Didactic Uno.....	38
Tabla 7	.Especificaciones generales del PLCard Didactic Mega.	40
Tabla 8	Características de las Tarjetas Arduino.	62
Tabla 9	.Características técnicas Arduino Uno.....	63
Tabla 10	.Componentes de la tarjeta Arduino Uno.....	64
Tabla 11	Características técnicas Arduino Mega2560.	64
Tabla 12	Tabla 13.Componentes de la tarjeta Arduino Mega2560.	65
Tabla 14	Especificaciones Técnicas del PLCard Didactic Uno.	67
Tabla 15	Componentes del PLCard Didactic Uno.....	68
Tabla 16	Direccionamiento entre las E/S del PLCard Didactic Uno y la Arduino.	73
Tabla 17	Especificaciones Técnicas del PLCard Didactic Mega.....	75
Tabla 18	.Componentes del PLCard Didactic Mega.	76
Tabla 19	Tabla de direcciones E/S del PLCard Didactic MEGA para el banco de vagonetas	81
Tabla 20	Tabla de direcciones E/S del PLCard Didactic MEGA+ para el banco de conexiones neumáticas.....	82
Tabla 21	.Especificaciones Técnicas del <i>PLCArd Didactic Mega+</i>	84
Tabla 22	.Componentes <i>PLCArd Didactic Mega+</i>	85
Tabla 23	Tabla de direcciones E/S del PLCard Didactic MEGA+ y la tarjeta Arduino.....	90
Tabla 24	.Criterios de diseño.	94

Tabla 25	Elementos estación de trabajo	95
Tabla 26	El sistema consta de 3 pulsadores (P1, P2, P3) que indican el sentido de giro del motor	103
Tabla 27	Direccionamiento PLC Ard Didactic UNO	104
Tabla 28	.Presupuesto general.	108
Tabla 29	Presupuesto Ejecutado PLC Ard Didactic UNO.	109
Tabla 30	.Presupuesto Ejecutado PLC Ard Didactic mega y mega+.	109
Tabla 31	Presupuesto ejecutado banco de sensores y preactuadores.	110

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.Banco de motor eléctrico de 2hp.....	114
Anexo B. Banco de motor eléctrico de 10hp.....	116
Anexo C .Banco de conexiones neumáticas.....	118
Anexo D esquema eléctrico tarjeta de estados PLCard Didactic uno.....	120
Anexo E Conexión de tarjeta de led's indicadores PLCard Didactic UNO.....	121
Anexo F Circuito impreso PLCard Didactic Mega Y Mega +	122
Anexo G Diagrama de conexiones Tarjeta led's PLCard Didactic MEGA Y MEGA+	123
Anexo H Circuito impreso conector syslink.....	124
Anexo I Esquema eléctrico Tarjeta de entradas.	125
Anexo J Conexión tarjeta de entradas	126
Anexo K Plano circuito impreso	127
Anexo L Plano caja de aluminio.....	128
Anexo M.Plano PLC Didactic UNO	129
Anexo N.PLCard Didactic MEGA y MEGA+	131
Anexo O.Planos banco de sensores y preactuadores.	133
Anexo P.Componentes banco de sensores y preactuadores	135

RESUMEN

TÍTULO: ADECUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BAJO LA PLATAFORMA ARDUINO PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS

AUTORES: Henry Alfonso Ortiz Maldonado
Juan Fernando Ramírez Jaimes

PALBRAS CLAVE: Módulo de control, PLCard, PLC, preactuadores, sensores, Laboratorio de Automatización Industrial, Mecatrónicos.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto aprovecho la oportunidad de adecuar los bancos del Laboratorio de Automatización Industrial, para ser usados en la asignatura de Sistemas Mecatrónicos mediante la implementación de unos circuitos que permiten el manejo de señales digitales. La realización de este proyecto se dio en dos fases: La primera fase consistió en el diseño y desarrollo de unos módulos de control, estos módulos son unos dispositivos didácticos que tiene como propósito brindar una posibilidad real de control usando una tarjeta Arduino, son nombrados PLCard Didactic haciendo alusión a su función y al controlador usado, sus salidas y entradas operaran a tensiones de 24 Vdc, lo que es habitual en elementos de su tipo, dicha característica permite que sea posible remplazar un PLC de características similares por uno de estos módulos. Todos los circuitos que componen estos módulos de control están dispuestos sobre una base en acrílico dentro de un cuerpo de aluminio, donde se combina la funcionalidad y el diseño de manera óptima para que el producto final tenga una arquitectura moderna y robusta.

La segunda fase comprendió el diseño y construcción de un banco de prácticas de conexiones de preactuadores y sensores con control dual (PLC y Arduino), este se diseñó pensando en las debilidades de los bancos existentes en el Laboratorio de Automatización Industrial. Mientras que estos tienen todos sus componentes fijos y son poco claros en las conexiones de los elementos, el banco de Preactuadores y Sensores, permite diferentes configuraciones y le ofrece al estudiante la comprensión del funcionamiento de los sensores de 2, 3 y 4 hilos. En la parte de preactuadores se espera que el estudiante comprenda que estos manejan tanto un fluido de potencia, como un fluido de control, los preactuadores que se usan en el banco son electroválvulas, relés, y contactores.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: MSc. Ing. Jorge Enrique Meneses Flórez.

ABSTRACT

TITLE: ADAPTATION AND IMPLEMENTATION OF A TESTING BENCH FOR THE INDUSTRIAL AUTOMATION LABORATORY UNDER ARDUINO PLATFORM DESIGNED FOR THE MECHATRONIC SYSTEMS COURSE

AUTHORS: Henry Alfonso Ortiz Maldonado
Juan Fernando Ramírez Jaimes

KEYWORD: Control Module, plc card, PLC, pre-actuators, sensors, Laboratory of Industrial Automation, Mechatronics

DESCRIPTION:

This project took the opportunity to adapt the banks of the Laboratory of Industrial Automation, for use in the course of mechatronic systems by implementing circuits that allow the handling of digital signals. The realization of this project took place in two phases: The first phase consisted of the design and development of a control module, these modules are a teaching device that aims to provide a real possibility of control using an Arduino board they are appointed plc card Didactic referring to its function and the controller used, their inputs and outputs operate at voltages of 24 Vdc, which is usual for items of its type, this feature allows it to be possible to replace a PLC with similar characteristics for one of these modules. All circuits that make up these control modules are arranged on a base within an acrylic aluminum body where functionality and design optimally combined so that the final product has a modern and robust architecture.

The second phase involved the design and construction of a bank of practical connections pre-actuators and sensors with dual control (PLC and Arduino), it was designed with the weaknesses of the existing banks in the Laboratory of Industrial Automation. While these are all fixed components and are unclear on the connections of the elements, the bank's pre-actuators and sensors, you can have different configurations and offers the student the simple understanding of the operation of the sensors 2, 3 and 4-wire and that some of them require an external power source to generate the signal. In the part of pre-actuators is expected that the student understands that these handle both fluid power and fluid control, pre-actuators used in the bank are solenoids, relays, and contactors.

* Thesis work.

** Faculty of Physical-Mechanics Engineering. School of Mechanical Engineering. Project Director: MSc. Ing. Jorge Enrique Meneses Flórez.

INTRODUCCIÓN

El programa de formación en ingeniería mecánica se fundamenta en las matemáticas, las ciencias y tecnologías. En la actualidad el ritmo acelerado de los avances tecnológicos y las tendencias de competitividad han generado que la informática, la electrónica y la ingeniería mecánica estén estrechamente ligadas a cualquier proyecto. Este hecho ha obligado a que el perfil del ingeniero mecánico tenga ciertas destrezas y habilidades para adaptarse a esta realidad.

Con el fin de cumplir con dicho perfil profesional se aprovecha la oportunidad de adecuar los bancos del laboratorio de automatización industrial, bancos para ser usados en la asignatura de sistemas Mecatrónicos, y de esta manera brindar a los estudiantes elementos en los que logren adquirir destrezas y conocimientos requeridos al momento de enfrentarse a un ambiente industrial.

Por esta razón se realiza el presente proyecto de grado titulado “ADECUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BAJO LA PLATAFORMA ARDUINO PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS”. Este proyecto consiste en diseñar módulos de control basados en Arduino, en el diseño y construcción de un banco de preactuadores y sensores y en la creación de un manual de prácticas cuyo objetivo es afianzar en los estudiantes sus conocimientos teóricos, todo esto para contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander.

El presente documento consta de 11 capítulos y 14 anexos, en ellos se describe el proceso de diseño de los módulos de control denominados PLCard Didactic y el diseño y construcción de un banco de preactuadores y sensores. El primer capítulo plantea el motivo por el cual se realizó este proyecto junto con la descripción y la alternativa ganadora. En el segundo capítulo se expone una

descripción general de los módulos de control y del diseño y construcción del banco de prácticas, que le permitirán al lector desarrollar una idea global del proyecto y comprender lo tratado en este. El tercer capítulo trata del diseño de los módulos de control y sus componentes principales. En el cuarto, quinto y sexto capítulo se detalla cada modelo, sus especificaciones técnicas, parámetros de diseño y diagrama de conexiones. El séptimo capítulo explica el diseño y construcción de un banco de preactuadores y sensores, muestra los componentes del banco, el proceso de diseño, su construcción y los elementos que lo conforman. El octavo capítulo comprende una guía de laboratorio con una serie de ejercicios prácticos que se ajustan al contenido de las materias Sistemas Mecatrónicos I y Sistemas Mecatrónicos II. En el noveno capítulo se evalúa el presupuesto con el cual fue ejecutado el proyecto y, para finalizar, en el décimo capítulo se exponen las respectivas conclusiones y recomendaciones para el uso correcto y adecuado de los elementos diseñados.

1. ADECUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BAJO LA PLATAFORMA ARDUINO PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Escuela de Ingeniería Mecánica adscrita a la Universidad Industrial de Santander tiene por misión la formación de estudiantes con alta calidad ética, política, técnica y científica. Gracias a la asignatura de sistemas Mecatrónicos I los estudiantes de ingeniería mecánica adquieren conocimientos fundamentales como automatización, sensores, actuadores eléctricos, motores paso a paso, etc., que desarrollan sus competencias para analizar y solucionar problemas de la vida cotidiana. Lamentablemente, este desarrollo de competencias se ve truncado en la parte práctica, ya que dicha asignatura no ofrece la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en un laboratorio o en bancos de pruebas, tal como sí ocurre en la asignatura sistemas Mecatrónicos II que permite a sus estudiantes aplicar la teoría en el laboratorio de automatización industrial.

1.2. JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad Industrial de Santander ofrece respuesta a los problemas que la sociedad le plantea. Por esta razón la investigación es fundamental para alcanzar el nivel de excelencia deseado en profesionales capacitados para transformar la realidad del mundo laboral.

Para que esto sea posible es necesario facilitarle al estudiante todas las herramientas y elementos, tal como sucede actualmente en el laboratorio de automatización industrial de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Este cuenta con

bancos de prácticas para la asignatura SISTEMAS MECATRÓNICOS II, cuyo control se basa en la utilización de PLC`s. Dichos bancos pueden ser utilizados por los estudiantes de la asignatura de SISTEMAS MECATRONICOS I, si se realiza una adaptación de su hardware de control a la plataforma Arduino. De esta manera se daría a los estudiantes la oportunidad de desarrollar habilidades que son consecuencia de una práctica de sus conocimientos teóricos.

1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1. Objetivo General

Contribuir con el proyecto institucional de la Universidad Industrial de Santander de dar solución a diferentes necesidades que se presentan dentro del alma mater, más específicamente en la asignatura de Sistemas Mecatrónicos I al desarrollar una adecuación de los bancos de práctica del Laboratorio de Automatización Industrial a la plataforma Arduino.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir, para la asignatura de Sistemas Mecatrónicos I y Sistemas Mecatrónicos II, un banco de prácticas de conexión de preactuadores y sensores usando un hardware de control dual (PLC y Arduino). Este objetivo incluye el diseño y desarrollo de guías para ejecutar en prácticas.

- Diseñar e implementar el uso de un hardware de control alternativo basado en Arduino para los siguientes bancos:
 - ✓ Banco de motor eléctrico de 2 HP (anexo A)
 - ✓ Banco de motor eléctrico de 10 HP (anexo B)
 - ✓ Banco de conexiones neumáticas (anexo C)
 - ✓ Banco de vagonetas (anexo D)

Este objetivo incluye la adaptación de las guías de laboratorio, así como la inclusión de nuevas prácticas. Es importante aclarar que el modulo a construir no será invasivo ni afectará la estructura actual de los bancos, siendo adaptable y fácilmente extraíble.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La ejecución de este proyecto reduce de manera significativa los costos que implicaría la construcción de un banco de prácticas basado en Arduino, ya que se aprovecha un banco elaborado y de manera indirecta se optimiza el uso del espacio en el laboratorio. Mediante la implementación de un circuito que permite el manejo de señales digitales (entradas y salidas) a 24 Vdc y el uso de una tarjeta Arduino se propone adaptar los siguientes bancos de práctica:

- Banco de Vagonetas
Este objeto de aprendizaje realiza mediante automatismos lógicos la emulación de un proceso industrial real y está compuesto por dos vagonetas y una banda transportadora.
- Banco de 10 HP (Motor eléctrico trifásico de 10 HP)
- Banco de 2 HP (Motor eléctrico trifásico de 2 HP)
Estos objetos de aprendizaje permiten el accionamiento de motores eléctricos basados en lógica programada.
- Banco de Conexiones Neumáticas
Este objeto de aprendizaje permite simular la operación de un sistema de transporte, separación y prensado de materiales, el cual puede ser controlado y supervisado por un sistema SCADA y un panel operador HMI.

Además, se propone la construcción de un banco de sensores y preactuadores con un hardware de control dual (PLC y Arduino), para que los estudiantes puedan

familiarizarse con un entorno similar a un ambiente industrial al realizar las conexiones y al estudiar los preactuadores y sensores.

Basándose en un estudio de selección de las posibles alternativas, y por medio del despliegue de la función calidad (QFD) se seleccionará la mejor solución para el presente proyecto.

1.5. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)

A continuación, se establecen los requerimientos presentados por las personas interesadas en el desarrollo del producto:

1.5.1. Requerimientos del consumidor.

Se ponderaron las diferentes prioridades y demandas del cliente, para determinar la importancia de cada ítem presentado en el siguiente cuadro:

Tabla 1 .Requerimientos del consumidor.

Requerimientos del consumidor	Ponderación
Didáctico	11
Adaptable	10
Resistente	9
Fácil operación	8
Mantenimiento sencillo	7
Seguro	6
Componentes	5
Especificaciones Mecánicas	4
Especificaciones electrónicas	3
Fácil Limpieza	2
Parámetros de las Practicas	1

1.5.2. Parámetros de diseño.

Se plantearon los siguientes parámetros de diseño para responder a las necesidades del cliente:

Tabla 2 Parámetros de diseño.

Parámetros de Diseño
Fácil Montaje
Funcional
Buen aspecto
Costo
Fácil Transporte
Tamaño
Parámetros Ergonómicos
Ruidos
Mantenimiento
Vida Útil

Los requerimientos del cliente, muestran las necesidades que deben introducirse en la matriz calidad (celdas verticales), a las cuales se les asigna valores que definen la importancia para el cliente. A estos requerimientos se contraponen los requisitos de diseño, los cuales irán en la parte superior de la matriz. Para representar esta relación se usa una serie de valores ubicados dentro de las casillas de la matriz de calidad (tabla 3).

1.5.3. Matriz de calidad.

Tabla 3 Matriz de calidad.

Funcion Calidad (QFD)	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO		Fácil Montaje	Funcional	Buen Aspecto	Costo	Fácil Transporte	Tamaño	Parámetros Ergonómicos	Ruido	Mantenimiento	Vida Útil
	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE											
Didáctico	11	9	9	0	0	1	3	3	1	3	0	
		99	99	0	0	11	33	33	11	33	0	
Adaptable	10	9	0	3	9	9	3	0	0	0	0	
		90	0	30	90	10	30	0	0	0	0	
Resistente	9	0	1	0	3	1	3	1	0	3	9	
		0	9	0	27	9	27	9	0	27	81	
Fácil Operación	8	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	
		0	24	0	0	8	0	0	0	0	0	
Mantenimiento Sencillo	7	9	3	0	0	0	3	3	1	9	9	
		63	21	0	0	0	21	21	7	63	63	
Seguro	6	9	9	0	0	0	0	0	0	3	0	
		54	54	0	0	0	0	0	0	18	0	
Componentes	5	1	0	0	3	3	0	0	0	0	0	
		5	0	0	15	15	0	0	0	0	0	
Especificaciones Mecánicas	4	0	9	0	0	0	0	0	0	9	0	
		0	36	0	0	0	0	0	0	36	0	
Especificaciones Electrónicas	3	0	0	0	1	0	0	9	0	0	0	
		0	0	0	3	0	0	27	0	0	0	
Fácil Limpieza	2	1	1	3	0	0	1	0	0	0	0	
		2	2	6	0	0	2	0	0	0	0	
Parámetros de las Practicas	1	0	0	0	9	0	0	0	0	3	0	
		0	0	0	9	0	0	0	0	3	0	

1.6. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

A continuación, se plantean las posibles soluciones del proyecto.

- Banco de Motor Eléctrico de 2 HP
- Banco de Motor Eléctrico de 10 HP
- Banco de Conexiones Neumáticas
- Banco de Vagonetas
- Construcción del Banco de sensores y Preactuadores

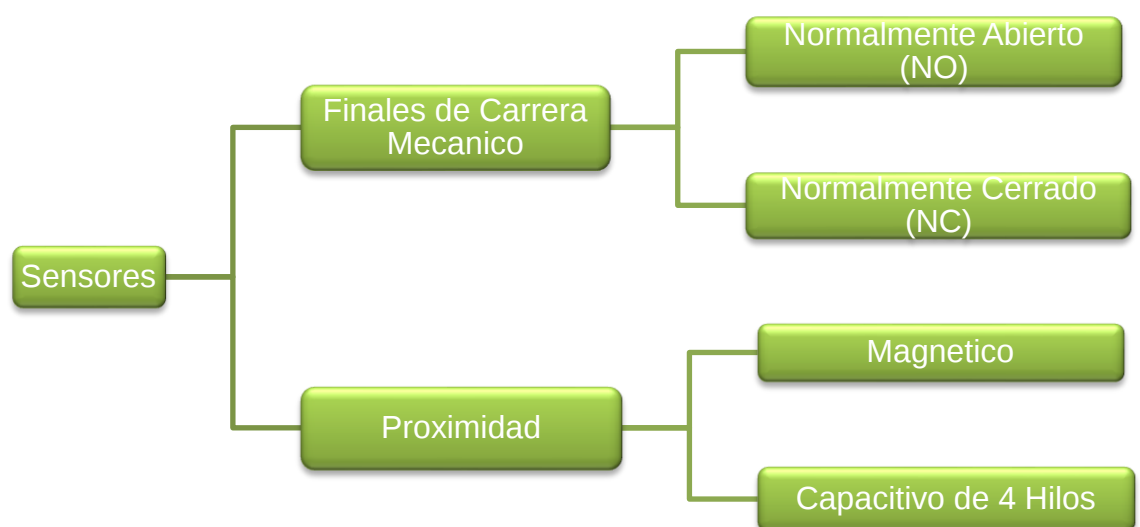
1.6.1. Alternativas

1.6.1.1. Alternativa 1: Diseñar un único circuito que sea adaptable a todos los bancos y construir un banco de sensores y preactuadores. Se plantea diseñar un único elemento tipo board, este será compatible con los bancos existentes en el laboratorio de Automatización industrial

1.6.1.2. Alternativa 2: Construcción del Banco de Preactuadores y Sensores y Adecuación de los Bancos mediante módulos que responda a las necesidades de cada uno de ellos . Se plantea trabajar con los bancos existentes en el laboratorio de Automatización Industrial. Para ello se adaptan mediante la implementación de un módulo que llevará un controlador basado en Arduino, se harán circuitos independientes para sus entradas y salidas que pueden recibir señales de una variedad de sensores y controlar motores y otros actuadores.

Este banco estará equipado con un controlador dual, se usará el autómeta S7-300 de la empresa SIEMENS y un módulo de control basado en una tarjeta Arduino.

Figura 1 Identificación de equipos Sensores

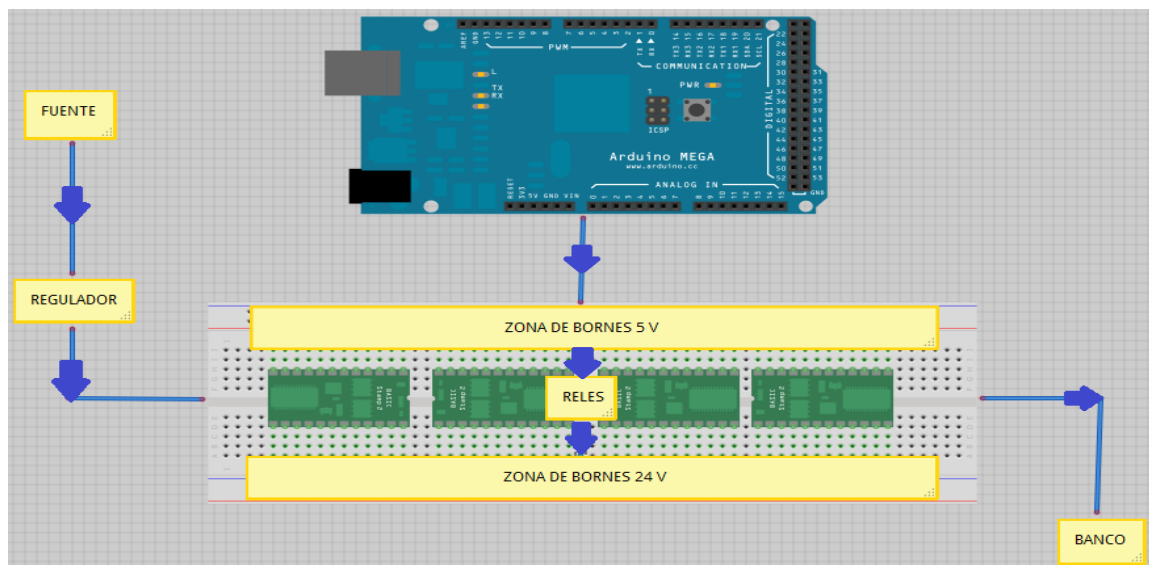


Adecuación de los Bancos:

- **Banco de Motor Eléctrico de 2 HP** (Ver Anexo B)
- **Banco de Motor Eléctrico de 10 HP** (Ver Anexo C)
- **Banco de Conexiones Neumáticas** (Ver Anexo D)
- **Banco de Vagonetas** (Ver Anexo F)

Para la adecuación de estos bancos es necesaria la fabricación de dos tarjetas integradas por relés, cuya finalidad es realizar la conversión de señales de salida (conversión 24V a 5V) para que puedan ser leídas como entradas al Arduino, y también para realizar la conversión de señales de salida del Arduino (conversión 5V a 24V).

Figura 2 Esquema representativo



1.7. EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES DE DISEÑO

Una vez realizada la matriz de calidad y conocidas las alternativas de trabajo, estas se evaluaron ponderando las opciones y teniendo en cuenta los criterios y parámetros que más se destacaron en el QFD (ver tabla 2). Las opciones fueron

ponderadas con un valor de 1 a 5 y finalmente se llegó a un compendio donde se observó que la opción con mejor puntaje es la alternativa 2. Esta solución propone la adecuación de los bancos existentes y el diseño y la construcción de un banco de preactuadores y sensores.

Tabla 4 .Evaluación de las opciones de diseño.

Criterios de Evaluación		Parámetros de Evaluación	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
				Nota	Ponderación	Nota	Ponderación
Fácil Montaje	0,31	Didáctico	0,11	4	0,44	4	0,44
		Adaptable	0,2	4,5	0,9	4,5	0,9
Funcional	0,24	Seguridad en el Accionamiento	0,18	4	0,72	4	0,72
		Normatividad (Didáctico)	0,06	3,5	0,21	3,5	0,21
Mantenimiento	0,17	Mantenimiento Sencillo	0,11	4	0,44	4	0,44
		Especificaciones Mecánicas	0,06	4	0,24	4	0,24
Vida Útil	0,14	Resistente	0,09	3	0,27	3	0,27
		Plan de Mantenimiento	0,05	4	0,2	4	0,2
Costo	0,14	Adaptable	0,07	3	0,21	4	0,28
		Resistente	0,07	3	0,21	4,5	0,315
TOTAL					3,84		4,02

Ponderación
5=óptimo
1=deficiente

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS PLCARD DIDACTIC Y DEL BANCO DE PREACTUADORES Y SENSORES

Figura 3 PLCard Didactic y Banco de preactuadores y sensores



Identificadas las necesidades y los requerimientos en el capítulo anterior, se procedió a la ejecución del presente proyecto de grado que consta de dos fases

de desarrollo. La primera fase comprende el diseño y desarrollo de módulos de control cuya función es remplazar el elemento de control (PLC), existente en los bancos del Laboratorio de Automatización Industrial, por un controlador basado en una tarjeta Arduino (*PLCArd Didactic*).

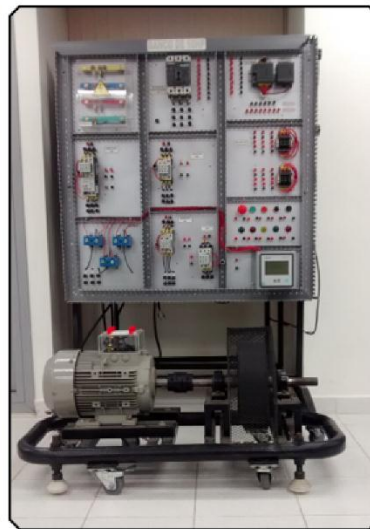
Figura 4 .Bancos del Laboratorio de Automatización Industrial

BANCO DE 2 HP



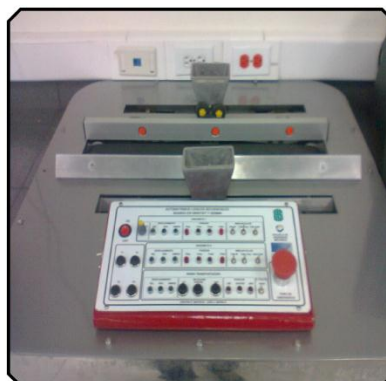
PLC S7-200

BANCO DE 10 HP



PLC S7-200

BANCO DE VAGONETAS



PLC S7-300

BANCO DE CONEXIONES
NEUMÁTICAS

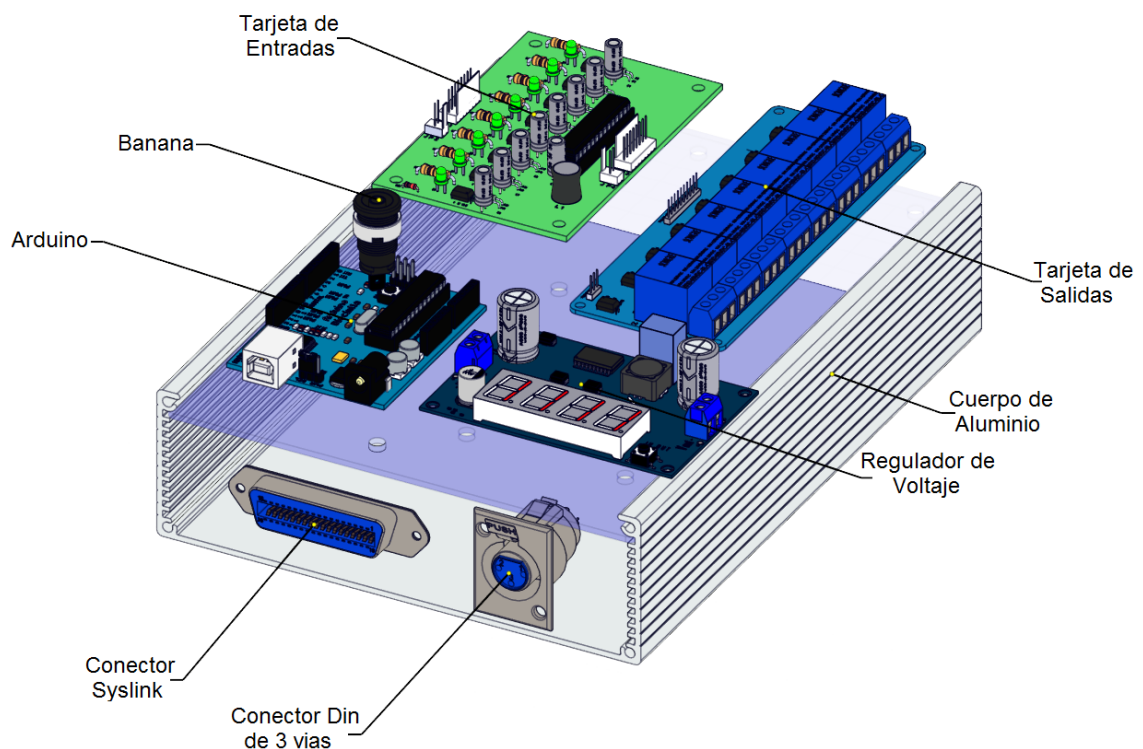


PLC S7-300

Estos módulos son un dispositivo didáctico que ofrece una posibilidad real de control usando una tarjeta Arduino; son nombrados **PLCArd Didactic** haciendo alusión a su función y al controlador usado. En la *figura 2* se puede observar una arquitectura compacta en la que se destacan 4 componentes básicos que son:

1. Tarjeta de entradas digitales
2. Tarjeta Arduino
3. Tarjeta de salidas
4. Regulador de voltaje

Figura 5 Arquitectura base de *PLCArd Didactic*

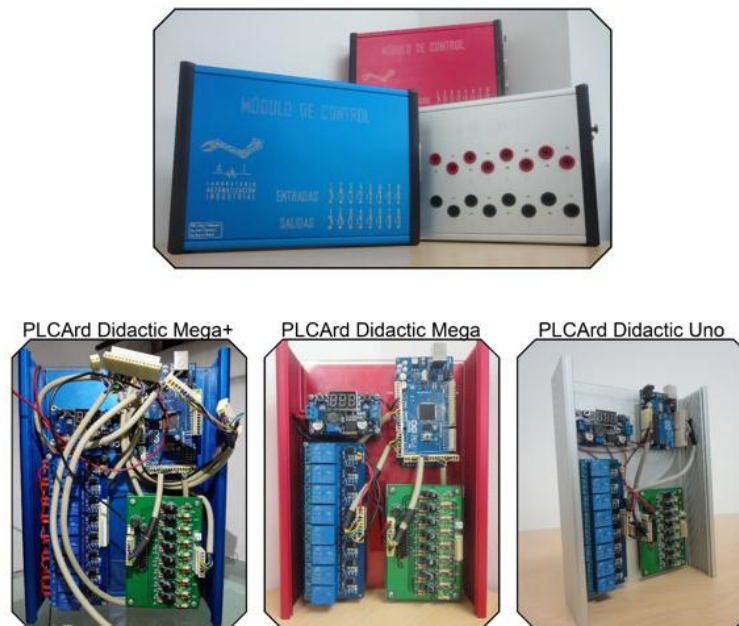


Para el diseño del PLCArd Didactic se tiene como controlador una tarjeta Arduino la cual es seleccionada según las necesidades de control. La tarjeta de entradas es la encargada de acondicionar las señales para que estas puedan ser procesadas por la tarjeta Arduino; estas normalmente se trabajan a 24 Vdc y la

Arduino opera con señales de 5vdc. La tarjeta de salidas amplifica las señales de baja tensión provenientes de la tarjeta Arduino de 5 Vdc a 24 Vdc, de esta manera se accionan los dispositivos de salida deseados. La tarjeta reguladora de voltaje provee la energía necesaria para la operación de cada uno de los componentes respecto a voltaje y corriente. En su configuración externa se tienen 2 maneras de conexión de sus entradas y salidas: borneras tipo banana o conector SysLink o puerto paralelo. La alimentación de energía eléctrica se suministra a través del conector DIN de 3 vías.

Todos los circuitos que componen este módulo de control están dispuestos sobre una base en acrílico dentro de un cuerpo de aluminio, se combina la funcionalidad y el diseño de manera óptima para que el producto final tenga una arquitectura moderna y robusta. Cada cuerpo posee unas ranuras guía para insertar la base de acrílico y fijar los componentes electrónicos. Además el aluminio favorece la disipación del calor que se podría generar, y con una capa de pintura dieléctrica se evita la conducción de electricidad tanto del interior como del exterior de la caja. Teniendo en cuenta arquitectura y funcionamiento descrito anteriormente se diseña y construyen tres versiones (Figura 3) que responden a las necesidades de los bancos del laboratorio de Automatización Industrial.

Figura 6 Versiones de *PLCArd Didactic*



Las diferencias existentes entre las versiones del PLCArd Didactic se deben a la cantidad de entradas y salidas, a la tarjeta Arduino usada y al tipo de conexión y direccionamiento de sus salidas y entradas. Estas se pueden observar claramente en la siguiente tabla:

Tabla 5 Comparativo de los módulos PLCArd Didactic

Modelo PLCArd Didactic	Controlador	Tipo de conexión	Nº. De entradas	Nº. De salidas
PLCArd Didactic UNO	Arduino UNO	BORNERA TIPO BANANA	8	8
PLCArd Didactic MEGA	Arduino MEGA	Conector SysLink	16	16
PLCArd Didactic MEGA +	Arduino MEGA	Conector SysLink	16	16

La segunda fase comprende el diseño y la construcción de un banco de prácticas de preactuadores y sensores (ver figura 7) equipado con control dual (PLC y Arduino). Este banco tiene como fin que los estudiantes se familiaricen con en el manejo de las señales de control y fluidos de potencia, Para lograr lo anterior se diseñaron y construyeron una serie de paneles de conexión y un manual de

prácticas que se ajustan al contenido de las materias Sistemas Mecatrónicos I y Sistemas Mecatrónicos II.

Figura 7 Banco de actuadores y preactuadores



2.1 GENERALIDADES DE LAS PLCARD DIDACTIC

PLCArd Didactic Uno

Este módulo posee ocho entradas y ocho salidas digitales, está equipado con borneras tipo banana y cuenta con leds indicadores de estado para monitorear la comunicación, de tal forma que estos se encenderán cada vez que haya presencia de señal. El dispositivo de control que utiliza es una tarjeta Arduino Uno, esto le permite ser controlado mediante un puerto de comunicación USB. El suministro de tensión de 24 Vdc se logra mediante un conector DIN XRL de 3 vías.

Figura 8. PLCard Didactic Uno



En la parte exterior del PLCard *Didactic Uno* se encuentran una serie de grabados laser. Estos indican los puertos de entradas y salidas, el puerto de alimentación de 24 VDC y el puerto de comunicación USB; lo que permite al estudiante interactuar de manera más segura e intuitiva con PLCard Didactic Uno.

Las especificaciones técnicas con las cuales fue diseñado y construido el PLCard Didactic UNO (ver tabla 5) hacen que este pueda ser usado en los bancos de motores 2 Hp y 10 Hp (ver figura 6) que se encuentran en el Laboratorio de Automatización Industrial.

Tabla 6 Especificaciones generales del PLCard Didactic Uno.

PLCArd Didactic UNO	
MODELO	UNO
Voltaje de Operación	24 Vdc
Tamaño (l x a x h) [mm]	220 x 165 x 51.5
Comunicación	USB
N.º Total de Entradas	8
N.º Total de Salidas	8
Tipo de Señal	Digital

Figura 9 Bancos de práctica de 2 Hp y 10 Hp (Accionamiento de Motores Eléctricos Basados En Lógica Programada)



PLCArd Didactic Mega

Este módulo se diseñó con dieciséis entradas y salidas digitales. Está equipado con un conector SysLink que permite la conexión de las entradas y las salidas. Al igual que el modelo *PLCArd Didactic UNO*, este modelo (ver figura 7) cuenta con leds indicadores de estado para monitorear la comunicación. El dispositivo de control integrado en este módulo es una tarjeta Arduino Mega con puerto de comunicación USB. El suministro de tensión de 24 Vdc se logra mediante un conector DIN XRL3 de 3 vías.

Figura 10 .PLCArd Didactic Mega



La parte exterior del *PLCArd Didactic Mega* tiene una serie de grabados laser los cuales enmarcan la ubicación del puerto de alimentación de 24 Vdc, el puerto de comunicación USB, el puerto de entradas y salidas.

Las especificaciones técnicas con las cuales fue diseñado y construido el *PLCArd Didactic MEGA* (ver tabla 6) hacen que este pueda ser usado en los bancos de vagonetas y conexiones neumáticas (ver figura 8) que se encuentran en el Laboratorio de Automatización Industrial.

Tabla 7 .Especificaciones generales del *PLCArd Didactic Mega*.

PLCArd Didactic Mega	
MODELO	MEGA
Voltaje de Operación	24 Vdc
Tamaño (l x a x h) [mm]	220 x 165 x 51.5
Comunicación	USB
N.º Total de Entradas	16
N.º Total de Salidas	16
Tipo de Señales	Digital

Figura 11 .Banco de Vagonetas y Conexiones Neumáticas



PLCArd Didactic Mega+

El diseño de este módulo tiene dieciséis entradas y salidas digitales. Cuenta con un conector SysLink que permite la conexión de las entradas y las salidas. Como sucede con el modelo *PLCArd Didactic MEGA*, este modelo (ver figura 9) posee leds indicadores de estado para monitorear la comunicación. El suministro de tensión de 24 Vdc se logra mediante un conector Din XRL3 de 3 vías y el dispositivo de control integrado en este módulo es una tarjeta Arduino Mega con puerto de comunicación USB. La diferencia principal entre *PLCArd Didactic Mega* y *Mega+* está en la configuración de las salidas y entradas en el puerto SysLink.

El banco de Preactuadores y Sensores se diseñó y construyó pensando en las debilidades de los bancos existentes en el Laboratorio de Automatización Industrial. Mientras que estos tienen todos sus componentes fijos y son poco claros en las conexiones de los elementos, el banco de Preactuadores y Sensores permite, gracias a su diseño modular, configuraciones distintas de sus elementos y le ofrece al estudiante la comprensión sencilla del uso y funcionamiento de los preactuadores y sensores, de tal forma que el estudiante puede aprender a realizar las conexiones entre los elementos a usar y el controlador lógico.

En la conexión de sensores se quiere que el estudiante entienda el funcionamiento y la conexión de los sensores de 2, 3 y 4 hilos, y que algunos de ellos requieren de una fuente de alimentación externa para generar su señal. En este banco se emplearán finales de carrera mecánicos (dos hilos), sensores de proximidad magnéticos (3 hilos) y sensores capacitivos (4 hilos).

Para la conexión de los preactuadores se espera que el estudiante comprenda que a menudo, por la gran carga de potencia o debido a su naturaleza, éstos no pueden ser conectados de manera directa al controlador, razón por la cual se tiene un fluido de potencia y un fluido de control. Los preactuadores que se usan en el banco son electroválvulas, relés y contactores.

El banco fue pensado para responder a los siguientes criterios de diseño:

- Área de trabajo desmontable.
- Aprovechamiento de ambas caras de la placa de aluminio perfilada marca FESTO.
- Los equipos deberán fijarse a las ranuras mediante un sistema que permita un fácil montaje y desmontaje de las piezas.
- Puesto de trabajo móvil.

- Diseño innovador acorde con las instalaciones del laboratorio de automatización.

Fueron necesarias unas adaptaciones de los componentes eléctricos y de los neumáticos para poder fijarlos de manera segura y fácil a la placa de montaje. Igualmente, resultó indispensable hacer un panel de conexión mediante borneras tipo banana para cada elemento.

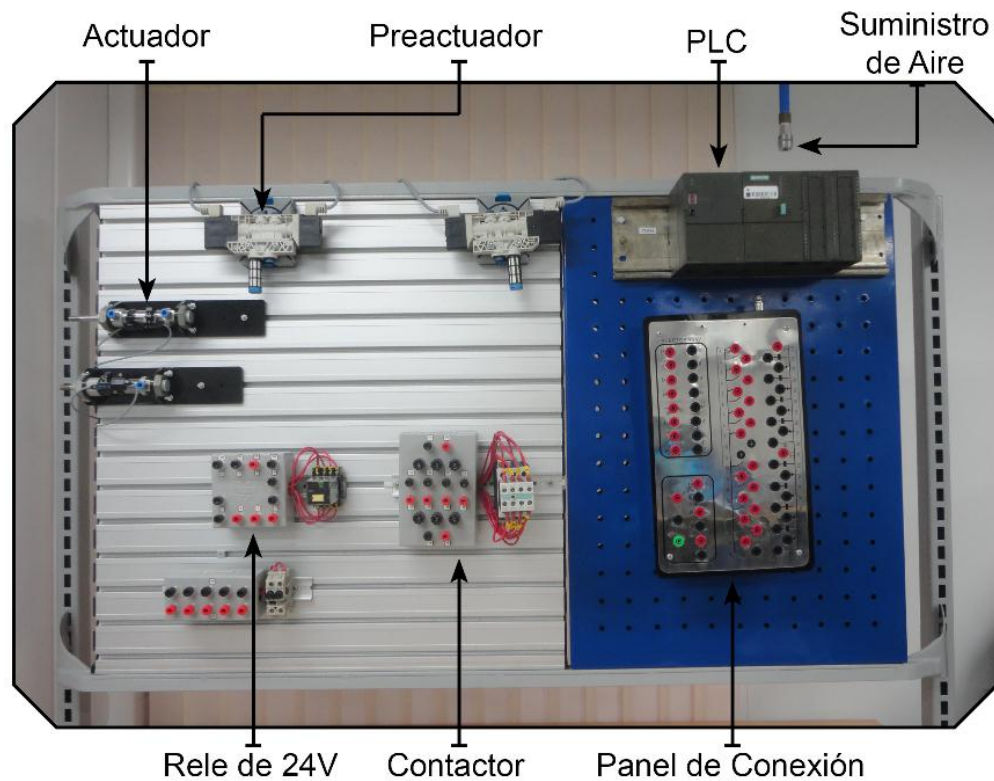
El banco de preactuadores y sensores (ver figura11) se diseñó como un entorno modular, por ello posee un área de trabajo doble que se puede desmontar del soporte superior. Toda la estación de trabajo es móvil gracias a sus cuatro ruedas equipadas, dos de ellas bloqueables. Además cuenta con dos gavetas para almacenar equipos, documentación y piezas pequeñas.

Figura 14 .Modelamiento Banco de Preactuadores y Sensores



El área de conexión se compone por una placa corriente perforada y una placa de aluminio perfilada fabricada por FESTO. La placa de aluminio se emplea para soportar los elementos a controlar como actuadores, finales de carrera mecánico, electroválvulas, contactores, entre otros. En el área de la placa perforada se colocan los dispositivos de control como PLC, *PLCArd Didactic Mega+* y el panel de conexiones universal. En el área de trabajo se encuentra un espacio dispuesto para colocar los elementos a usar por los estudiantes. Esta área tiene un tamaño que soporta el uso simultáneo por tres estudiantes. Todo lo anterior se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 15 elementos banco de sensores y preactuadores



3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL *PLCARD DIDACTIC*

3.1. DESCRIPCION GENERAL

El módulo es un dispositivo didáctico que ofrece la posibilidad de controlar procesos industriales eléctricos o electrónicos. Este normalmente lo hace mediante el uso de un PLC ya que las señales operan a tensiones de 24 Vdc e impide el uso de una tarjeta Arduino como elemento de control directo.

Con el fin de usar una tarjeta Arduino como elemento de control se emplearon circuitos eléctricos para el manejo de las entradas y las salidas. De este modo se logra operar de manera segura los dispositivos industriales de alta potencia, sin causar daño al microcontrolador que es el que almacena y ejecuta el programa de control.

En el diseño del PLCard Didactic se obtuvieron tres modelos que se diferencian tanto en su configuración interna como externa. Esto se debe a los diferentes requisitos de control y características presentes en los bancos de práctica del Laboratorio de Automatización Industrial, en los cuales se implementa el uso de los PLCard Didactic.

Los modelos resultantes se denominan:

- *PLCArd Didactic Uno*
- *PLCArd Didactic Mega*
- *PLCArd Didactic Mega+*

Figura 16 Versiones PLCard Didactic

PLCArd Didactic UNO



PLCArd Didactic MEGA



PLCArd Didactic MEGA+



Para el diseño y construcción de estos módulos se propuso trabajar con componentes de fácil mantenimiento, así ante un eventual daño estos pueden ser reemplazados de manera sencilla.

3.1.1. Características

Como características generales de los módulos se pueden encontrar las Siguietes

- Microcontrolador atmel ATmega328P o ATmega2560.
- 8 o16 entradas digitales con leds indicadores de estado.
- 8 o 16 salidas digitales a relé con leds indicadores de estado.
- Conexión por borneras tipo banana o mediante conector SysLink.
- Rango de alimentación de 24 Vdc.
- Puerto de comunicación USB.
- Cuerpo de aluminio.

3.1.2. Especificaciones Técnicas

Estas especificaciones se muestran considerando los valores o rangos máximos alcanzados en los diferentes modelos.

- Rango de alimentación de 5 a 40 Vdc.
- Protección de alimentación: inversión de polaridad, sobré tensiones.
- Consumo a 24 Vdc en reposo de 180 mA.
- Consumo máximo según la configuración a 24 Vdc 1800 mA.
- Rango de entradas digitales de 12 a 24 Vdc.
- Máxima corriente de salida a relé 10 A.
- Máxima tensión de salida a relé 24 Vdc.
- Ancho 165 mm.
- Alto 51,5 mm.
- Largo 220 mm.
- Peso aprox. 1,2 Kg.

3.2. DISEÑO Del *PLCArd Didactic*

El proceso de diseño que implicó desarrollar este producto se dio en tres fases:

La primera fase fue de conceptualización del diseño. Esta consistió en esbozar las características y requisitos (ver figura 16) para luego generar las alternativas y poder realizar un modelo CAD (ver figura 17) aproximado de lo que sería el primer PLCArD Didactic.

Figura 17 Esquemática de los Elementos que Componen el PLCArD Didactic

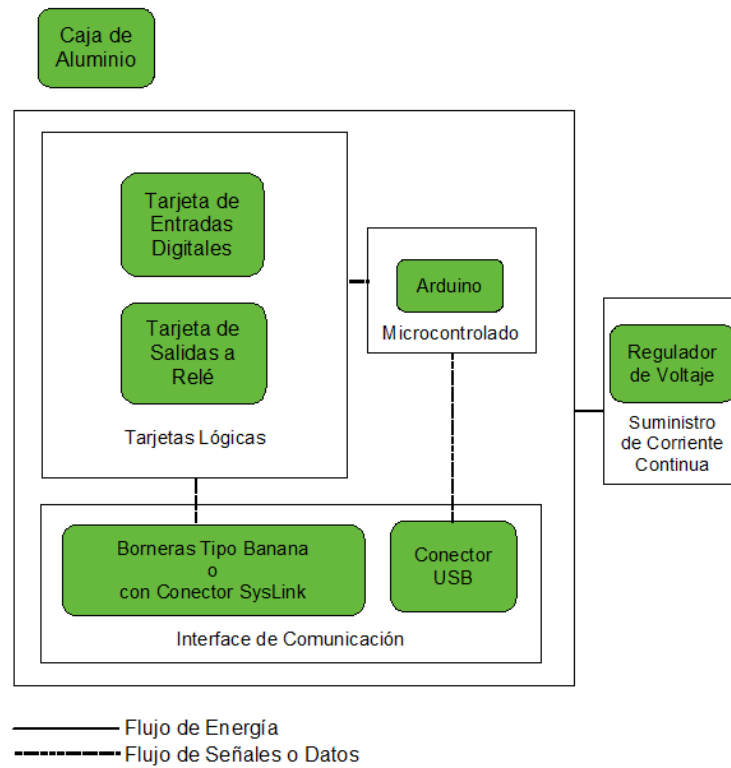
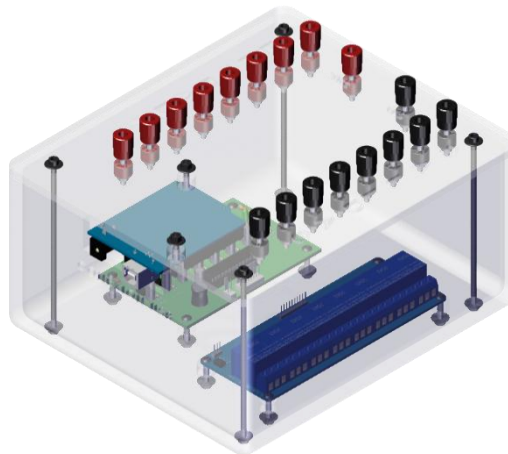


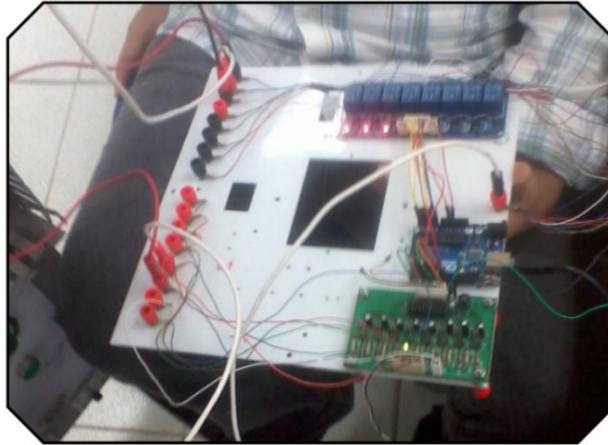
Figura 18 Primer modelo CAD



La segunda fase comprendió la construcción de dos prototipos. El primero de ellos se centró en la funcionalidad de los elementos montados sobre una placa de acrílico, donde se identificaron las interacciones que tienen cada uno de los

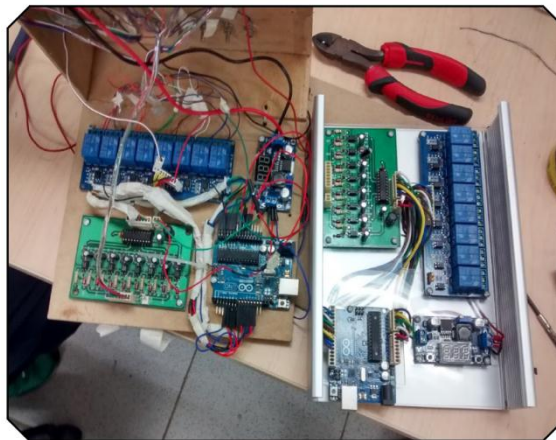
elementos. Con esta primera aproximación del módulo se hicieron revisiones y se realizaron pruebas para detectar posibles fallas.

Figura 19 Figura 20. Primer Prototipo.



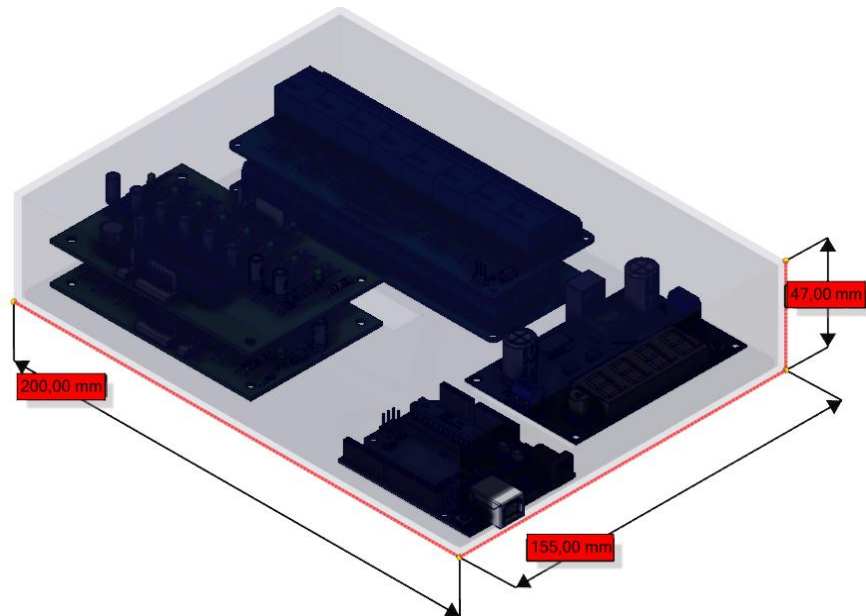
El segundo prototipo fue un diseño desarrollado a partir de las observaciones y conclusiones obtenidas del primer avance. En él se montaron todos los componentes dentro de una caja de madera y de esta manera se obtuvo una primera muestra del producto. Para esto fue necesario crear una disposición geométrica de todos los elementos que componen el módulo como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 21 Segundo prototipo.



La tercera fase consistió en el desarrollo y terminación. Uno de los resultados de avance obtenido fueron las dimensiones mínimas de la caja que iba a contener todos estos dispositivos. Además se realizó una lista de materiales a utilizar.

Figura 22 Dimensiones mínimas de la caja **HACER**



Es de resaltar que todo el proceso que implicó llegar hasta el diseño final del módulo de control *PLCArd Didactic* fue una iteración continua del proceso de diseño que implica desarrollar un producto: desde la planeación y análisis de información, siguiendo con la ejecución y desarrollo de los prototipos, hasta obtener en el diseño final.

3.3. COMPONENTES DEL *PLCArd Didactic*

3.3.1. Cuerpo del módulo

En el cuerpo del módulo se soportan los circuitos impresos y sus características principales son:

- Cuerpo robusto fabricado en aluminio extrusionado con un espesor de 1,5mm.
- Acabado superficial que incrementa las propiedades del aluminio anodizado como su durabilidad y propiedades dieléctricas.
- Ranuras internas para montaje horizontal por deslizamiento de placas de circuito impreso.
- Tapa superior extraíble.
- Diseñada para equipos electrónicos o de interconexión.
- Dos paneles extremos de aluminio adaptados al cuerpo del módulo.
- Dos marcos de plástico ABS que brindan protección.

El fabricante de esta caja fue la empresa HAMMOND MANUFACTURIN ® con sede principal en Ontario Canadá (ver figura 21). Posteriormente cada caja de aluminio pasó por un proceso de mecanizado y grabado laser en el panel superior y frontal, dependiendo de las especificaciones de cada módulo. Los grabados indican el puerto de alimentación de 24 VDC, el puerto de comunicación USB y los puertos de entrada y salidas.

Figura 23 Cajas de Aluminio



Fuente: Hammond Manufacturing.

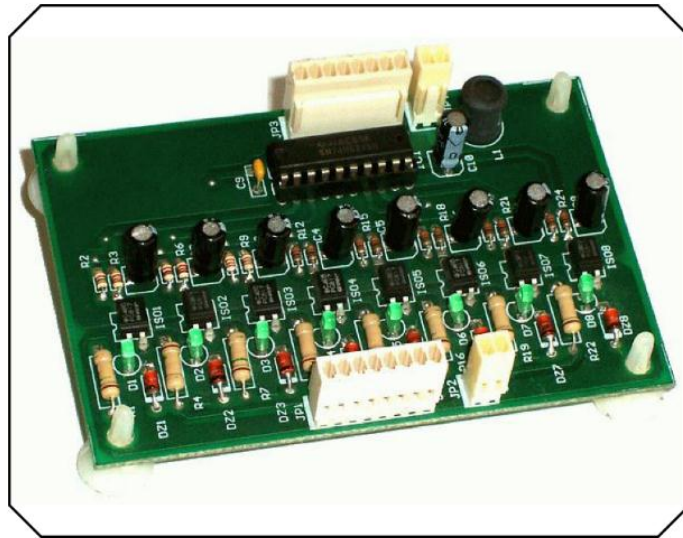
Figura 24 Proceso de taladrado del panel superior de los PLCard Didactic.



Todos los circuitos están montados sobre una base de acrílico de 2 mm de espesor, 165 mm de ancho y 220 mm de largo; condición especial para deslizarse sobre las ranuras internas de la caja de aluminio. Cada tarjeta queda fija a la placa de acrílico por medio de 4 tornillos que tienen un diámetro de 3,5 mm. En el caso del **PLC Ard Didactic Mega** y del **PLC Ard Didactic Mega+**, mediante unos bujes espaciadores que permiten una separación mínima entre tarjeta y tarjeta, se utilizaron dos juegos de tarjetas, unas sobrepuestas sobre las otras.

3.3.2. Tarjeta de entradas digitales

Figura 25 Tarjeta de entradas digitales.



Fuente: Gamatec Instrumentación.

La función de este circuito impreso es acondicionar hasta 8 entradas de 24 Vdc, dando señales digitales resultantes de 5 Vdc con una respuesta en frecuencia de hasta 100 Hz. Este acondicionamiento es necesario para conectar el microcontrolador Arduino.

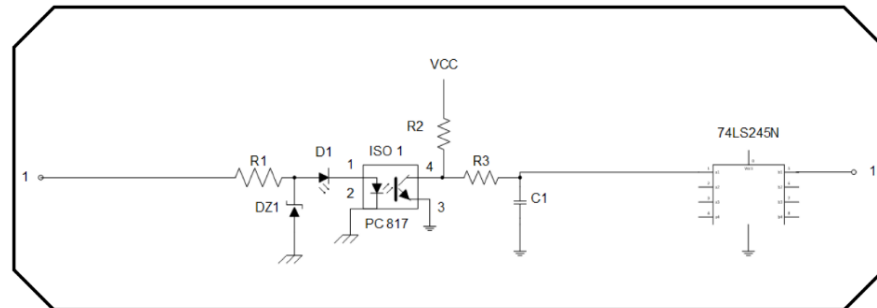
Especificaciones:

- Entradas de 24 Vdc: 8 canales.
- Alimentación de la etapa lógica 5 Vdc.
- Aislamiento óptico de las señales digitales.
- Respuesta en frecuencia hasta 100 Hz.

El diseño de esta tarjeta fue desarrollado por la empresa Gamatec Instrumentación S.A.S con sede en Manizales-Colombia.

Esta tarjeta funciona en lógica inversa: cuando se presenta en su entrada un voltaje de 24 Vdc su señal es nula (cero lógicos) y en caso contrario, cuando en su entrada no hay una señal, su respuesta será una señal de 5 Vdc. El diagrama esquemático correspondiente se muestra en la siguiente figura:

Figura 26 Diagrama esquemático de una de las entradas.



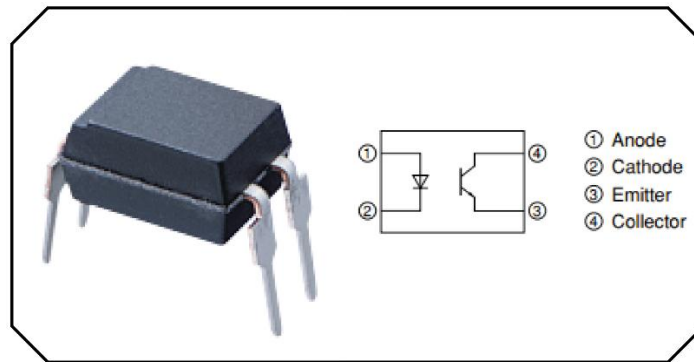
El sistema posee 8 bloques similares. El funcionamiento de este se explica a continuación:

- El diodo de entrada D1 se encarga de rectificar la señal.
- La resistencia en serie R1 asume la caída de tensión que se requiere para que el diodo zener DZ1 se polarice en forma correcta y junto con el condensador C1 sirvan como fuente de alimentación para la entrada del transceptor.
- Como se puede ver en el diagrama, a la salida se dispuso un transceptor que se encarga de proveer el acondicionamiento de las señales a la Arduino.

3.3.2.1. Descripción de los componentes principales de la tarjeta de entradas

Optocoplador

Figura 27 Optoacoplador y diagrama interno de conexión.

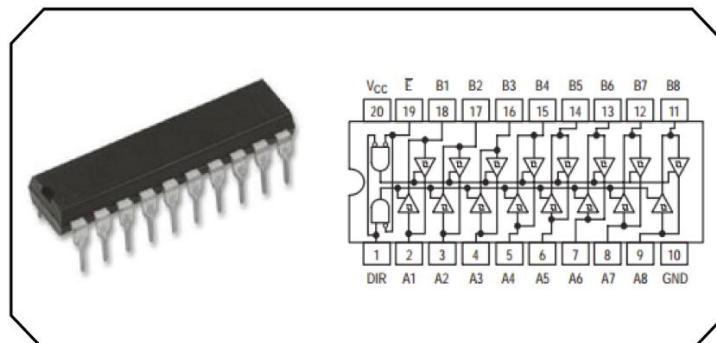


Fuente: Alldatasheet

Permite hacer un aislamiento entre dos etapas de un circuito. En este caso, entre la etapa de 24 Vdc y 5 Vdc, funciona como un interruptor excitado por la luz emitida por un led que satura un componente optoelectronico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac. Este componente está presente y cumple la misma función en la tarjeta de entradas y en la tarjeta de salidas.

Transceptor

Figura 28 .Transceptor 74LS245N y diagrama interno de conexión.

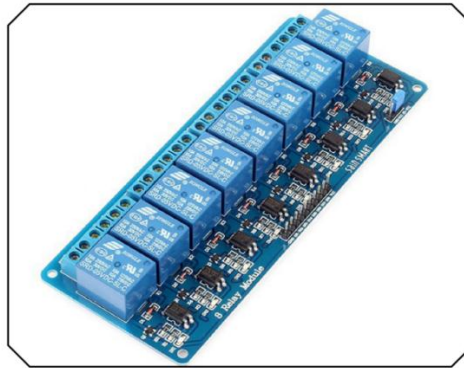


Fuente: Alldatasheet

Dispositivo encargado de recibir y transmitir las señales de entrada. Consta de 8 canales con una tensión de funcionamiento máxima de 6 Vdc y con una intensidad máxima de operación de 6 mA. Es el dispositivo encargado de generar las entradas hacia la tarjeta Arduino (5Vdc) al recibir una señal de 24 Vdc.

3.3.3. Tarjeta de salidas.

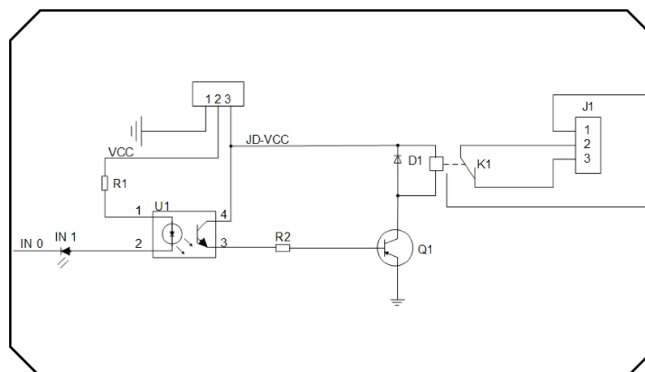
Figura 29 Tarjeta de salidas.



Fuente: SainSmart.

Esta tarjeta consiste en un circuito digital que maneja cargas de potencia utilizando relevos. El circuito permite, mediante señales de control de 5 Vdc, conmutar cargas de 24 Vdc con una corriente máxima de 2 amperios. En la siguiente figura se muestra el esquema utilizado para manejar las salidas:

Figura 30 Diagrama esquemático de una de las salidas.



La tarjeta de salidas a relé permite acondicionar hasta 8 salidas provenientes de la tarjeta Arduino, para activar cargas de potencia con una corriente de manejo máxima de 2 amperios y con una tensión de 24 Vdc. Esto lo hace sin comprometer el circuito de control, el cual trabaja a una tensión de 5 Vdc, dado que el aislamiento de las señales que implementa es por medio de optocopladores.

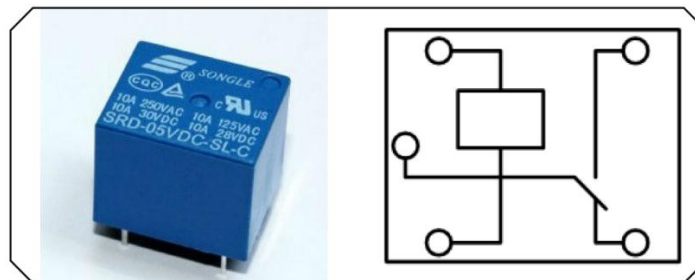
Especificaciones por salida

- Corriente de carga 2 A.
- Tensión de la bobina de relé 5 Vdc.
- Resistencia de la bobina del relé $320\ \Omega \pm 10\%$.
- Vida útil eléctrica 100000 operaciones.
- Vida útil mecánica 10000000 operaciones.
- Tiempo de conexión del relé 10 ms Máx.
- Tiempo de desconexión del relé 4 ms Máx.

3.3.3.1. Descripción de los componentes principales de la tarjeta de salidas

Relé

Figura 31 Relé y diagrama interno de conexión.

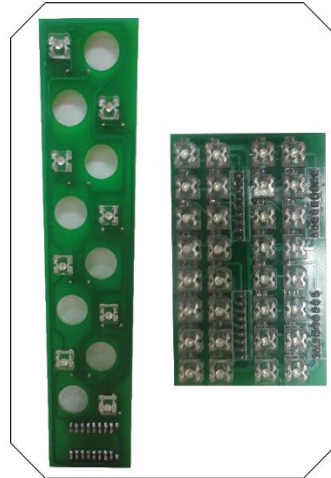


Fuente: Alldatasheet

El relé funciona como un interruptor. Consiste de una bobina la cual acciona unos contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos.

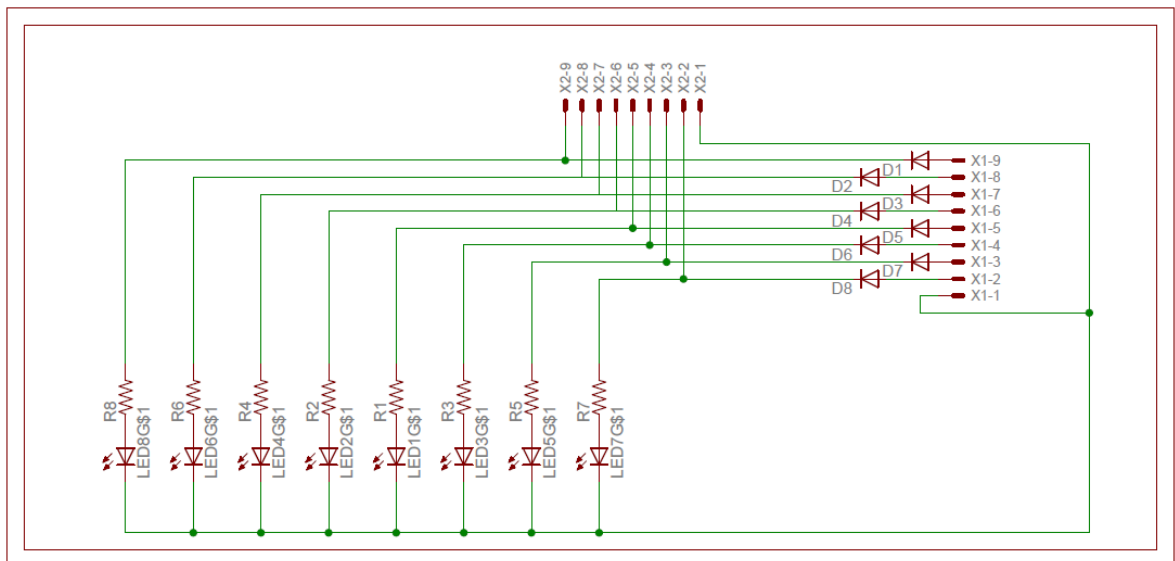
3.3.4. Tarjetas Indicadora De estados de E/S Leds

Figura 32 Tarjetas indicadoras de estado de E/S leds.



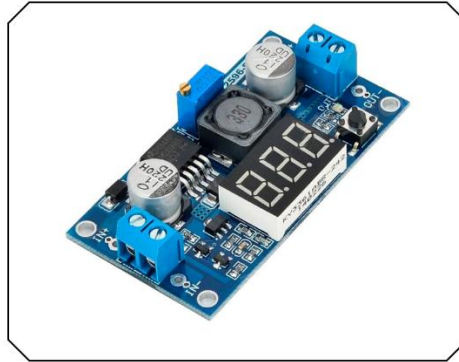
Estas tarjetas tienen como función indicar el estado de una entrada o salida del módulo. A su vez protegen el módulo de inversiones de polaridad evitando daños que puedan comprometer los componentes internos. Su esquema de conexión se muestra a continuación:

Figura 33 Diagrama esquemático de la tarjeta indicadora de estados.



3.3.5. Regulador de voltaje

Figura 34 Regulador de voltaje.



Fuente: ICStation.

En el módulo de control el regulador de voltaje es imprescindible para el óptimo funcionamiento de todos los componentes. Este provee una salida de tensión constante que también es independiente de las variaciones de tensión en la línea.

El regulador de voltaje convierte los 24 Vdc de la línea en un voltaje de 5 Vdc, necesario para energizar los componentes del *PLCArd Didactic*. Está basado en un regulador LM2596 que regula entre 1.5 y 40 voltios a la salida, con voltaje de entrada de entre 1.5 a 40 voltios, ajustables a una corriente de funcionamiento máximo de 3 A con protección contra inversión de polaridad.

3.3.6 Interface de conexión

La interface de conexión de entradas y salidas de los bancos se logra mediante dos formas. La primera es por medio de conectores tipo banana y la segunda a partir de conexiones a través de un conector SysLink según IEEE488. El tipo de conexión de cada banco y los tipos de conectores se muestran en las siguientes figuras:

Figura 35 .Tipo de conexión de las E/S de los bancos de prácticas.

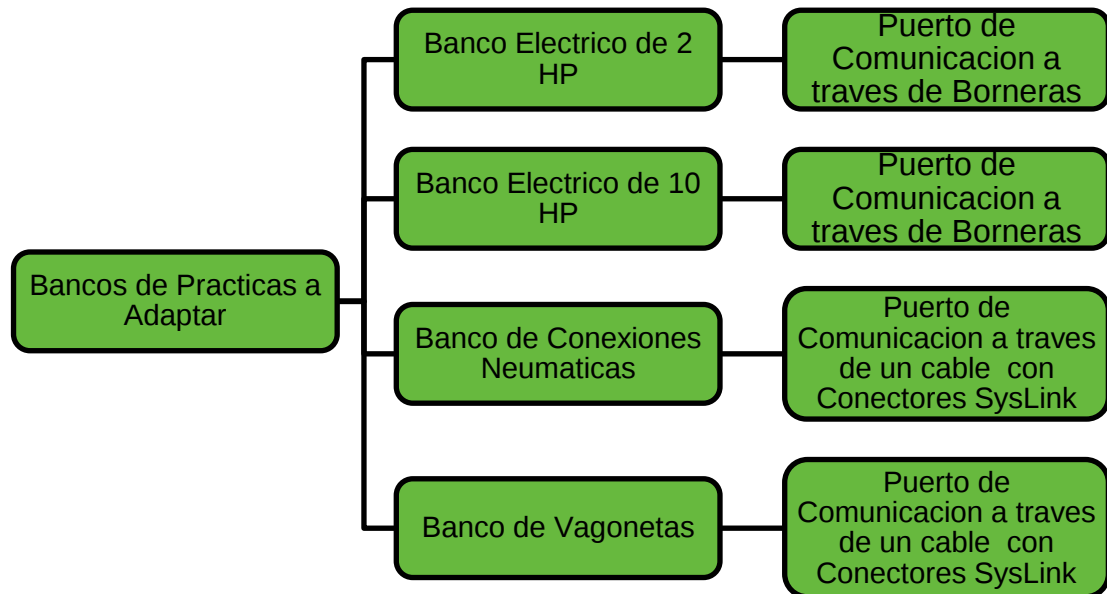


Figura 36 Figura 37. Bornera tipo banana y conector SysLink.



3.3.7. Tarjeta de control Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre que se basa en una placa electrónica dotada de un microcontrolador atmel AVR. Su interfaz de programación se realiza mediante el uso de un lenguaje propio similar al C++. Es por estas características, su flexibilidad y bajo costo entre otras, que Arduino es la mejor opción para desarrollo del módulo de control.

En el proceso de diseño del módulo se tuvo en cuenta, como criterio principal de selección de la tarjeta Arduino, el número de entradas y salidas que esta puede

ofrecer (Tabla 7). Tomando como referencia esta característica se seleccionó la Arduino Uno para el PLCard *Didactic UNO*, y para el módulo *PLCArd Didactic Mega* y *Mega+* se seleccionó la Arduino Mega.

Tabla 8 Características de las Tarjetas Arduino.

Nombre	Microcontrolador	Voltaje de Operación	Velocidad (CPU)	Entradas y Salidas Analógicas
Uno R3	Atmega328	5 V/7-12 V	16 MHz	6/0
Due	AT91SAM3X8E	3.3 V/7-12 V	84 MHz	12/02.
Leonardo	Atmega32u4	5 V/7-12 V	16 MHz	12/0
Mega 2560 R3	ATmega2560	5 V/7-12 V	16 MHz	16/0
Mega ADK	ATmega2560	5 V/7-12 V	16 MHz	16/0
Micro	Atmega32u4	5 V/7-12 V	16 MHz	12/0
Mini	ATmega328	5 V/7-9 V	16 MHz	8/0
Nano	Atmega168 ATmega328	5 V/7-9 V	16 MHz	8/0
Ethernet	Atmega328	5 V/7-12 V	16 MHz	6/0
Esplora	Atmega32u4	5 V/7-12 V	16 MHz	-
Arduino BT	Atmega328	5 V/2.5-12 V	16 MHz	6/0
Fio	Atmega328P	3.3 V/3.7-7 V	16 MHz	8/0
Pro (168)	Atmega168	3.3 V/3.35-12 V	8 MHz	6/0
Pro (328)	Atmega328	5 V/5-12 V	16 MHz	6/0
Pro Mini	Atmega168	3.3 V/3.35-12 V 5V/5-12 V	16 MHz 8Mhz	6/0
LilyPad	Atmega168V ATmega328V	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8 MHz	6/0
LilyPad USB	Atmega32u4	3.3 V/3.8-5 V	8 MHz	4/0
LilyPad Simple	Atmega328	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8 MHz	4/0
LilyPad SimpleSnap	Atmega328	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8 MHz	4/0

3.3.7.1. Arduino uno. Es una placa electrónica basada en el ATmega 328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida, de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM o como entradas analógicas. Su conexión es USB.

Tabla 9 .Características técnicas Arduino Uno.

Microcontrolador	At mega 328p
Tensión de funcionamiento	5v
Voltaje de entrada	7-12 v
Pines digitales	14
pines PWM	6
Pines de entradas analógicas	6
Corriente DC por E/s pin	20mA
Memoria flash	32 KB
Velocidad de reloj	16MHz
Largo	68.6
Ancho	53.4
Peso	25 g

Figura 38 Arduino Uno.

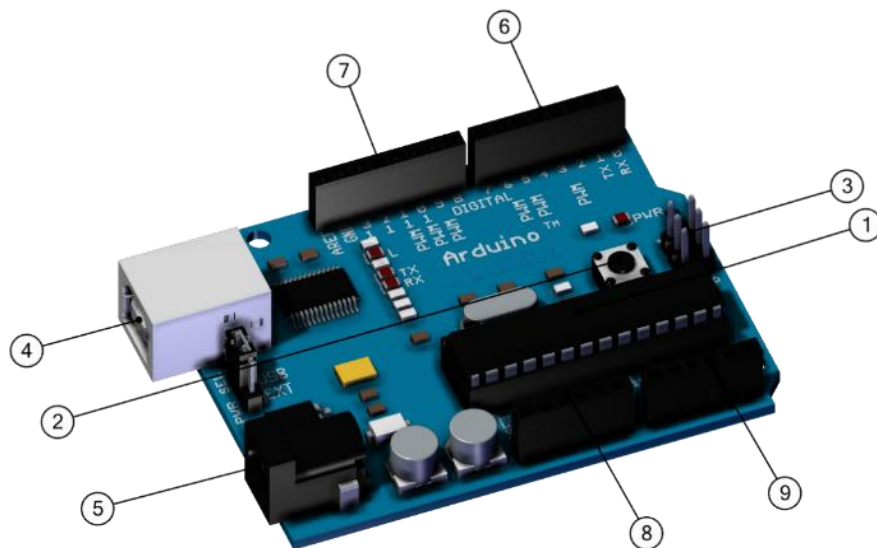


Tabla 10 .Componentes de la tarjeta Arduino Uno.

Numero	Descripción
1	Microcontrolador ATmega328
2	Botón de Reinicio del Microcontrolador
3	Conector para Programación ICSP
4	Conexión USB
5	Conector de Alimentación
6	Serial Pines Digitales Entrada / Salida (0 – 7)
7	Serial Pines Digitales Entrada / Salida (8 – 13)
8	Pines de Alimentación (Vin, 5V, 3.3V, GND, Instrucción IOREF)
9	Serial Pines de Entradas Analógicas

3.3.7.2. Arduino Mega . Es una placa electrónica basada en el ATmega 2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida, de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM y 16 como entradas analógicas. Su tipo de conexión es *USB*.

Tabla 11 Características técnicas Arduino Mega2560.

Microcontrolador	At mega 2560
Tensión de funcionamiento	5v
Voltaje de entrada	7-12 v
Pines digitales	54
pines PWM	15
Pines de entradas analógicas	16
Corriente DC por E/s pin	20 mA
Memoria flash	256 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Largo	101.52
Ancho	53.3
Peso	37 g

Figura 39 Arduino Mega2560.

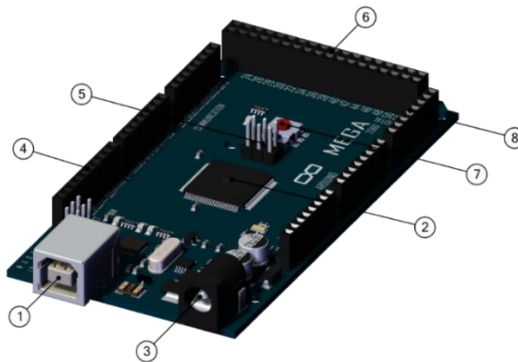


Tabla 12 Tabla 13. Componentes de la tarjeta Arduino Mega2560.

Numero	Descripción
1	Conexión USB
2	Microcontrolador ATmega2560 R3
3	Conector de Alimentación
4	Serial Pines Digitales Entrada / Salida (3 – 13) PWM
5	Conector para Programación ICSP
6	Serial Pines Digitales Entrada / Salida (24 – 54)
7	Botón de Reinicio del Microcontrolador
8	Serial Pines de Entradas Analógicas
9	Pines de Alimentación (Vin, 5V, 3.3V, GND, Instrucción IOREF)

3.3.8 Puerto de Alimentacion

Figura 40 .Conector hembra DIN XLR de 3 pines.



El XRL es un conector utilizado en aplicaciones de audio. Cuenta con 3 pines y es especial para transmitir una señal digital de control. El laboratorio de Automatización Industrial utiliza este tipo de conectores para las líneas de 24 Vdc, por tal razón fueron utilizados.

4. MODULO *PLCARD DIDACTIC UNO*

Figura 41 .PLCArd Didactic Uno.



Este módulo fue diseñado para controlar los bancos de 2HP y 10HP (Accionamiento de Motores Eléctricos Basados en Lógica Programada).

4.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y COMPONENTES

El módulo PLCARD Didactic Uno se diseñó con 8 entradas y salidas digitales. Cuenta con leds indicadores de estado para monitorear la comunicación, de tal forma que estos se encenderán cada vez que haya presencia de una señal. Lleva

como controlador una tarjeta Arduino Uno y cuenta con protección contra inversión de polaridad, corto circuito, sobretensiones. La conexión se da mediante borneras tipo banana. En la tabla 13 se muestran las especificaciones técnicas con mayor detalle.

Tabla 14 Especificaciones Técnicas del PLCard Didactic Uno.

PLCArd Didactic	
MODELO	UNO
Voltaje de Operación	24 Vdc
Corriente Máxima	860 mA
Tamaño (l x a x h) [mm]	220 x 165 x 51.5
Peso Aprox.	0,8 kg
Velocidad (CPU)	16 MHz
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Comunicación	USB
Total de Entradas	8
Total de Salidas	8
Tipo de Señal	Digital
Protección	Inversión de Polaridad
	Corto Circuito
	Sobretensión

En el interior del módulo se encuentran 14 componentes los cuales son mostrados y nombrados a continuación:

Figura 42. Despiece del módulo PLCard Didactic Uno.

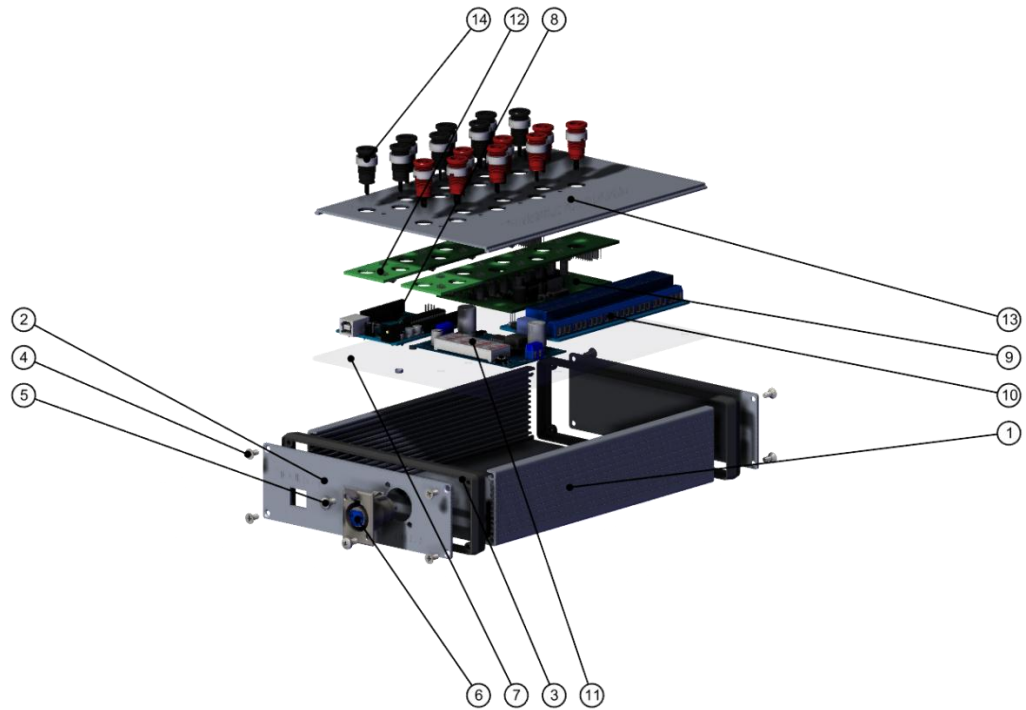


Tabla 15 Componentes del PLCard Didactic Uno.

Nº. Componente	Nombre	Cantidad
1	Caja de aluminio	1
2	Tapa frontal	1
3	Marco de plástico ABS	2
4	Tornillo caja de aluminio	8
5	Tornillo y tuerca para componentes	16
6	Conector hembra XLR de 3 pines	1
7	Base de acrílico	1
8	Arduino Uno	1
9	Tarjeta de entradas	1
10	Tarjeta de salidas	1
11	Regulador de Voltaje	1
12	Tarjeta indicadora de estado	2
13	Tapa superior	1
14	Banana de E/S	16

ELEMENTOS DE MANEJO E INDICACIÓN

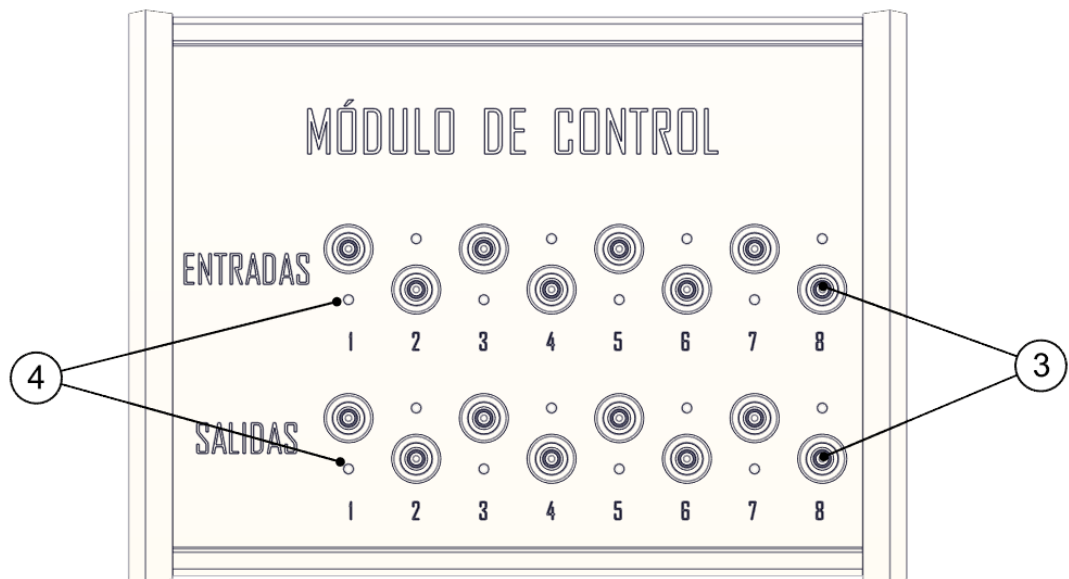
En la parte exterior del módulo se aprecia una serie de grabados laser. Estos indican el puerto de alimentación de 24 VDC y el puerto de comunicación USB.

Figura 43. Vista Frontal *PLCArd Didactic Uno*



- 1) Interface de conexión USB
- 2) Conexión para el suministro de corriente (24 Vdc) mediante un conector XLR de 3 pines.

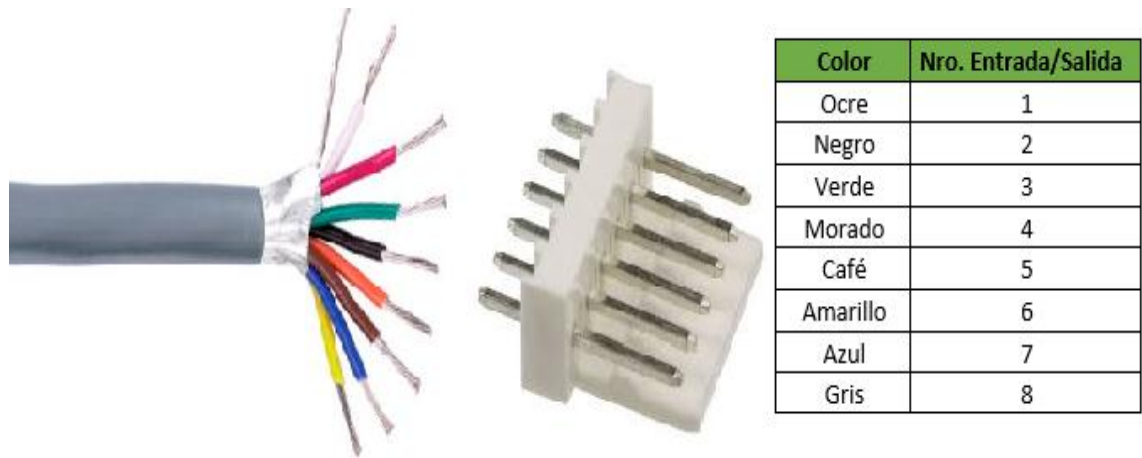
Figura 44. Vista superior *PLCArd Didactic Uno*.



- 3) Conectores tipo banana para las entradas/salidas
- 4) Indicadores de estado de cada una de las entradas/salidas

La conexión de los componentes internos se realiza mediante conectores tipo molex y cable multiconductor de hoja metálica de 8 hilos (ver figura 43). Cada hilo posee un color que está asignado a las entradas y salidas de cada una de las tarjetas, de esta manera se lleva un orden en su conexión. A continuación se muestra la leyenda de colores:

Figura 45 Código de colores.



La distribución final de los componentes del PLCArD Didactic Uno corresponde a un diseño modular, pensado para el fácil ensamble de sus componentes dentro de la caja de aluminio. Un diagrama general de la distribución de pines utilizados en la tarjeta Arduino, se utilizan en total 8 pines de entrada y 8 de salida además de los pines Vin y gnd, se presenta a continuación:

Figura 46. Componentes Internos del PLCard Didactic Uno.

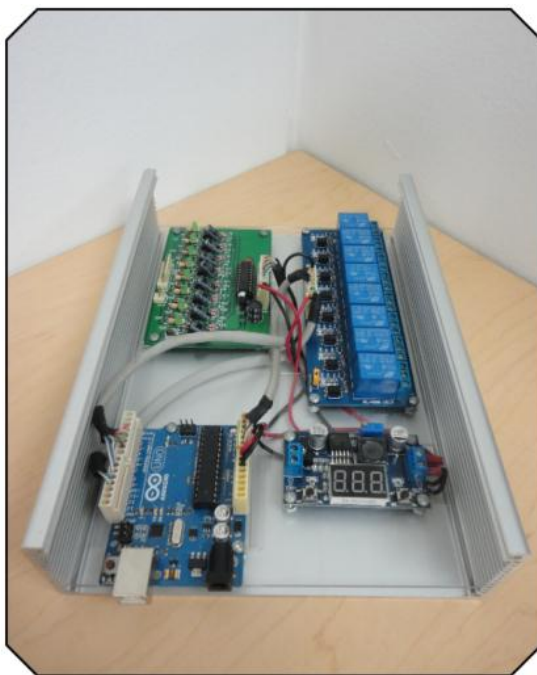
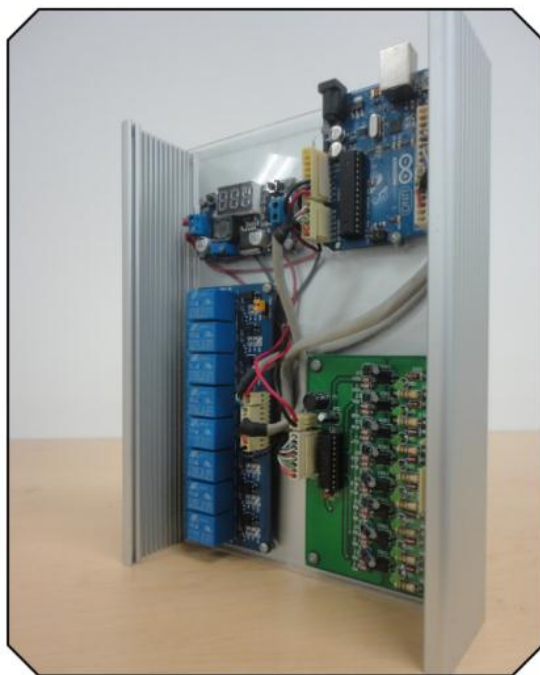
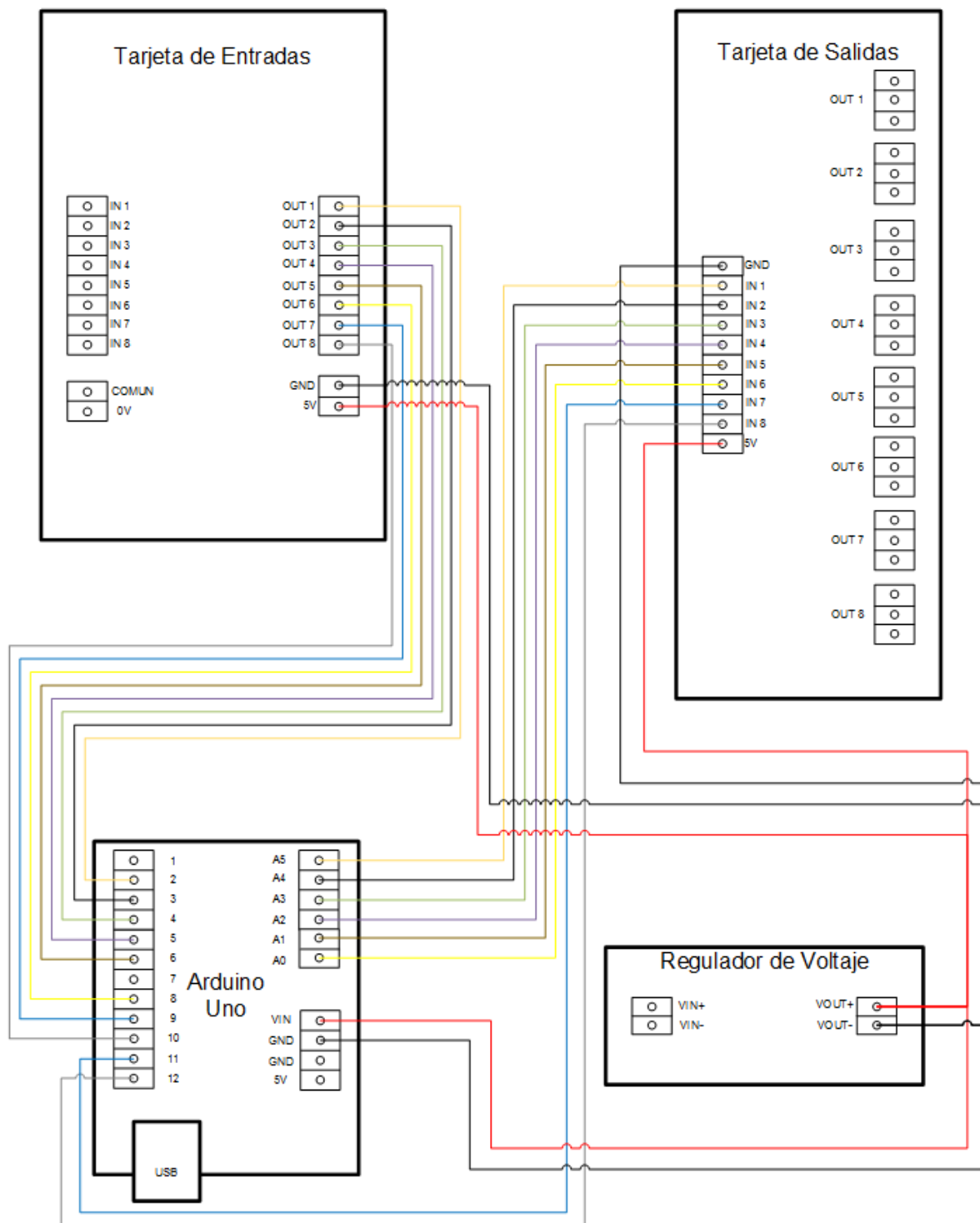


Figura 47. Diagrama de conexiones del PLCard Didactic Uno.

DIAGRAMA DE CONEXIONES *PLCArd Didactic Uno*



La tarjeta indicadora de estado Led cumple un doble propósito: indica la presencia de señal de entrada o salida y evita daños internos de los componentes al prevenir la inversión de polaridad.

4.2. DIRECCIONAMIENTO

Los bancos de accionamiento de motores eléctricos cuentan con 8 entradas y 6 salidas digitales que se encargan del control de los elementos del banco. En la siguiente tabla se muestra el direccionamiento de cada elemento con respecto al *PLCArd Didactic Uno*.

Tabla 16 Direccionamiento entre las E/S del PLCArd Didactic Uno y la Arduino.

Entrada PLCArd Didactic Uno	Pin Arduino	Salida PLCArd Didactic Uno	Pin Arduino
1	2	1	A5
2	3	2	A4
3	4	3	A3
4	5	4	A2
5	6	5	A1
6	8	6	A0
7	9	7	11
8	10	8	12

5. MODULO *PLCARD DIDACTIC MEGA*

Figura 48 PLCard Didactic Mega



Este módulo fue diseñado para controlar los bancos de Vagonetas (Automatismos Lógicos Secuenciales Basados en Grafset y Gema) y Conexiones Neumáticas (Simulación de Transporte de Materiales por Medio de Actuadores Neumáticos).

5.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y COMPONENTES

El módulo *PLCArd Didactic Mega* se diseñó con 16 entradas y salidas digitales. Cuenta con leds indicadores de estado para monitorear la comunicación, de tal forma que estos se encenderán cada vez que haya presencia de una señal. Lleva como controlador una tarjeta Arduino Mega. La conexión se da mediante conector SysLink. En la tabla 16 se muestran las especificaciones técnicas con mayor detalle.

Tabla 17 Especificaciones Técnicas del PLCArd Didactic Mega.

PLCArd Didactic	
MODELO	MEGA
Voltaje de Operación	24 Vdc
Corriente Máxima	1800 mA
Tamaño (l x a x h) [mm]	220 x 165 x 51.5
Peso Aprox.	1,2 kg
Velocidad (CPU)	16 MHz
Memoria Flash	128 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Comunicación	USB
Entradas	16
Salidas	16
Tipo de Señal	Digital
Protección	Corto Circuito
	Sobretensión

En el interior del módulo se encuentran 18 componentes los cuales son mostrados y nombrados en la siguiente figura y tabla respectivamente:

Figura 49 Despiece del módulo PLCard Didactic Mega.

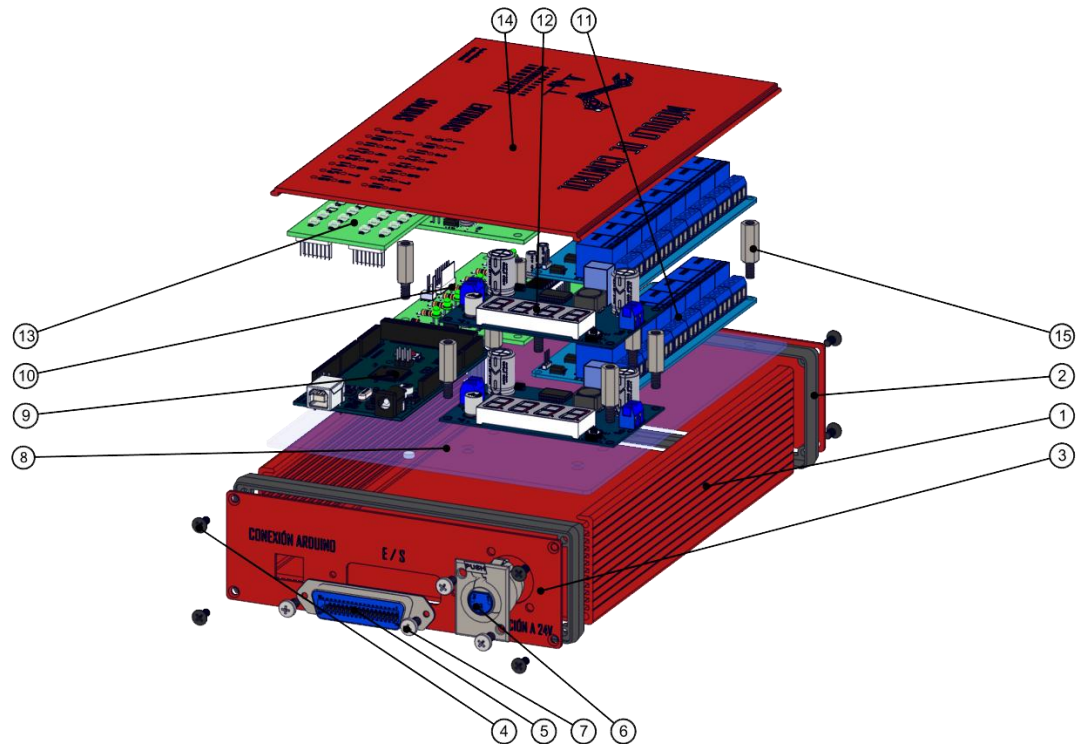


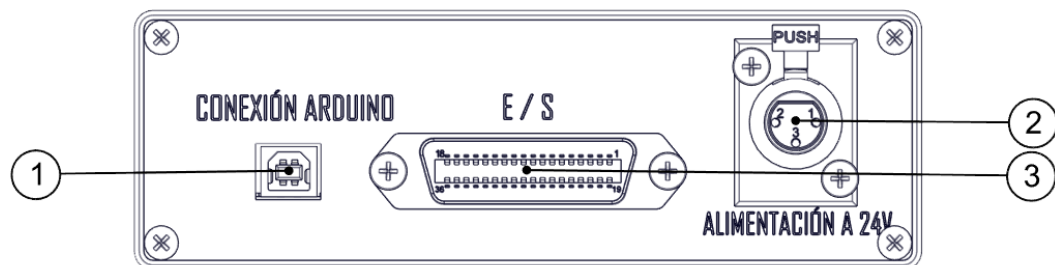
Tabla 18 .Componentes del PLCard Didactic Mega.

Nº. Componente	Nombre	Cantidad
1	Caja de aluminio	1
2	Marco de plástico ABS	2
3	Tapa frontal	1
4	Tornillo caja de aluminio	8
5	Conector SysLink E/S	1
6	Conector hembra XLR de 3 pines	1
7	Tornillo y tuerca para componentes	18
8	Base de acrílico	1
9	Arduino Mega2560	1
10	Tarjeta de entradas	2
11	Tarjeta de salidas	2
12	Regulador de Voltaje	2
13	Tarjeta indicadora de estado	1
14	Tapa superior	1
15	Bujes espaciadores	12

5.2. ELEMENTOS DE MANEJO E INDICACIÓN

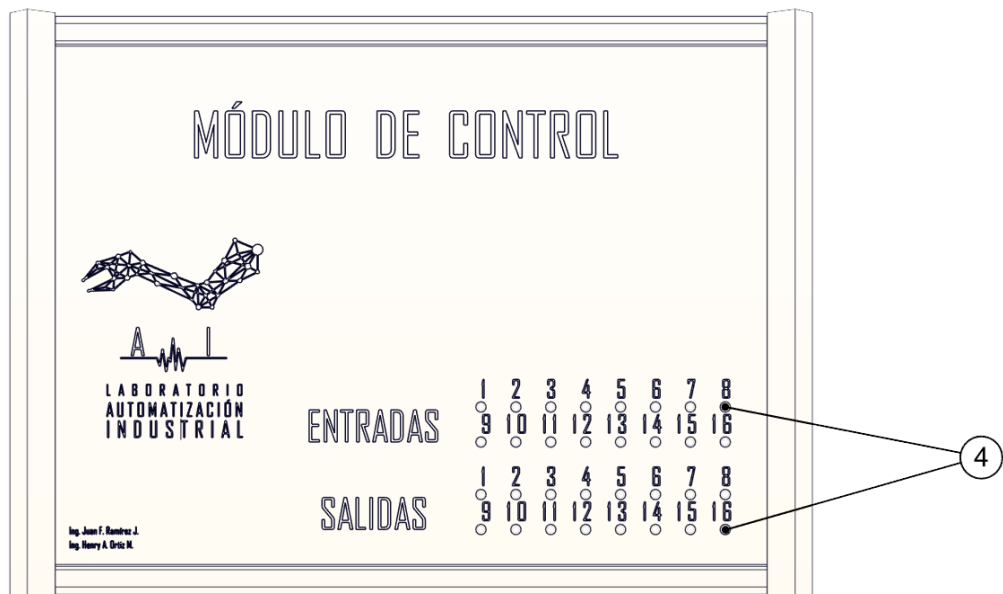
En la parte exterior del módulo se aprecia una serie de grabados laser. Estos indican los puertos de entrada y salidas, el puerto de alimentación de 24 VDC y el puerto de comunicación USB.

Figura 50 Vista Frontal PLCard Didactic Mega.



- 1) Interface de conexión USB
- 2) Conexión para el suministro de corriente (24 Vdc) mediante un conector XLR de 3 pines.
- 3) Conector SysLink para las entradas/salidas

Figura 51 . Vista superior PLCard Didactic Mega.

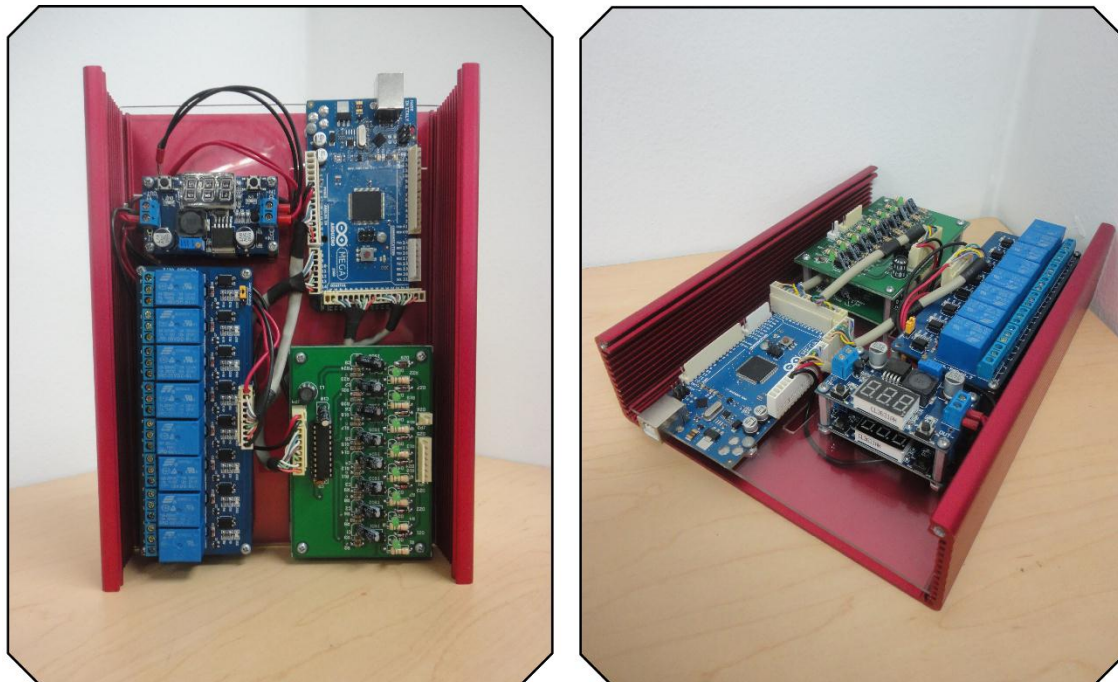


4) Indicadores de estado de cada una de las entradas/salidas

La conexión de los componentes internos se realiza mediante conectores tipo molex y cable multiconductor de hoja metálica de 8 hilos (ver figura 43). Cada hilo posee un color que está asignado a las entradas y salidas de cada una de las tarjetas, de esta manera se lleva un orden en su conexión.

La distribución final de los componentes del PLCard Didactic Mega corresponde a un diseño modular, pensado en el fácil ensamble de sus componentes dentro de la caja de aluminio. Un esquema general de la distribución de pines utilizados en la tarjeta Arduino, se utilizan en total 16 pines de entrada y 16 de salida además de los pines Vin y gnd, se presenta en la figura 52 y 53.

Figura 52 .Componentes Internos del PLCard Didactic Mega.



En esta versión, la tarjeta indicadora de estado led cumple una única función: indicar la presencia de señal de entrada o salida.

Figura 53. Diagrama de conexiones del PLCard Didactic Mega primer bloque.

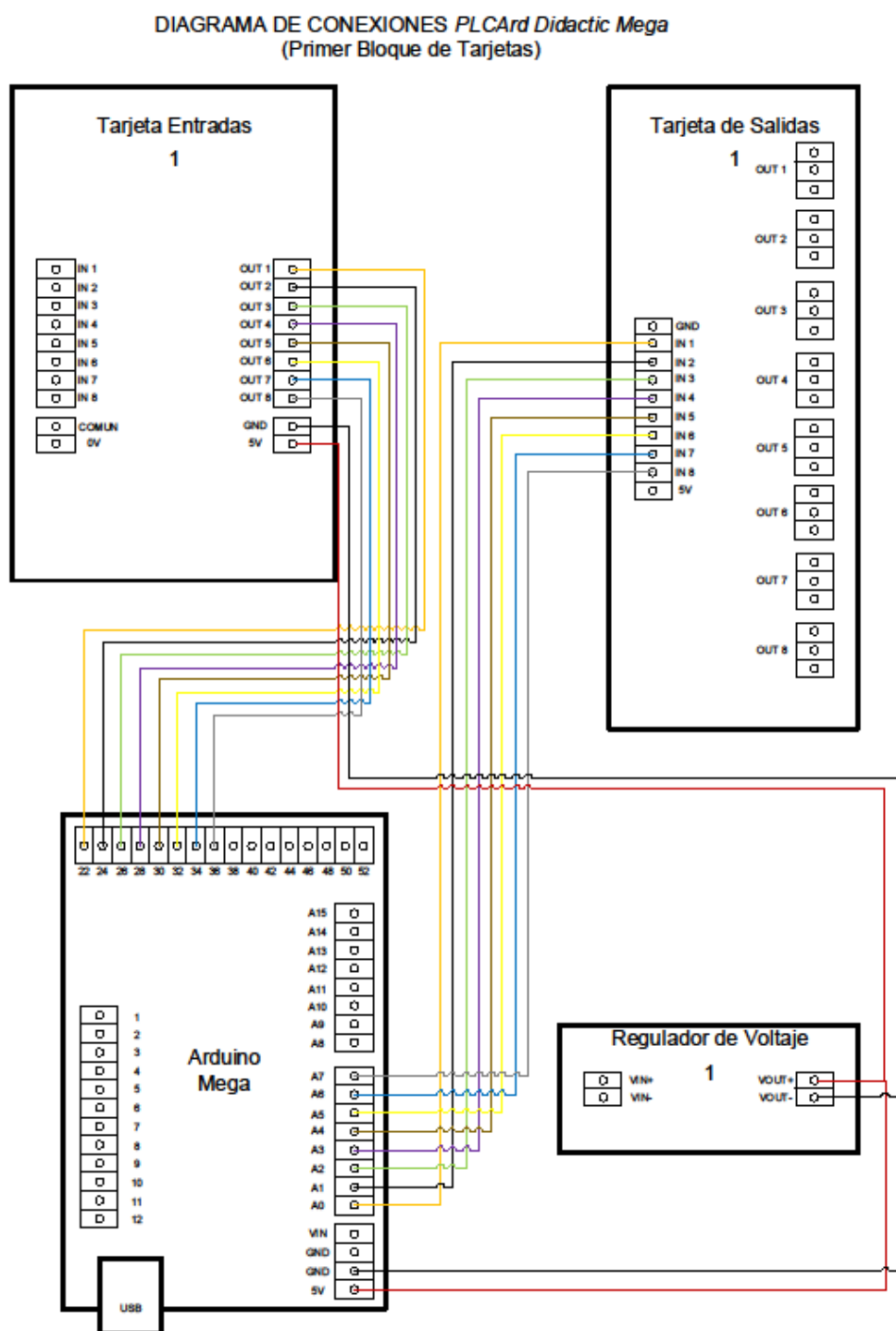
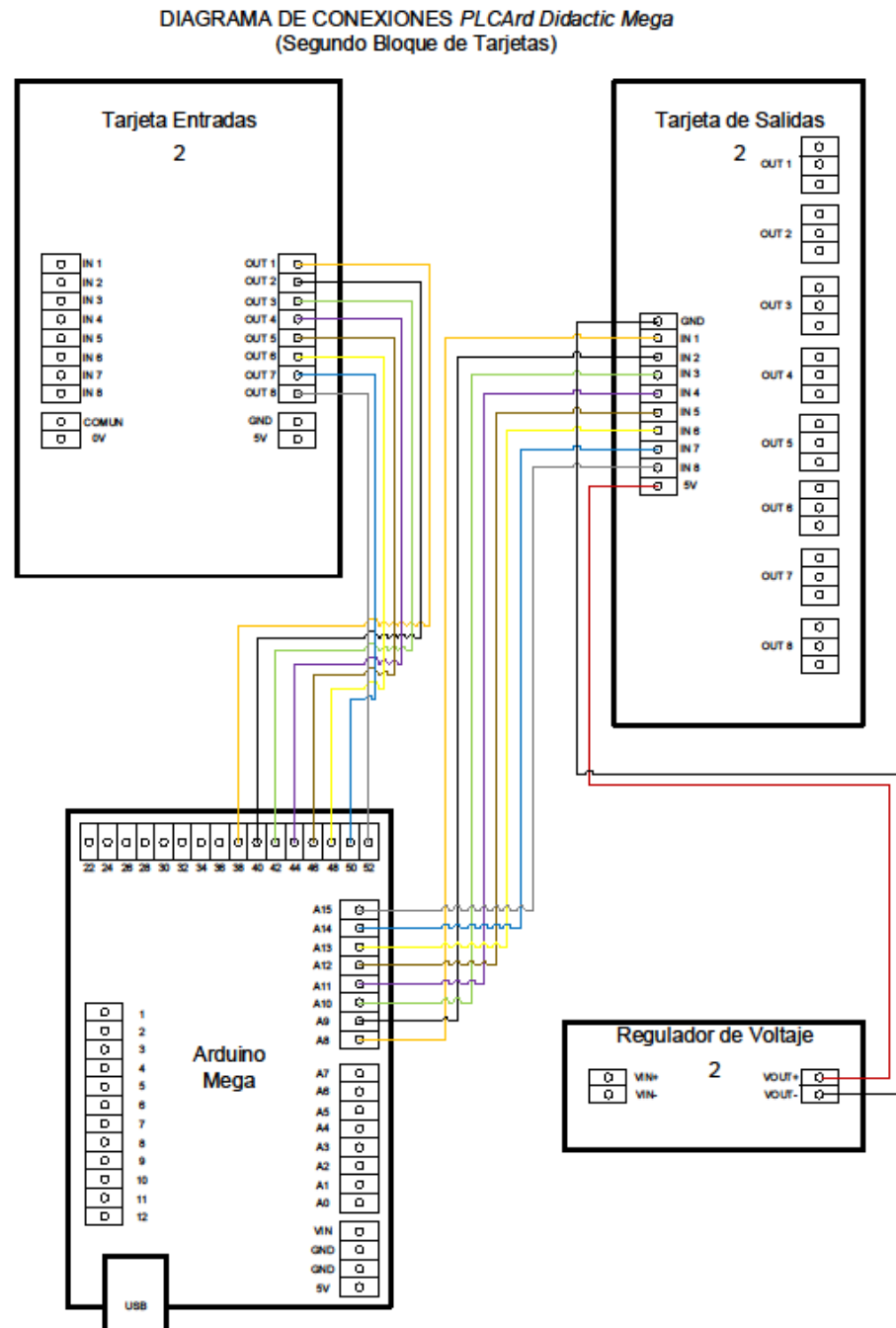


Figura 54 .Diagrama de conexiones del PLCard Didactic Mega segundo bloque.



5.3. DIRECCIONAMIENTO

El banco de vagonetas cuenta con un total de 6 salidas digitales, que controlan el sentido de giro de los 3 motores; 14 entradas digitales, compuestas por 3 sensores inductivos; 4 finales de carrera y 7 pulsadores. En la siguiente tabla se muestra el direccionamiento de cada elemento con respecto al *PLCArd Didactic Mega*.

Tabla 19 Tabla de direcciones E/S del PLCard Didactic MEGA para el banco de vagonetas

Entrada	PIN Entrada	Arduino Entrada	Salidas	PIN Salida	Arduino salida
pulsador 3	1	22	Motor-vago#2-Derecha	19	A0
pulsador 2	2	24	Motor-vago#2-Izquierda	20	A1
pulsador4	3	26	Motor-vago#1-izquierda	21	A2
pulsador 1	4	28	Motor-vago#1-Derecha	22	A3
P-selección Izquierdo	5	30	Motor-banda-Derecha	23	A4
P-selección Derecha	6	32	Motor-banda-Izquierda	25	A5
P-selección centro	7	34	Libre	25	A6
Libre	8	36	Libre	26	A7
F-carrera vago#2-izquierda	10	38	Libre	28	A8
F-carrera vago#2-Derecha	11	40	Libre	29	A9
F-carrera vago#1-izquierda	12	42	Libre	30	A10
Sensor banda centro	13	44	Libre	31	A11
Sensor banda izquierdo	14	46	Libre	32	A12
F-carrera vago#1-Derecha	15	48	Libre	33	A13
Sensor banda derecho	16	50	Libre	34	A14
Libre	17	52	Libre	35	A15
		Alimentación 24VDC	PIN		
		24VDC	9		
		0VDC	27		

Tabla 20 Tabla de direcciones E/S del PLCard Didactic MEGA+ para el banco de conexiones neumáticas

Entrada	PIN Entrada SysLink	Arduino Entrada	Salidas	PIN Salida SysLink	Arduino salida
Pulsador marcha	1	22	Solenoide válvula 1	19	A0
Selector automático	2	24	Libre	20	A1
Selector manual	3	26	Libre	21	A2
Sensor de presión	4	28	Libre	22	A3
Cilindro prensado abajo	5	30	Libre	23	A4
Cilindro prensado arriba	6	32	Libre	24	A5
Cilindro 2 izquierda	7	34	Libre	25	A6
Cilindro 2 derecha	8	36	Libre	26	A7
F-carrera cilindro doble derecha	10	38	Solenoide Válvula 4	28	A8
F-carrera cilindro doble izquierda	11	40	Solenoide Válvula 3 arriba	29	A9
F-carrera mecánico cilindro doble	12	42	Solenoide Válvula 3 abajo	30	A10
Cilindro de elevación	13	44	Solenoide válvula 2 derecha	31	A11
Parada de emergencia	14	46	Solenoide válvula 2 izquierda	32	A12
Libre	15	48	Libre	33	A13
F-carrera cilindro 1 izquierda	16	50	Led de encendido	34	A14
F-carrera cilindro 1 derecha	17	52	Led de parada	35	A15
		Alimentación 24VDC		PIN	
		24VDC		9	
		0VDC		27	

6. MODULO *PLCARD DIDACTIC MEGA+*

Figura 55 .PLCArd Didactic Mega+.



Este módulo fue diseñado para ser implementado en el banco de prácticas de conexiones de Preactuadores y Sensores.

6.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y COMPONENTES

El módulo *PLCArd Didactic Mega+* se diseñó con 16 entradas y 16 salidas digitales. Cuenta con leds indicadores de estado para monitorear la comunicación, de tal forma que estos se encenderán cada vez que haya presencia de una señal. Lleva como controlador una tarjeta Arduino Mega y la conexión se da mediante conector SysLink. En la tabla 20 se muestran las especificaciones técnicas con mayor detalle.

Tabla 21 .Especificaciones Técnicas del *PLCArd Didactic Mega+*.

PLCArd Didactic	
MODELO	MEGA+
Voltaje de Operación	24 Vdc
Corriente Máxima	1800 mA
Tamaño (l x a x h) [mm]	220 x 165 x 51.5
Peso Aprox.	1,2 kg
Velocidad (CPU)	16 MHz
Memoria Flash	128 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Comunicación	USB
Entradas	16
Salidas	16
Tipo de Señal	Digital
Protección	Corto Circuito
	Sobretensión

En el interior del módulo se encuentran 18 componentes. Estos son mostrados y nombrados en la siguiente figura y tabla respectivamente:

Figura 56 .Despiece del módulo PLCard Didactic Mega+.

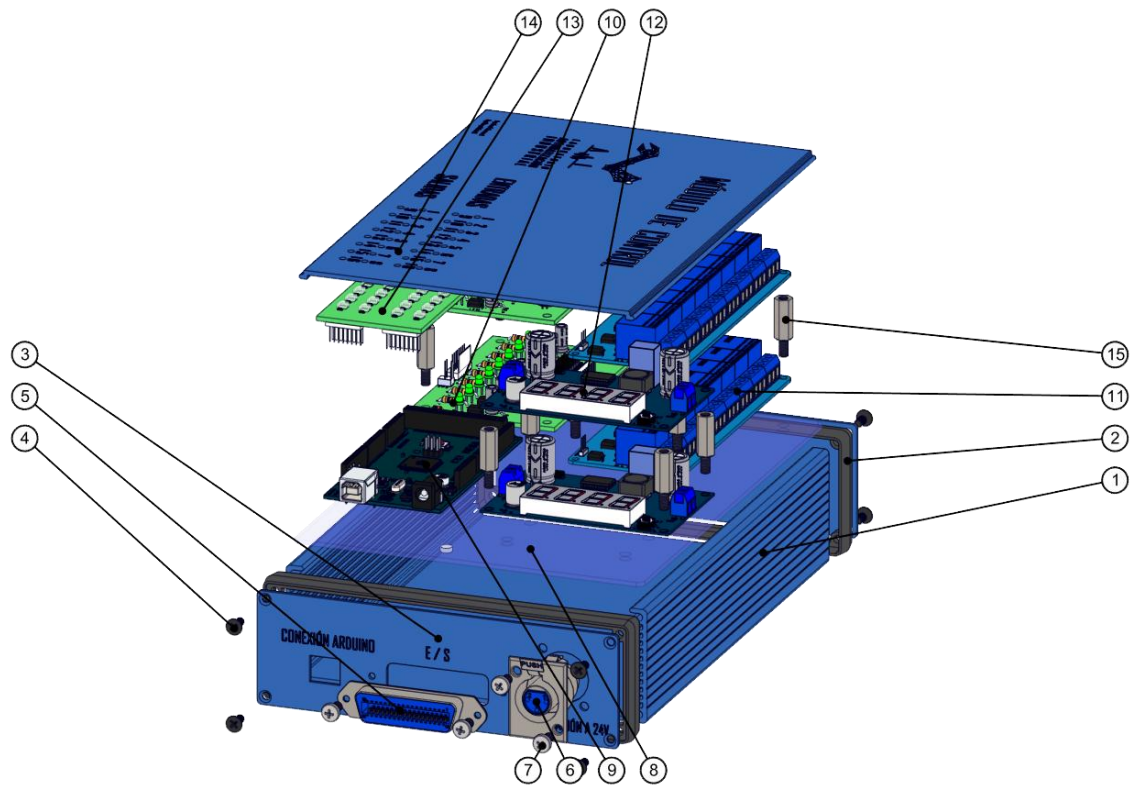


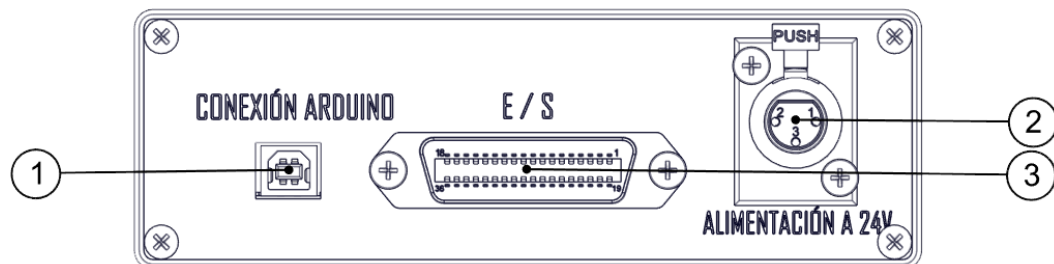
Tabla 22 .Componentes PLCard Didactic Mega+.

No. Componente	Nombre	Cantidad
1	Caja de aluminio	1
2	Marco de plástico ABS	2
3	Tapa frontal	1
4	Tornillo caja de aluminio	8
5	Conector SysLink E/S	1
6	Conector hembra XLR de 3 pines	1
7	Tornillo y tuerca para componentes	18
8	Base de acrílico	1
9	Arduino Mega2560	1
10	Tarjeta de entradas	2
11	Tarjeta de salidas	2
12	Regulador de Voltaje	2
13	Tarjeta indicadora de estado	1
14	Tapa superior	1
15	Bujes	12

6.2. ELEMENTOS DE MANEJO E INDICACION

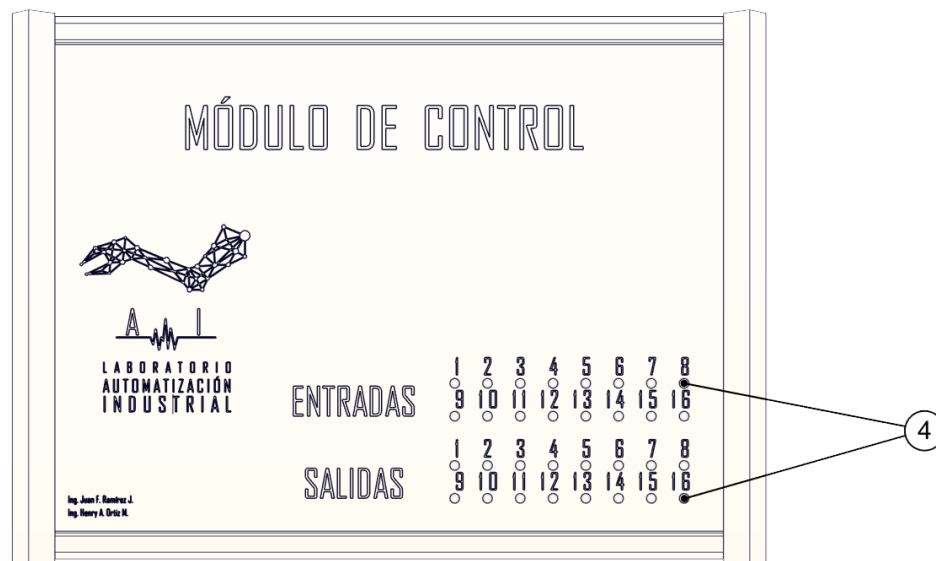
En la parte exterior del módulo se aprecia una serie de grabados laser. Estos indican los puertos de entrada y salidas, el puerto de alimentación de 24 VDC y el puerto de comunicación USB.

Figura 57 Vista Frontal PLCard Didactic Mega+.



- 1) Interface de conexión USB
- 2) Conexión para el suministro de corriente (24 Vdc) mediante un conector XLR de 3 pines.
- 3) Conector SysLink para las entradas/salidas

Figura 58 Vista superior PLCard Didactic Mega+.



- 4) Indicadores de estado de cada una de las entradas/salidas

La conexión de los componentes internos se logra mediante conectores tipo molex y cable multiconductor de hoja metálica de 8 hilos (ver figura 43). Cada hilo tiene un color asignado a las entradas y salidas de cada una de las tarjetas, de esta manera se lleva un orden en la conexión.

Un esquema general de la distribución de pines utilizados en la tarjeta Arduino, se utilizan en total 16 pines de entrada y 16 de salida además de los pines Vin y gnd, se presenta en la figura 59 y 60.

Figura 59 Diagrama de conexiones del PLCard Didactic + Mega primer bloque.

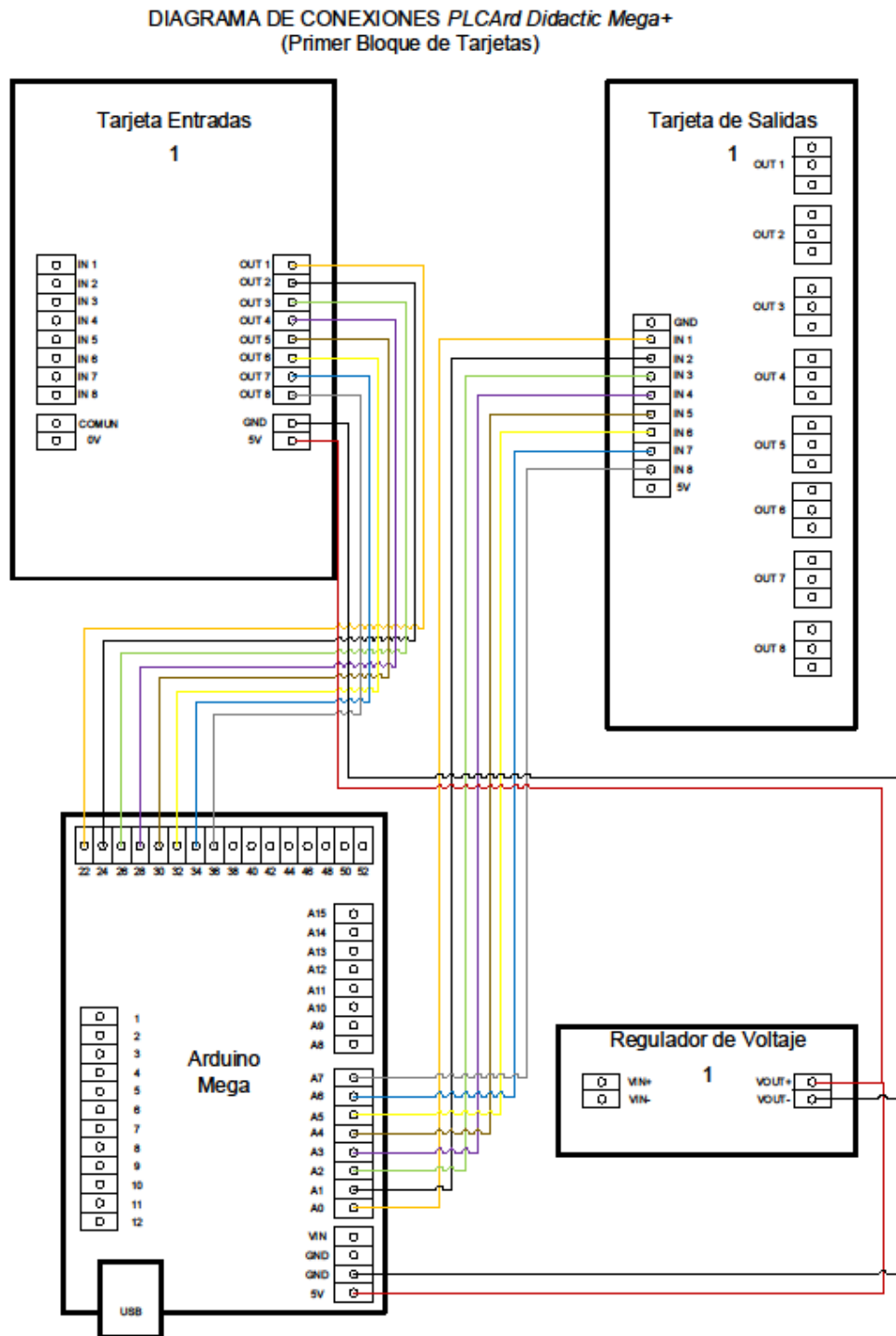
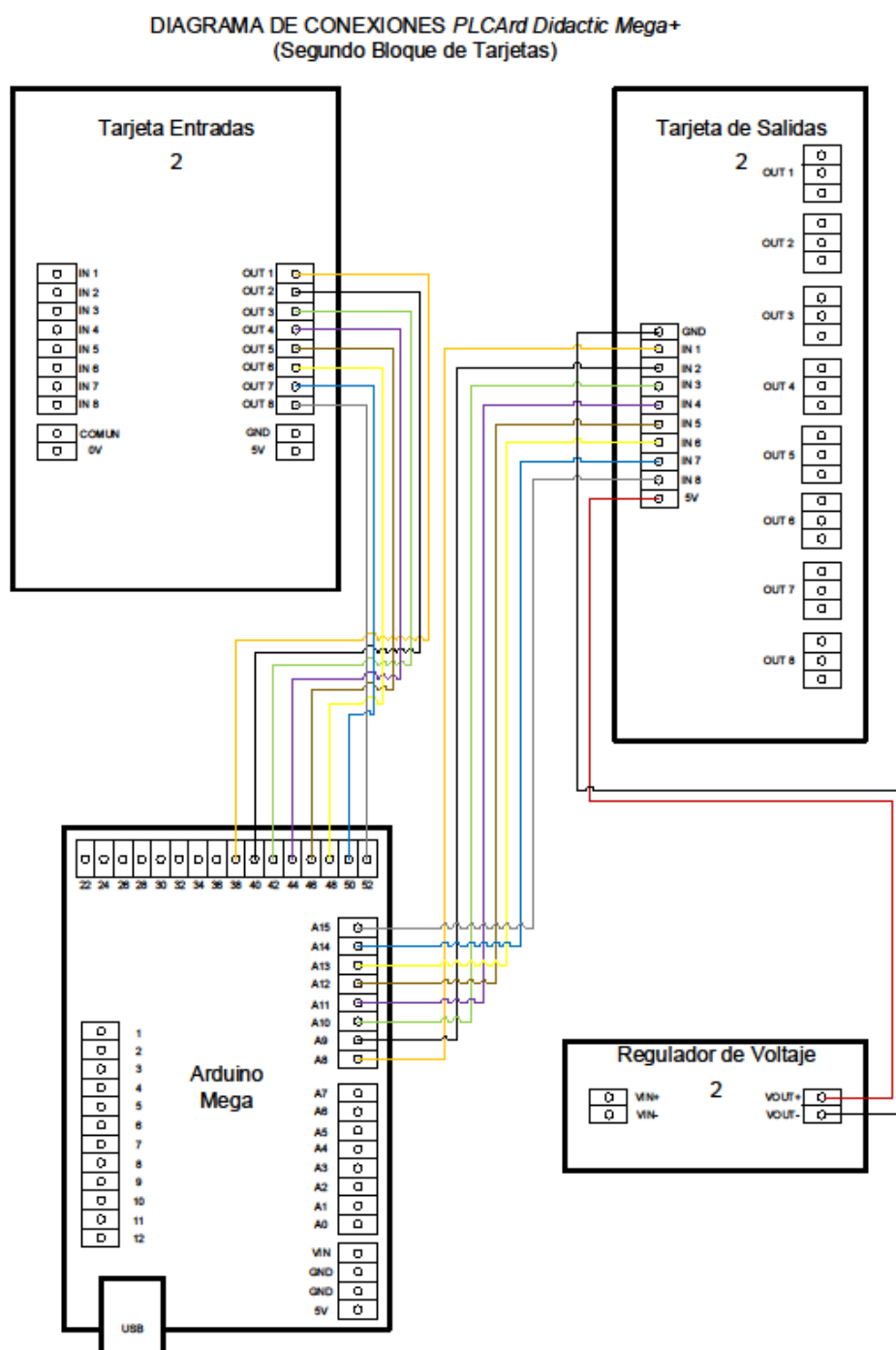


Figura 60. Diagrama de conexiones del PLCard Didactic + Mega segundo bloque.



6.3. DIRECCIONAMIENTO

En la siguiente tabla se muestra el direccionamiento de las entradas y salidas del *PLCArd Didactic Mega+*.

Tabla 23 Tabla de direcciones E/S del PLCard Didactic MEGA+ y la tarjeta Arduino

Entrada	PIN Entrada SysLink	Arduino Entrada	Salidas	PIN Salida SysLink	Arduino salida
1	1	22	19	19	A0
2	2	24	20	20	A1
3	3	26	21	21	A2
4	4	28	22	22	A3
5	5	30	23	23	A4
6	6	32	24	25	A5
7	7	34	25	26	A6
8	8	36	26	27	A7
9	9	38	27	28	A8
10	10	40	28	29	A9
11	11	42	29	30	A10
12	12	44	30	31	A11
13	13	46	31	32	A12
14	14	48	32	33	A13
15	15	50	33	34	A14
16	16	52	34	35	A15
Alimentación 24VDC				PIN	
24VDC				17	
0VDC				36	

7. BANCO DE PRÁCTICAS DE CONEXIONES DE PREACTUADORES Y SENSORES

Figura 61. Banco de Preactuadores y Sensores.



El banco de Preactuadores y Sensores se diseñó y construyó pensando en las debilidades de los bancos existentes en el Laboratorio de Automatización

Industrial. Mientras que estos tienen todos sus componentes fijos y son poco claros en las conexiones de los elementos, el banco de Preactuadores y Sensores permite, gracias a su diseño modular, configuraciones distintas de sus elementos y le ofrece al estudiante la comprensión sencilla del uso y funcionamiento de los preactuadores y sensores, de tal forma que el estudiante puede aprender a realizar las conexiones entre los elementos a usar y el controlador lógico.

En la conexión de sensores se quiere que el estudiante entienda el funcionamiento y la conexión de los sensores de 2, 3 y 4 hilos, y que algunos de ellos requieren de una fuente de alimentación externa para generar su señal. En este banco se emplearán finales de carrera mecánicos (dos hilos), sensores de proximidad magnéticos (3 hilos) y sensores capacitivos (4 hilos).

Para la conexión de los preactuadores se espera que el estudiante comprenda que a menudo, por la gran carga de potencia o debido a su naturaleza, éstos no pueden ser conectados de manera directa al controlador, razón por la cual se tiene un fluido de potencia y un fluido de control. Los preactuadores que se usan en el banco son electroválvulas, relés y contactores.

El objetivo de las prácticas a desarrollar es que el estudiante comprenda el uso y funcionamiento de los Sensores y Preactuadores en un sistema de control. Los sistemas de control constan de dos partes principales:

- Parte de control.
- Parte de operación.

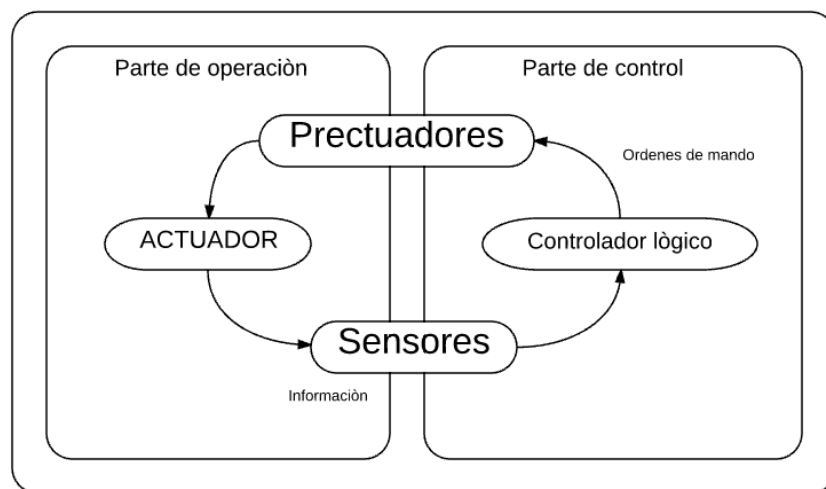
En la parte de control está el dispositivo lógico, que para las prácticas a realizar en este banco pueden ser dos: el PLC de la gama S7 300 o el PLC Ard Didactic Mega+. Dichos controladores son los encargados de comandar las operaciones del sistema, comparando la información (señales) proveniente de los sensores,

con un valor preestablecido o una condición dada, que genera o no, una señal de control donde se acciona un actuador.

Es en la parte operativa donde una señal de control es convertida en una acción sobre el sistema. Esto gracias a los preactuadores que dirigen la carga de potencia hacia los actuadores, que a su vez son los encargados de transformar la carga en trabajo útil. Estos actuadores pueden ser motores, cilindros hidráulicos o cilindros neumáticos.

En estas dos partes, elementos como los sensores y preactuadores son el puente que permite que un controlador opere los actuadores.

Figura 62 .Esquema de un sistema de control



7.1. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO

Para diseñar la estación de trabajo se tuvieron en cuenta ciertos criterios (ver tabla 23) obtenidos de un análisis previo del espacio disponible y del objetivo del banco de prácticas.

Tabla 24. Criterios de diseño.

CRITERIOS DE DISEÑO
Área de trabajo desmontable.
Aprovechamiento de espacio.
Fácil montaje y desmontaje de equipos.
Puesto de trabajo móvil.
Estética.
Seguridad.

Considerando los aspectos anteriores, el diseño que se llevó a cabo para cumplir con los requerimientos establecidos se muestra en la siguiente figura:

Figura 63 Diseño CAD de la estación de trabajo.

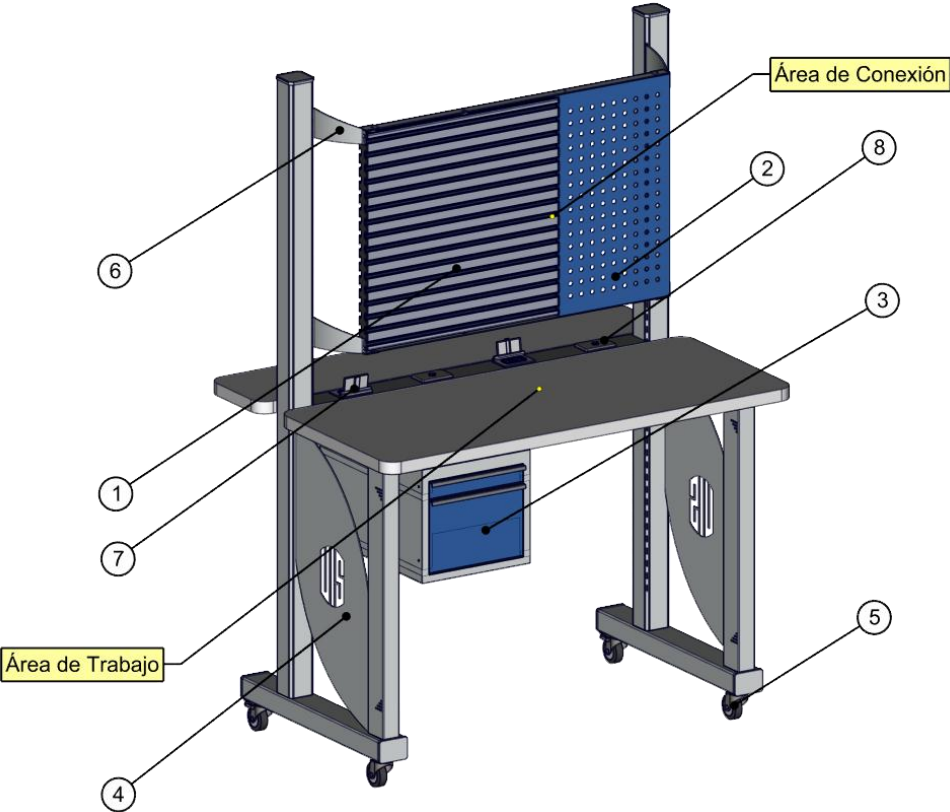


Tabla 25 Elementos estación de trabajo

Nº. Componente	Nombre	Cantidad
1	Placa de aluminio perfilada marca FESTO	1
2	Placa metálica perforada	1
3	Gavetas	2
4	Platina de acero con el logo de la UIS	2
5	Ruedas	4
6	Soportes Laterales	4
7	Toma de 110 Vac	2
8	Toma de 24 V	2

De la estación de trabajo se distinguen dos secciones denominadas respectivamente área de conexiones y área de trabajo. En la primera sección (área de conexión) hay dos placas de trabajo. La primera es una placa de aluminio perfilado marca FESTO, especial para el montaje de equipos neumáticos. La segunda es una placa metálica perforada que proporciona espacio amplio para trabajar. Es de destacar que el diseño del banco permite tener un área de conexión doble, es decir que se aprovechan ambas caras de las placas.

En la segunda sección (área de trabajo) se cuenta con una superficie dispuesta para colocar elementos durante la práctica. Tiene un tamaño adecuado para que tres estudiantes trabajen simultáneamente sobre esta zona. También su parte inferior posee dos gavetas que permiten almacenar equipos y documentación, y para cargar la batería de los equipos, en la parte central del banco hay una toma corriente de conexiones, dos tomas de 110 Vac y dos tomas de 24 V.

7.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO

Para la construcción del banco de prácticas se realizó en SolidWorks un diseño y se contrató con la empresa INDUGAMA su construcción.

Figura 64 Construcción de la estación de trabajo.



El marco principal de la estructura se trabajó en acero AISI 1020, calibre 18 y de perfil cuadrado. En la parte lateral lleva dos platinas de acero con semiarcos y el logo de la Universidad Industrial de Santander; este fue realizado con una cortadora de plasma CNC y posteriormente fue soldado a la estructura. Toda la estructura está soldada para darle mayor rigidez.

Figura 65 Platina de acero con el logo de la Universidad Industrial de Santander.



Las columnas que dan soporte al área de conexiones fueron troqueladas para permitirle ser desmontada. Al conjunto se le aplicó pintura electrostática de superficie rugosa para una mayor durabilidad y un excelente acabado. Los colores gris y azul fueron elegidos de acuerdo a los colores representativos del laboratorio.

Figura 66 Vista Frontal y Posterior de la Estación de Trabajo.



7.3. COMPONENTES DEL BANCO DE PRÁCTICAS

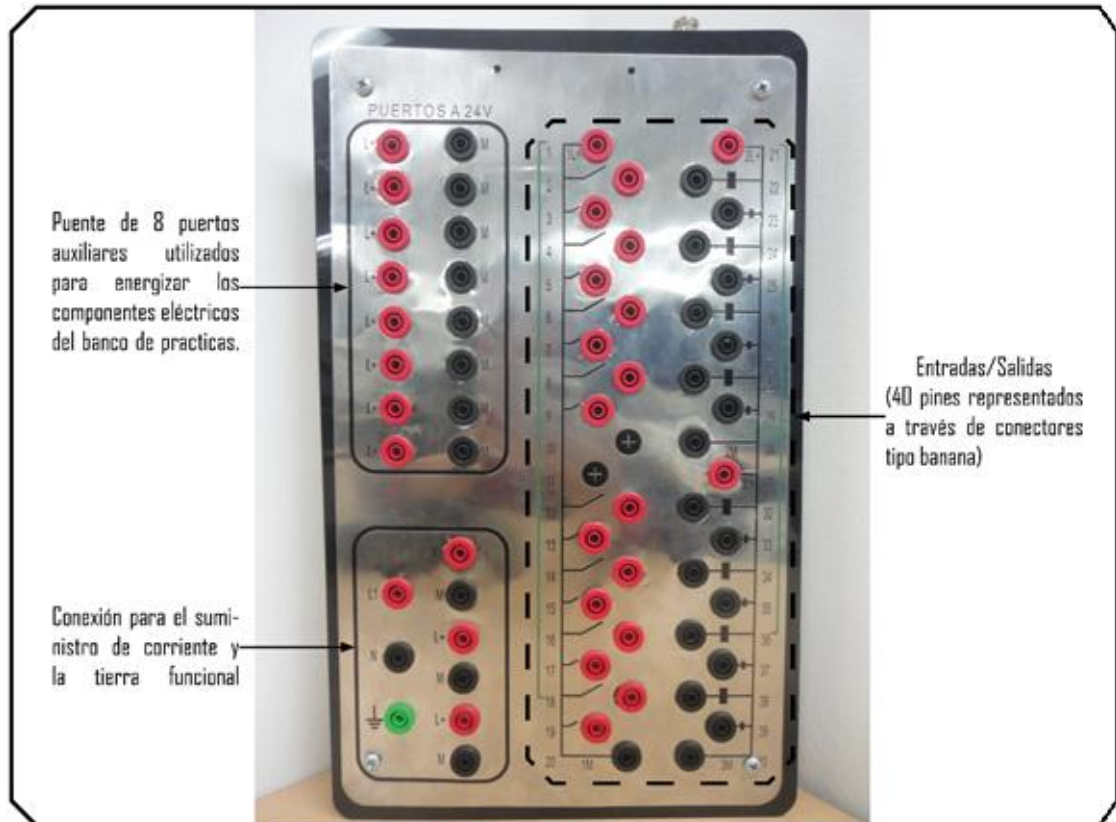
Para facilitar la conexión de los componentes que integran el banco de prácticas de Preactuadores y Sensores, se construyeron unos paneles, que facilitan la conexión y protegen de daños a los equipos producto de cortocircuitos e inversiones de polaridad.

7.3.1. Panel de conexión didáctico

Se diseña con el fin de simular la conexión de un PLC, por ello presenta una similitud en su panel frontal con el PLC S7-300 CPU 314 IFM. Posee cuarenta pines que corresponden a sus entradas, salidas y a la tensión de alimentación de las E/S. Además cuenta con una conexión para el suministro de tensión al PLC y ocho puertos auxiliares.

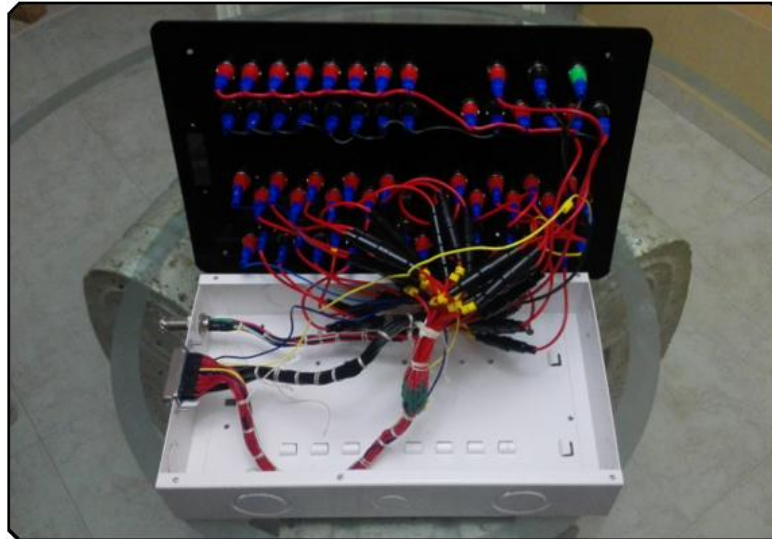
El módulo fue diseñado para proteger al PLC y al módulo de control *PLCArd Didactic Mega +*. Dicha protección se logra usando diodos zener, los cuales solo permiten el flujo de tensión en un sentido, y un fusible de 500 mA que protege de sobre tensiones a los elementos antes mencionados.

Figura 67 Panel de conexión didáctico



La conexión entre el Panel y el PLC o el Modulo de control *PLCArd Didactic Mega +* se realiza a través de un puerto de conexión SysLink (IEEE 488) de 36 pines. También trae un puerto auxiliar que es el encargado de suministrar los 24 VDC. Para la construcción de este panel de conexiones se eligió una placa frontal hecha en acero inoxidable, se marcó mediante fotograbado y se montó en una caja (355 largo, 210 ancho y 70 alto).

Figura 68. Panel de conexiones.

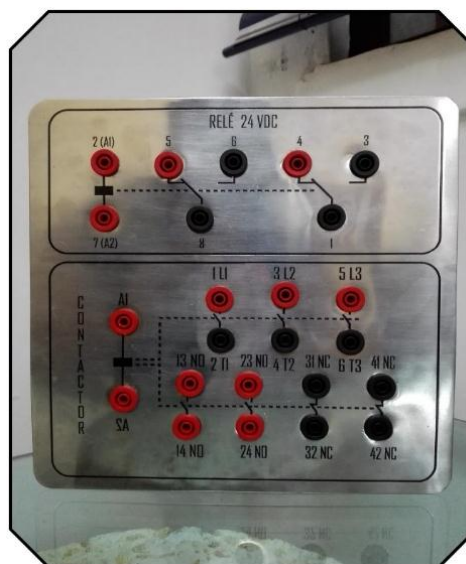


7.3.2. Panel de preactuadores

El relé de 24 V como el contactor, son equipos de maniobra que manejan el mismo fluido de control y de potencia.

Para facilitar la conexión de los equipos se construyó una placa en acero inoxidable y mediante la técnica de fotograbado se marcaron todos los contactos.

Figura 69. Panel de preactuadores



8. MANUAL DE PRÁCTICAS

Este manual de prácticas tiene por objeto ayudar al profesor, al auxiliar del laboratorio y al estudiante de Sistemas Mecatrónicos con el desarrollo de las prácticas creadas para los PLCard Didactic de control y el banco de Preactuadores y Sensores. Cada ejercicio contiene una introducción, unos objetivos claros, el procedimiento detallado de la práctica a realizar, el material y equipos a utilizar, espacio para las conclusiones generadas por los estudiantes y una bibliografía.

A continuación, se muestra una práctica que podrán encontrar en el manual.

Inversión del Sentido de Giro de un Motor Asíncrono Trifásico (2 HP), Controlado por el *PLCArd Didactic Uno*

1. Objetivos

- Conocer el funcionamiento de un inversor de giro como dispositivo de maniobra en el arranque de un motor eléctrico (2 HP)
- Adquirir habilidad en la conexión, selección, identificación e interpretación de planos eléctricos.
- Ejecutar correctamente la inversión de giro de un motor trifásico.

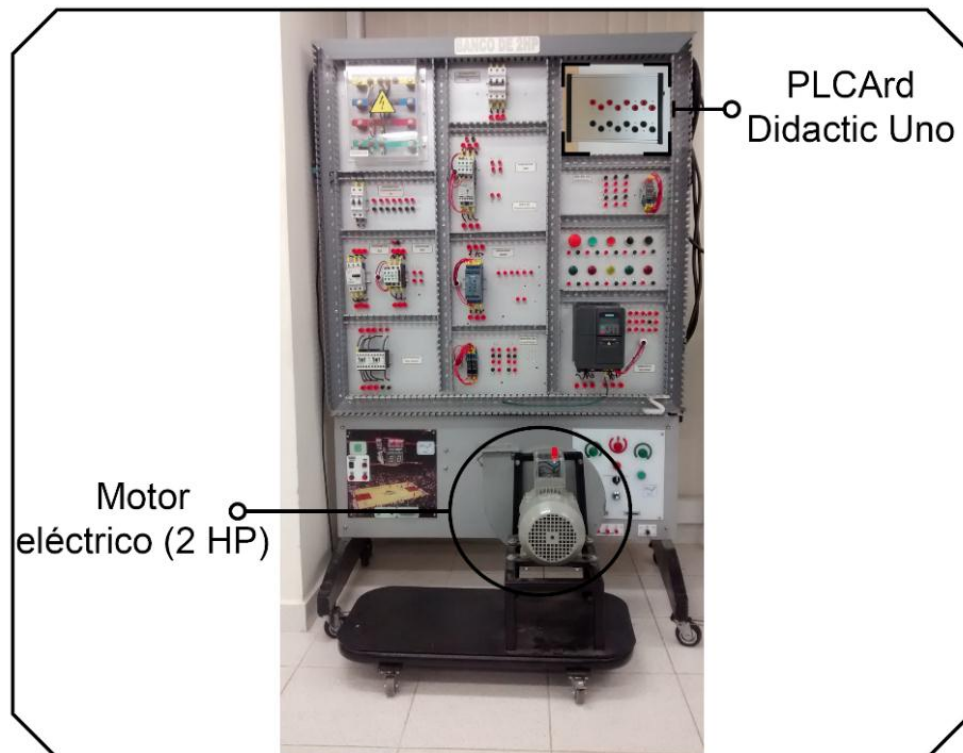
2. Introducción

La inversión de giro es posible realizarla manual o automáticamente mediante contactores. En este último caso el equipo de control está compuesto de dos contactores. Se debe tener en cuenta que durante la conmutación tiene que intercalarse una pausa suficientemente extensa para que se extinga el arco en el

aparato que desconecta, antes de conectar el segundo aparato de maniobra. Para esto los contactores deben estar enclavados eléctricamente y/o mecánicamente.

3. Material Y Equipos

Cantidad	Descripción	Nomenclatura
1	Parada de emergencia	S0
1	Pulsador verde NO	S1
1	Pulsador rojo NC	S2
1	Piloto luminoso verde	H1
1	Piloto luminoso rojo	H2
1	Piloto luminoso amarillo	H3
2	Relés 24vdc-220vac	K1, K2
3	Relés 24vdc-220vac	K3, K4, K5
1	Interruptor termomagnético bipolar	Q2
1	Interruptor termomagnético tripolar	Q1
1	Guardamotor	Q1A
1	Inversor de giro	KM3, KM4
1	Motor	M
1	PLCArd Didactic Uno	



4. Procedimiento

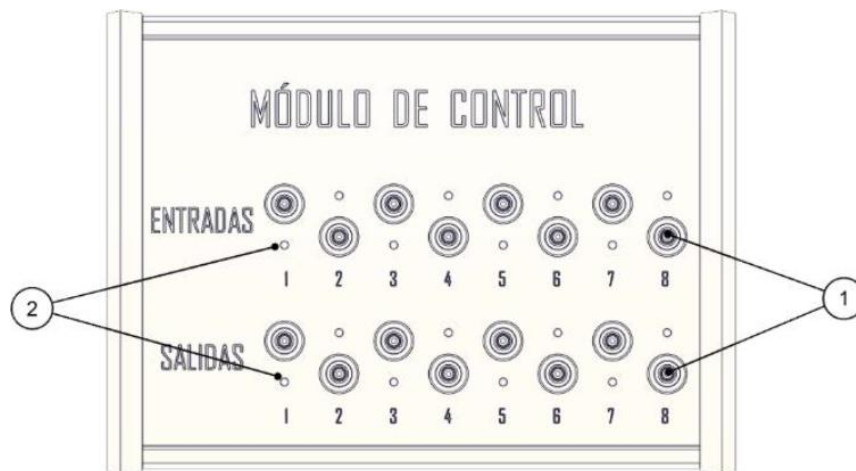
El motor de 2 HP (trifásico de corriente alterna) se deberá controlar desde el *PLCArd Didactic Uno*. El sistema consta de 3 pulsadores (P1, P2, P3) que indican el sentido de giro del motor (Tabla 1).

Tabla 26 El sistema consta de 3 pulsadores (P1, P2, P3) que indican el sentido de giro del motor

	P1	P2	P3	Motor	
				CW	CCW
1	Sin pulsar	Sin pulsar	Sin pulsar	OFF	OFF
2	Sin pulsar	Sin pulsar	PULSADO	OFF	OFF
3	Sin pulsar	PULSADO	Sin pulsar	ON	OFF
4	Sin pulsar	PULSADO	PULSADO	OFF	ON
5	PULSADO	Sin pulsar	Sin pulsar	OFF	ON
6	PULSADO	Sin pulsar	PULSADO	ON	OFF
7	PULSADO	PULSADO	Sin pulsar	OFF	ON
8	PULSADO	PULSADO	PULSADO	ON	OFF

Estos pulsadores serán las entradas. Según la combinación dada por los pulsadores (Tabla 1), el *PLCArd Didactic Uno* será el que lleve la línea para activar la bobina del relé K3, K4 y K5 que son los relés de 24 Vdc.

En la siguiente figura podemos observar las conexiones de las entradas y las salidas del *PLCArd Didactic UNO* con su respectiva tabla de direccionamiento.



1. Puertos de entrada y salida
2. Led indicador de estado

Tabla 27 Direccionamiento PLCard Didactic UNO

Entradas PLCard Didactic Uno	Pin Arduino Entradas	Salidas PLCard Didactic Uno	Pin Arduino Salidas
1	2	1	A5
2	3	2	A4
3	4	3	A3
4	5	4	A2
5	6	5	A1
6	8	6	A0
7	9	7	11
8	10	8	12

En el siguiente esquema se observa el circuito de control de 220 VAC (Gráfica 1) que consta de 3 relés controlados por 24VDC (las bobinas). Los contactos comunes de éstos van a la línea de 110VAC y los respectivos contactos normalmente abiertos (NO) van conectados a las bobinas del contactor (KM1) y del inversor de giro (KM3 y KM4). El relé K3 controla la bobina del contactor (KM1), el relé K4 controla la bobina del inversor de giro (KM3) y el K5 la bobina del inversor de giro (KM4).

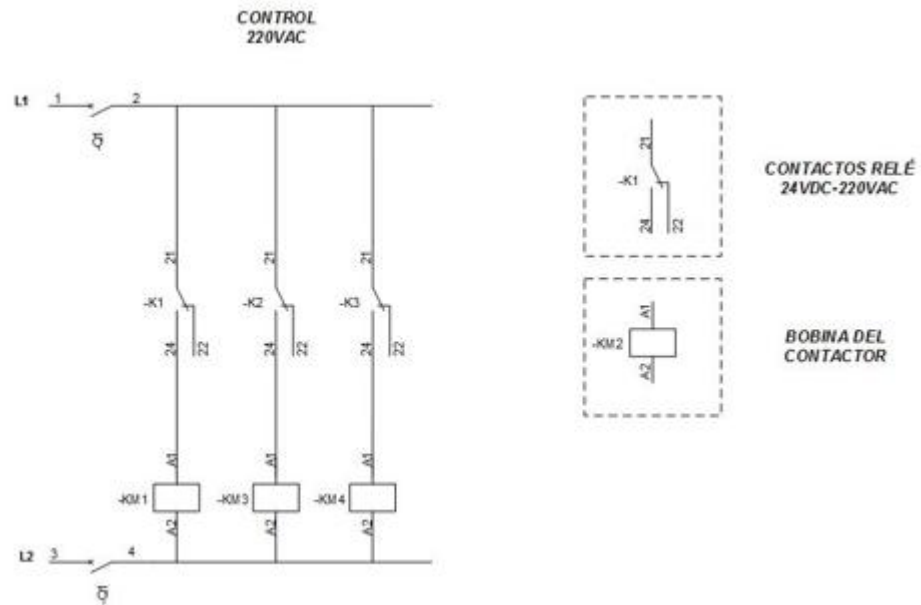


Grafico 1 El siguiente esquema muestra el circuito de potencia de 220VAC (Gráfica 2), el cual está conectado a las líneas L1, L2, L3 (todos a 110VAC) para poder alimentar el motor trifásico de 2HP.

Las líneas van conectadas a un interruptor termomagnético, que es cerrado manualmente (Q1). Posterior al interruptor Q1 va al contactor (KM1), que es controlado por los relés anteriormente explicados. Después de este, van conectados los contactores del inversor de giro (KM3 y KM4) que indicarán un sentido según sea la orientación de las fases.

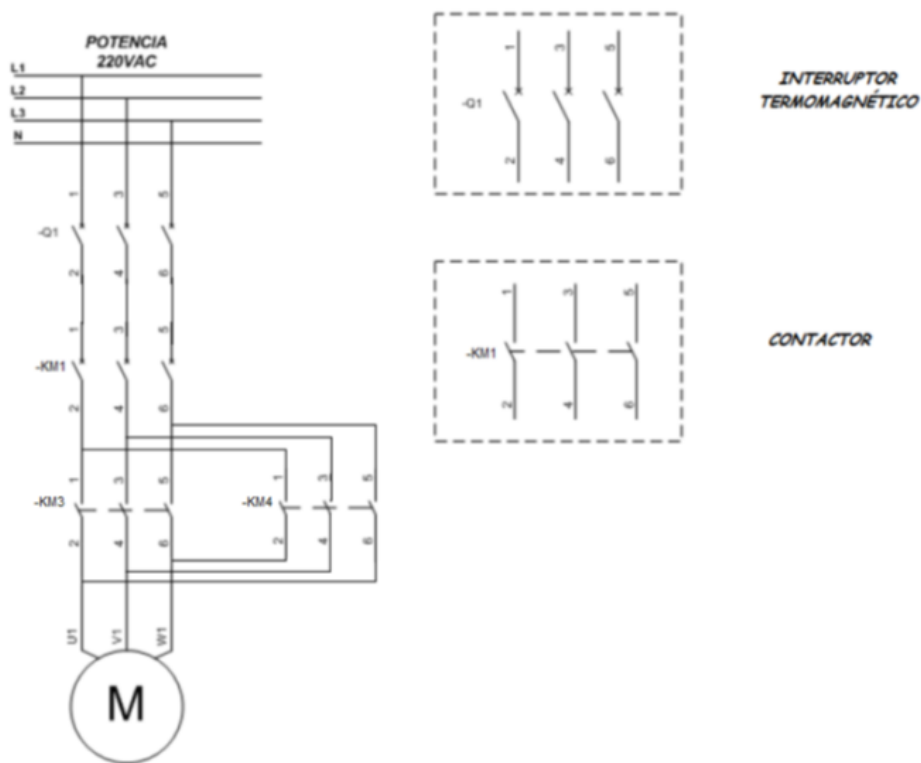


Grafico 2. Posterior al interruptor Q1 va al contactor (KM1), que es controlado por los relés anteriormente explicados. Después de este, van conectados los contactores del inversor de giro (KM3 y KM4) que indicarán un sentido según sea la orientación de las fases.

NOTA IMPORTANTE: Solo se puede alimentar una de las bobinas del inversor de giro, KM3 o KM4, **NO SE DEBEN ALIMENTAR AMBAS AL TIEMPO PORQUE GENERARÍAN CORTO.**

NOTA DE FUNCIONAMIENTO: Para obtener un sentido deben estar alimentadas las bobinas del contactor (KM1) y una de las bobinas del inversor de giro (KM3 o KM4). Para tener un sentido horario del eje del motor deben estar alimentadas las bobinas KM1 y KM3. Y para obtener un sentido anti-horario deben estar alimentadas las bobinas KM1 y KM4.

Se debe entregar el SISTEMA FUNCIONANDO.

- Los predicados correspondientes y los mapas de Karnaugh que se requieren para resolver el ejercicio.
- Software en Arduino (traerlo en una USB porque este será probado en el banco de 2HP).

3. Conclusiones

(desarrolladas por el estudiante)

4. Bibliografía

- Monroy Cristóbal, Maquinas eléctricas, motores.
www.iescristobaldemonroy.es/./Departamentos/Tecnologia/.../Electronica_2pdf
- García Moreno Emilio: Automatización de procesos industriales. Servicio de publicaciones. 352p. (ISBN 84-7721-759-9).
- Robert L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición, 2006.

9. PRESUPUESTO

Este capítulo se muestra el presupuesto con el que se ejecutó el presente proyecto de grado para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos se puede visualizar en la tabla 23.

Tabla 28 .Presupuesto general.

Presupuesto General Ejecutado	
Concepto	costo
Bibliografía y papelería	\$ 200.000,00
Módulos PLCard Didactic	\$ 2.067.800,00
Baco de sensores y preactuadores	\$ 1.846.400,00
Asesoría MSc. Jorge Enrique Meneses Flórez	\$ 2.000.000,00
Otros (transporte, envió, prototipos, etc.)	\$ 898.300,00
Total	\$ 7.012.500,00

9.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS PLCARD DIDACTIC

Las tablas 24 y 25 se detalla los costos de construcción de los módulos PLCard Didactic.

Tabla 29 Presupuesto Ejecutado PLCard Didactic UNO.

PRESUPUESTO PLCard Didactic UNO			
Concepto	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Arduino Uno	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Regulador de voltaje	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Tarjeta de entradas	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
Tarjeta de salidas	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
Tarjeta indicadora de estado	2	\$ 78.200,00	\$ 156.400,00
Caja de aluminio	1	\$ 106.000,00	\$ 106.000,00
Conector XLR de 3 pines	1	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00
Tornillería	16	\$ 200,00	\$ 3.200,00
Base acrílico	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Banana 4 mm CAT III	16	\$ 1.800,00	\$ 28.800,00
Cables y conectores	N/A		\$ 20.000,00
Mecanizado tapa frontal	1		\$ 25.000,00
Insumos y varios	N/A		\$ 20.000,00
Total			\$ 563.800

¡Error! Vínculo no válido.

Tabla 30 .Presupuesto Ejecutado PLCard Didactic mega y mega+.

PRESUPUESTO PLCard Didactic MEGA y Mega +			
Concepto	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Arduino Mega	2	\$ 126.000,00	\$ 256.000,00
Regulador de voltaje	4	\$ 20.000,00	\$ 80.000,00
Tarjeta de entradas	4	\$ 80.000,00	\$ 320.000,00
Tarjeta de salidas	4	\$ 40.000,00	\$ 160.000,00
Tarjeta indicadora de estado	2	\$ 142.800,00	\$ 285.600,00
Caja de aluminio	2	\$ 106.000,00	\$ 212.000,00
Conector XLR de 3 pines	2	\$ 2.400,00	\$ 4.800,00
Tornillería	36	\$ 200,00	\$ 7.200,00
Bujes espaciadores	24	\$ 1.250,00	\$ 30.000,00
Base acrílico	2	\$ 12.000,00	\$ 24.000,00
Puerto syslink	2	\$ 1.800,00	\$ 3.200,00
Cables y conectores	N/A	N/A	\$ 52.000,00
Mecanizado tapa frontal	2	\$ 25.000,00	\$ 50.000,00
Insumos y varios	N/A	N/A	\$ 20.000,00
Total			\$ 1.504.800

9.2. CONSTRUCCIÓN BANCO DE SENSORES Y PREACTUADORES

En la tabla 26 son detallados los costos de construcción del banco de sensores y preactuadores

Tabla 31 Presupuesto ejecutado banco de sensores y preactuadores.

PRESUPUESTO BANCO DE PREACTUADORES Y SENSORES			
Concepto	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Banana 4 mm CAT III	87	\$ 1.800,00	\$ 156.600,00
Porta fusibles de línea	40	\$ 1.000,00	\$ 43.000,00
Dido zener	40	\$ 250,00	\$ 10.000,00
Fusibles	40	\$ 250,00	\$ 10.000,00
tomacorriente de 110 Vac	2	\$ 4.500,00	\$ 9.000,00
cajas de conexión grande	2	\$ 21.000,00	\$ 41.000,00
caja de conexión pequeña	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Conector XLR de 3 pines	2	\$ 2.400,00	\$ 4.800,00
estructura banco practicas	1	\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00
Fotograbado	2	\$ 65.000,00	\$ 130.000,00
Insumos y varios	N/A	N/A	\$ 230.000,00

10. CONCLUSIONES

La realización de este proyecto de grado favoreció al proyecto institucional de la Universidad Industrial de Santander al fortalecer la búsqueda de la excelencia académica, por medio de la dotación al Laboratorio de Automatización Industrial de los PLCard y del banco de Preactuadores y Sensores. Con estos equipos los estudiantes de Sistemas Mecatrónicos I y Sistemas Mecatrónicos II fortalecen sus conocimientos en programación, conexión de sensores y el manejo de diferentes fluidos, ya sean de potencia o de control.

Se demostró, a partir de la creación de los PLCard, que puede ofrecerse una alternativa al PLC que, aunque no cumple con todas las especificaciones técnicas de este, facilita la comprensión de su arquitectura y funcionamiento.

La construcción de los PLCard Didactic amplió la funcionalidad de los bancos existentes en el Laboratorio de Automatización Industrial. Se brinda de esta manera a los estudiantes de Sistemas Mecatrónicos I un entorno donde realizar sus prácticas.

El diseño y la construcción del banco de Preactuadores y Sensores cumple con todas las condiciones funcionales para la ejecución de las distintas prácticas de los estudiantes. La experiencia de conexión por medio de paneles modulares le brinda al estudiante competencias necesarias para enfrentarse a un ambiente laboral.

11. RECOMENDACIONES

Los PLCard Didactic se podrían dotar de salidas análogas si se usan relés de estado sólido en su tarjeta de salidas.

Aunque este proyecto se basó en el mejoramiento de los bancos de prácticas existentes en el Laboratorio de Automatización Industrial, es posible que dichos bancos no suplan la demanda de estudiantes. Por lo anterior, se recomienda la construcción de bancos de prácticas adicionales.

Para evitar posibles fallos en el funcionamiento del microcontrolador, se recomienda que durante la carga del programa a los PLCard Didactic, estos no estén conectados a la línea de tensión de 24 Vdc.

El puerto de comunicación SysLink (o puerto paralelo) está en desuso. Su obtención fue muy difícil y retardó significativamente la ejecución de este proyecto. Se recomienda tener un cuidado especial con los equipos y bancos que cuentan con este tipo de conector.

Es importante realizar una buena gestión de los proveedores, de esta manera se evitan inconvenientes futuros; como la demora en la entrega de los insumos o servicios para los cuales se contrataron.

BIBLIOGRAFIA

DIAZ, Jimena y RINCON, Nolberto. Accionamiento de motores eléctricos basado en lógica programada. Trabajo de grado. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica, 2010. 128p.

GONZÁLEZ, Carlos y CORONEL, Reynaldo. Objeto de aprendizaje para el manejo de autómatas Allen Bradley de Rockwell Automation. Trabajo de grado. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica, 2013. 131p.

GONZALEZ, Jose y RAMÍREZ, Sadi. Diseño y construcción de un banco de prácticas para la aplicación de sistemas SCADA y HMI en eventos discretos. Trabajo de grado. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica, 2012. 138p.

Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger. Diseño y desarrollo de productos.: Mc Graw Hill. Quinta edición, 2013.

Mandado Pérez Enrique, Acevedo Jorge Marcos. Autómatas programables y sistemas de automatización.: Marcombo. Segunda edición, 2009.

Reyes Cortes Fernando, Vargas Soto Emilio. Mecatrónica control y automatización.: Alfaomega, 2013.

Torrente Artero Oscar. Arduino curso práctico de formación.: Alfaomega, 2013.

ANEXOS

Anexo A. Banco de motor eléctrico de 2hp



Este banco cuenta con un área de trabajo de 110 cm de ancho x 110 cm de alto que le permite al estudiante conocer el arranque directo de un motor asíncrono trifásico, y el funcionamiento de un variador de velocidad.

Equipos que Conforman el Banco.

➤ Equipos de Protección:

- Interruptor termo magnético.
- Relé de sobrecarga electrónico.
- Fusibles.
- Guarda motor.

- Equipos de Maniobra
 - Relés de control.
 - Contactor.
 - Inversor de giro.
 - Arrancador suave.
 - Variador de velocidad.

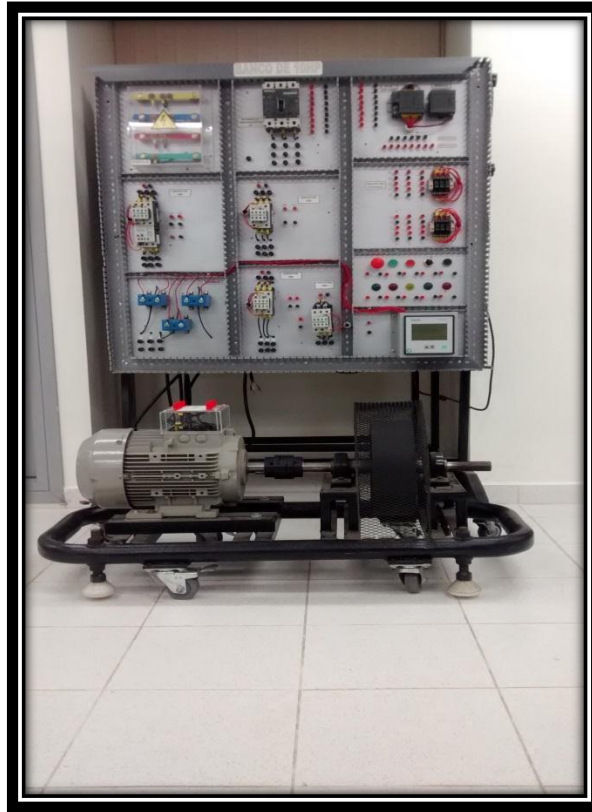
- Equipos de Mando
 - Parada de emergencia.
 - Pulsadores.
 - Pilotos Luminosos.

- Equipos de Control
 - Autómata programable S7-200

Características:

- Referencia 212-1AP23-0XBBO
- Alimentación 24 VDC
- Velocidad de ejecución booleana 0,22 microsegundos/operación
- 8 entradas digitales
- 6 salidas digitales
- Un puerto de comunicación PPI
- 4 contadores rápidos de hardware hasta 30 KHZ
- Entradas de alarma independientes y salidas de impulsos de 2X 20KHZ
- 2 interrupciones de tiempo a partir de 2 ms
- Un potenciómetro analógico

Anexo B. Banco de motor eléctrico de 10hp



Este banco cuenta con un tablero de 110 cm de ancho x 110 cm de alto, donde el estudiante desarrollara habilidades en el arranque estrella triangulo e inversión de giro de un motor eléctrico.

Equipos que Conforman el Banco:

➤ Equipos de Protección:

- Interruptor termo magnético.
- Relé de sobrecarga electrónico.
- Fusibles.

➤ Equipos de Maniobra

- Relés de control.
- Contactor.

➤ Equipos de Mando

- Parada de emergencia.
- Pulsadores.
- Pilotos Luminosos.

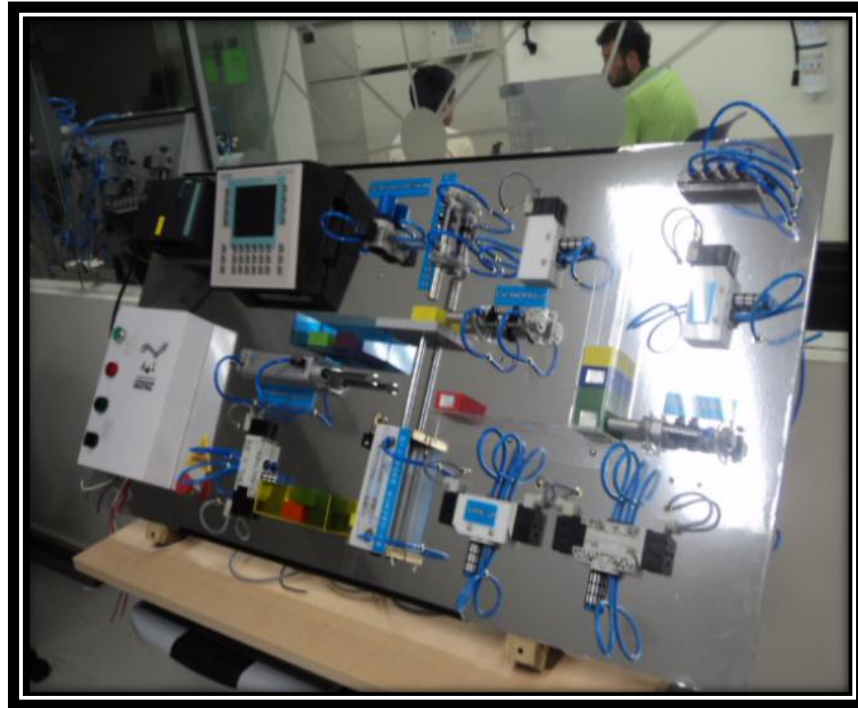
➤ Equipos de Control

- Autómata programable S7-200

Características:

- Referencia 212-1AP23-0XBBO
- Alimentación 24 VDC
- Velocidad de ejecución booleana 0,22 microsegundos/operación
- 8 entradas digitales
- 6 salidas digitales
- Un puerto de comunicación PPI
- 4 contadores rápidos de hardware hasta 30 KHZ
- Entradas de alarma independientes y salidas de impulsos de 2X 20KHZ
- 2 interrupciones de tiempo a partir de 2 ms

Anexo C .Banco de conexiones neumáticas



Este banco utiliza como fluido de potencia aire comprimido, el cual permite el movimiento de diversos actuadores neumáticos, encargados del transporte de cada material a su respectivo deposito, la secuencia que se desarrollo tiene como fin el transporte de dos diferentes clases de carga (metálicas y de madera).

Equipos que Conforman el Banco:

➤ Equipos de Protección:

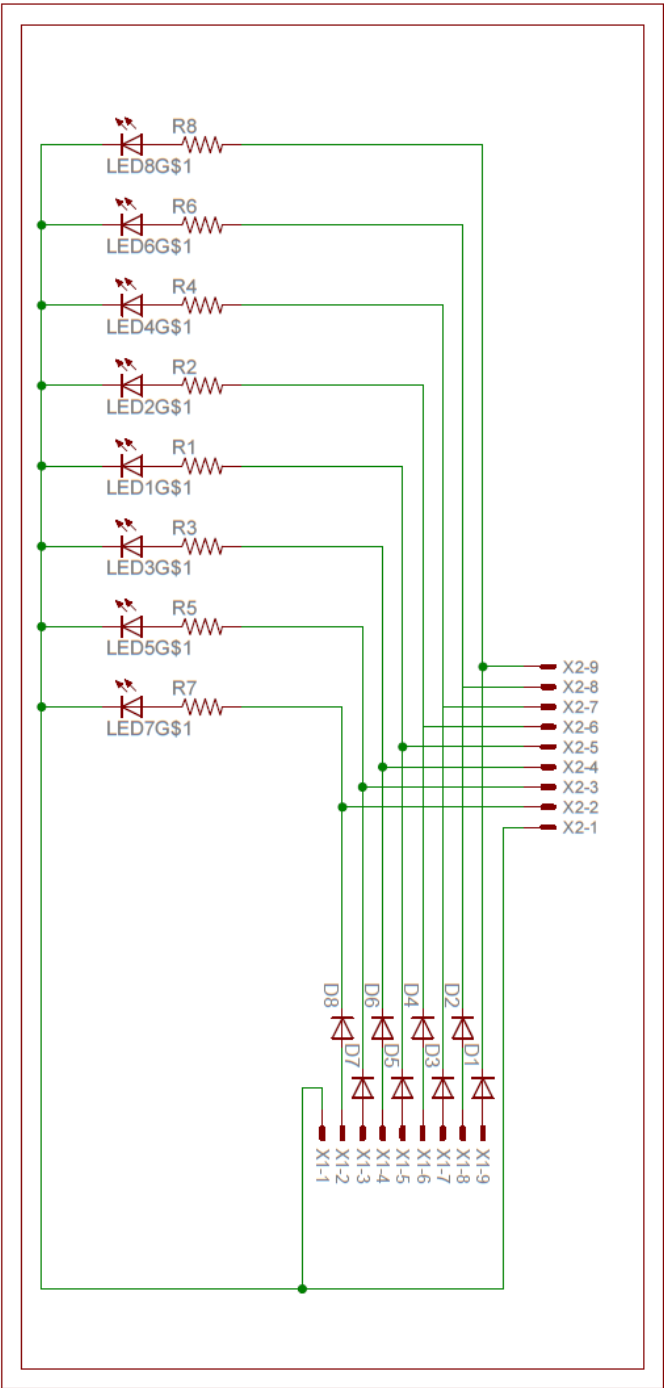
- Equipos de protección neumática: sirven para tres funciones básicas, la primera es la separación de impurezas liquidas y solidas (agua, aceite, y suciedad), la segunda es regular la presión para mantener una presión constante en el sistema y por último la misión de lubricar a todos los componentes de trabajo y de control.
- Fusibles.

- Equipos de Maniobra
 - Equipos de maniobra neumática:
 - Electroválvula VUVB-L-M32C-AD-Q6-1C1
 - Electroválvula VUVB-L-M42C-AD-Q6-1C1
 - Electroválvula VUVB-L-B42C-AD-Q6-1C1

- Equipos de Mando
 - Parada de emergencia.
 - Pulsadores.
 - Pilotos Luminosos.

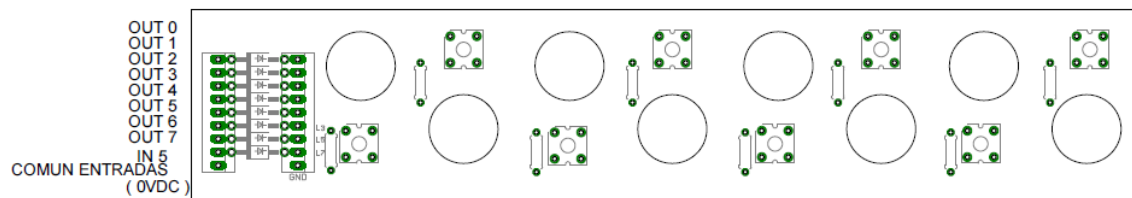
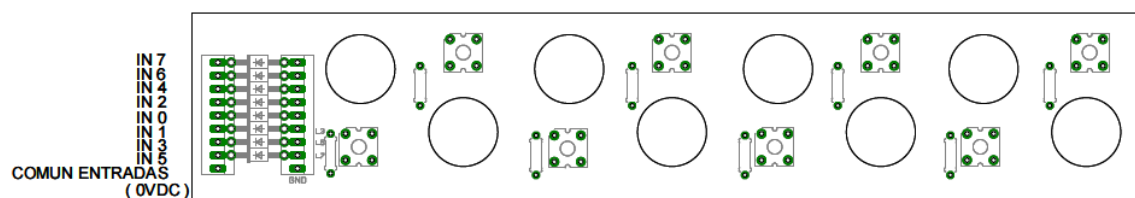
- Equipos de Control
 - Autómata programable S7-300

Anexo D esquema eléctrico tarjeta de estados PLCard Didactic uno

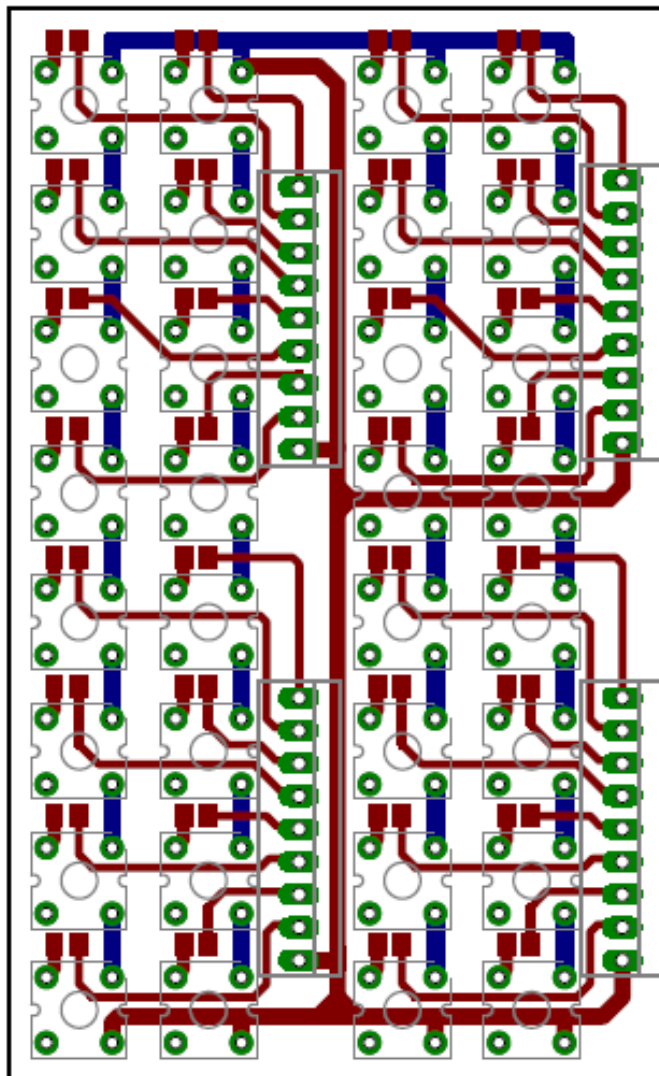


Anexo E Conexión de tarjeta de led's indicadores PLCard Didactic UNO

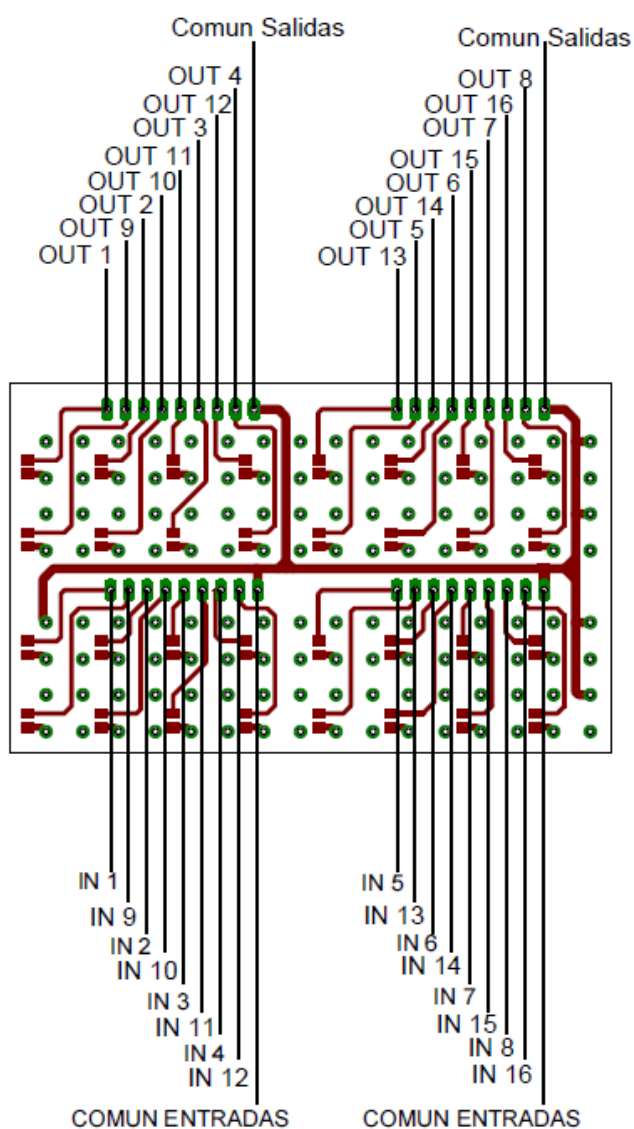
Conexión De tarjeta de led indicadores PLCard Didactic UNO



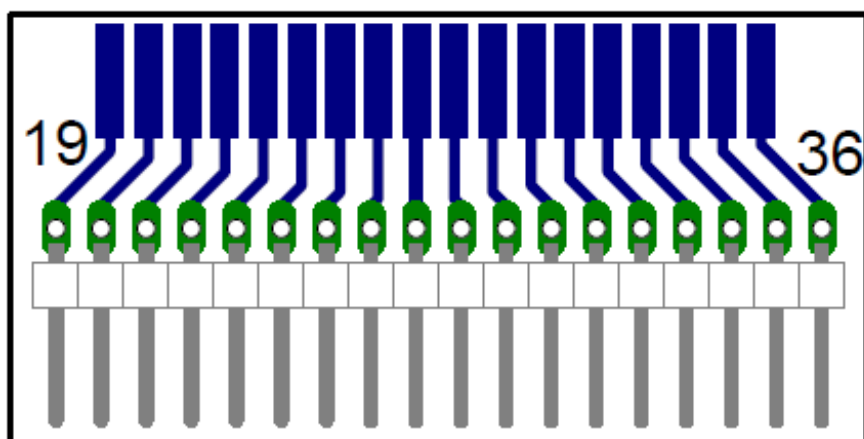
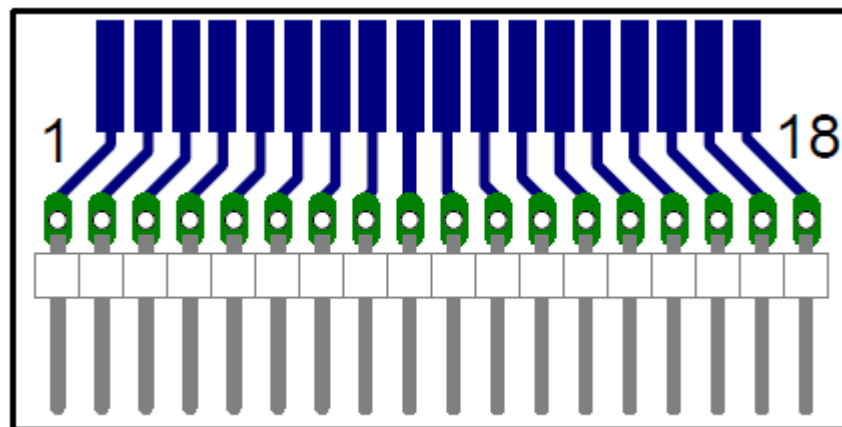
Anexo F Circuito impreso PLCard Didactic Mega Y Mega +



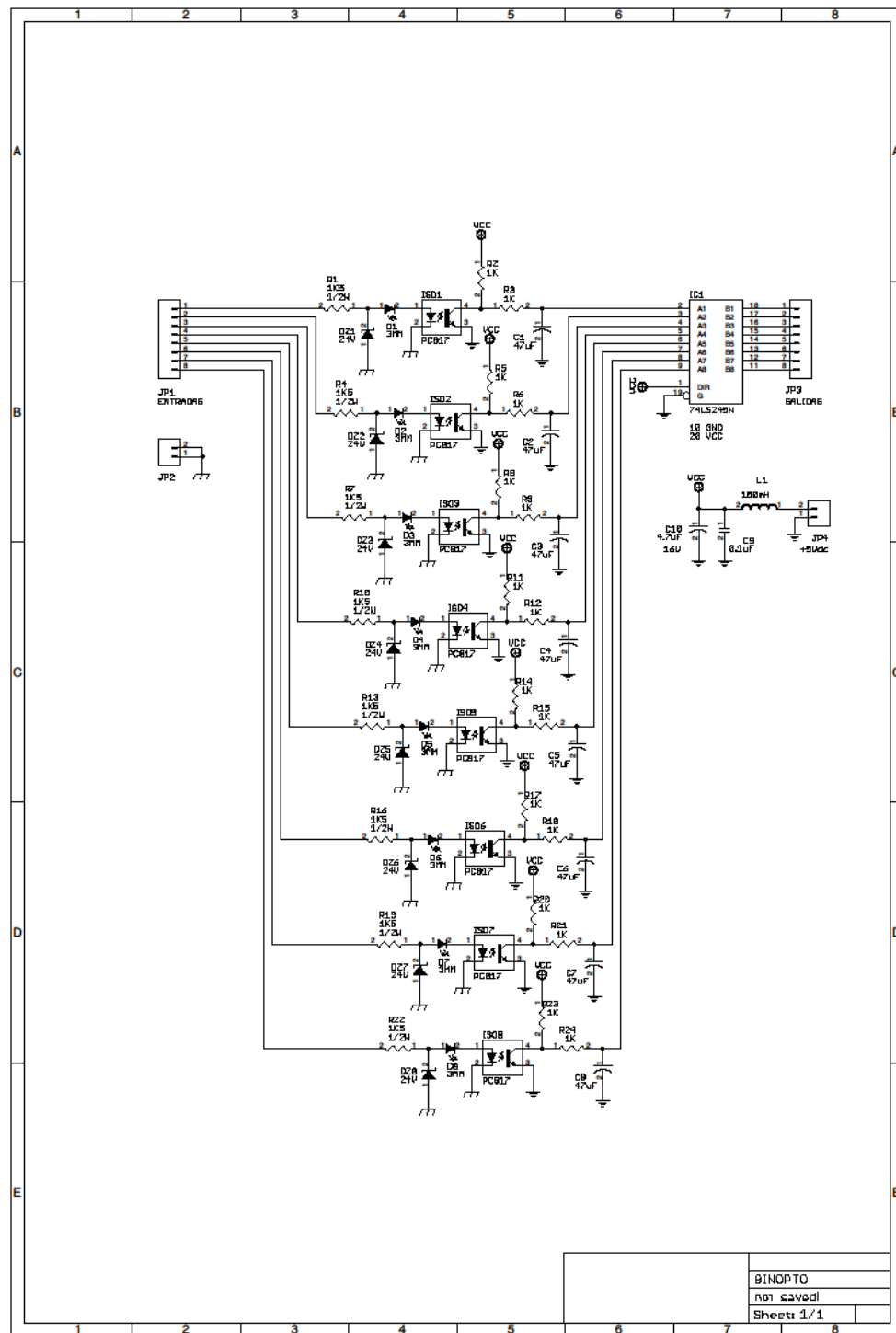
Esquema de conexiones tarjeta led PLCard Didactic MEGA y MEGA +



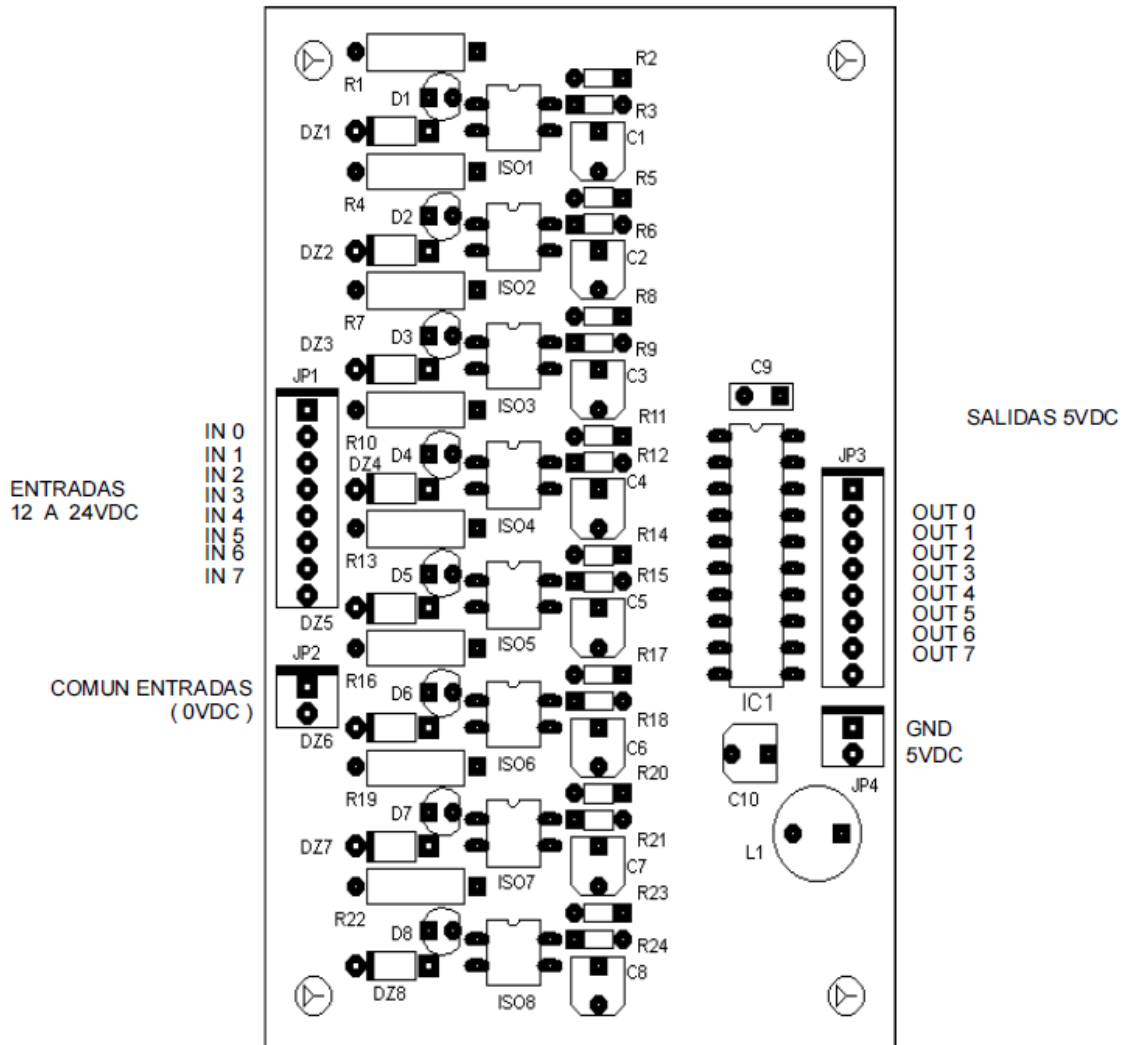
Anexo H Circuito impreso conector syslink



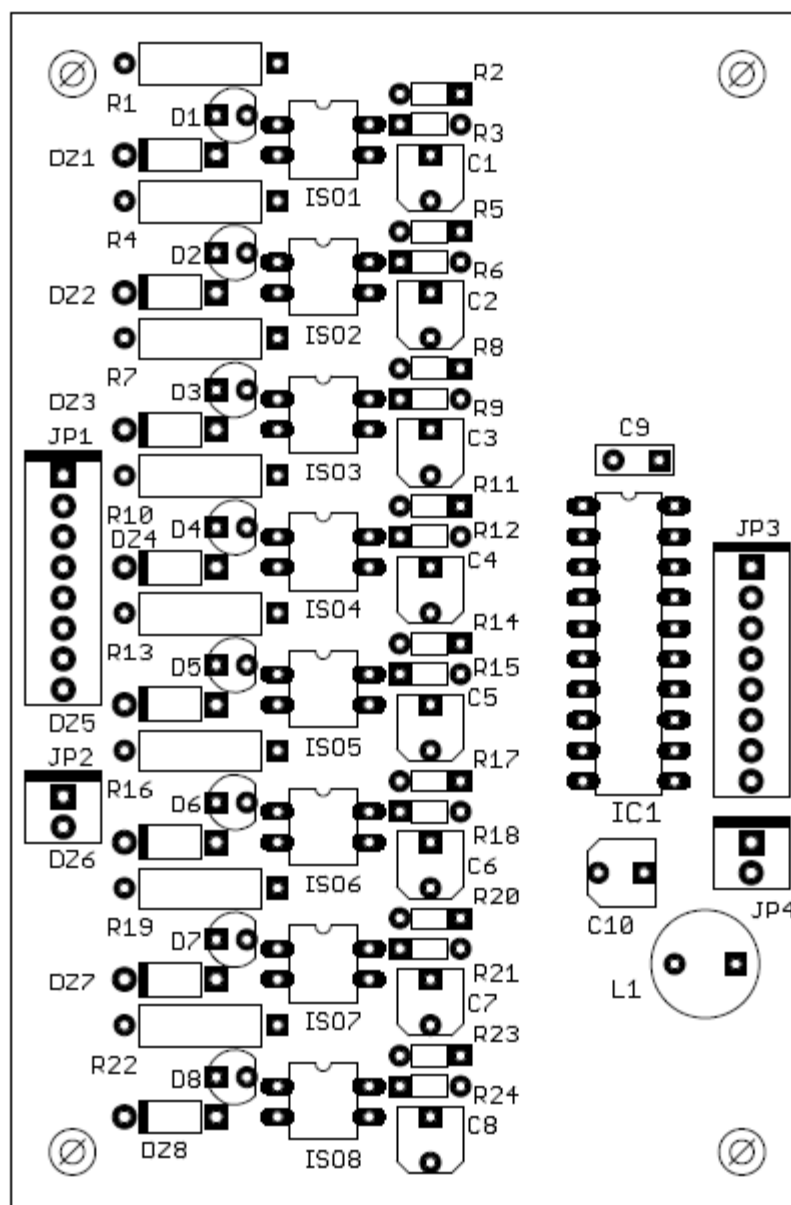
Anexo I Esquema eléctrico Tarjeta de entradas.



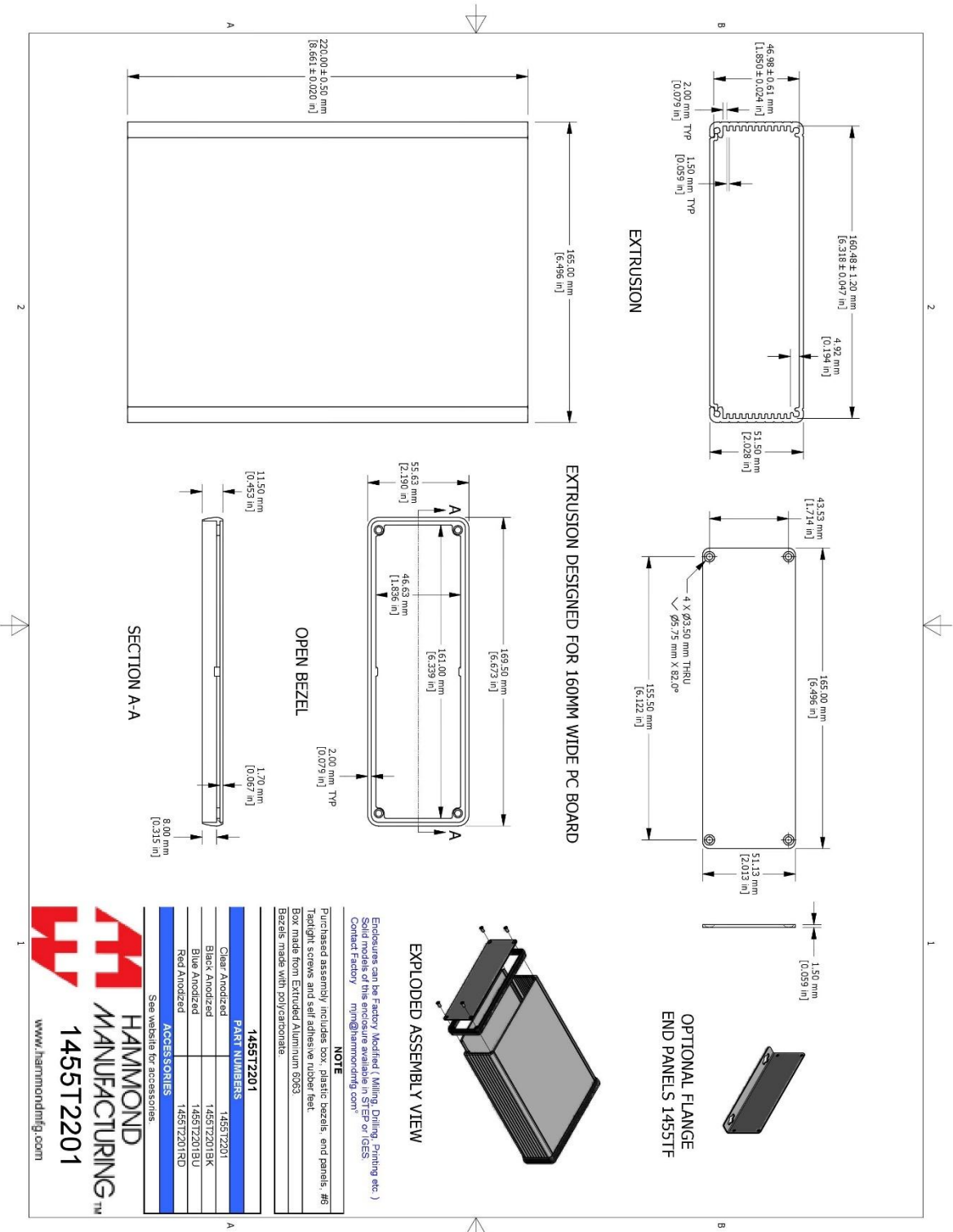
Anexo J Conexión tarjeta de entradas



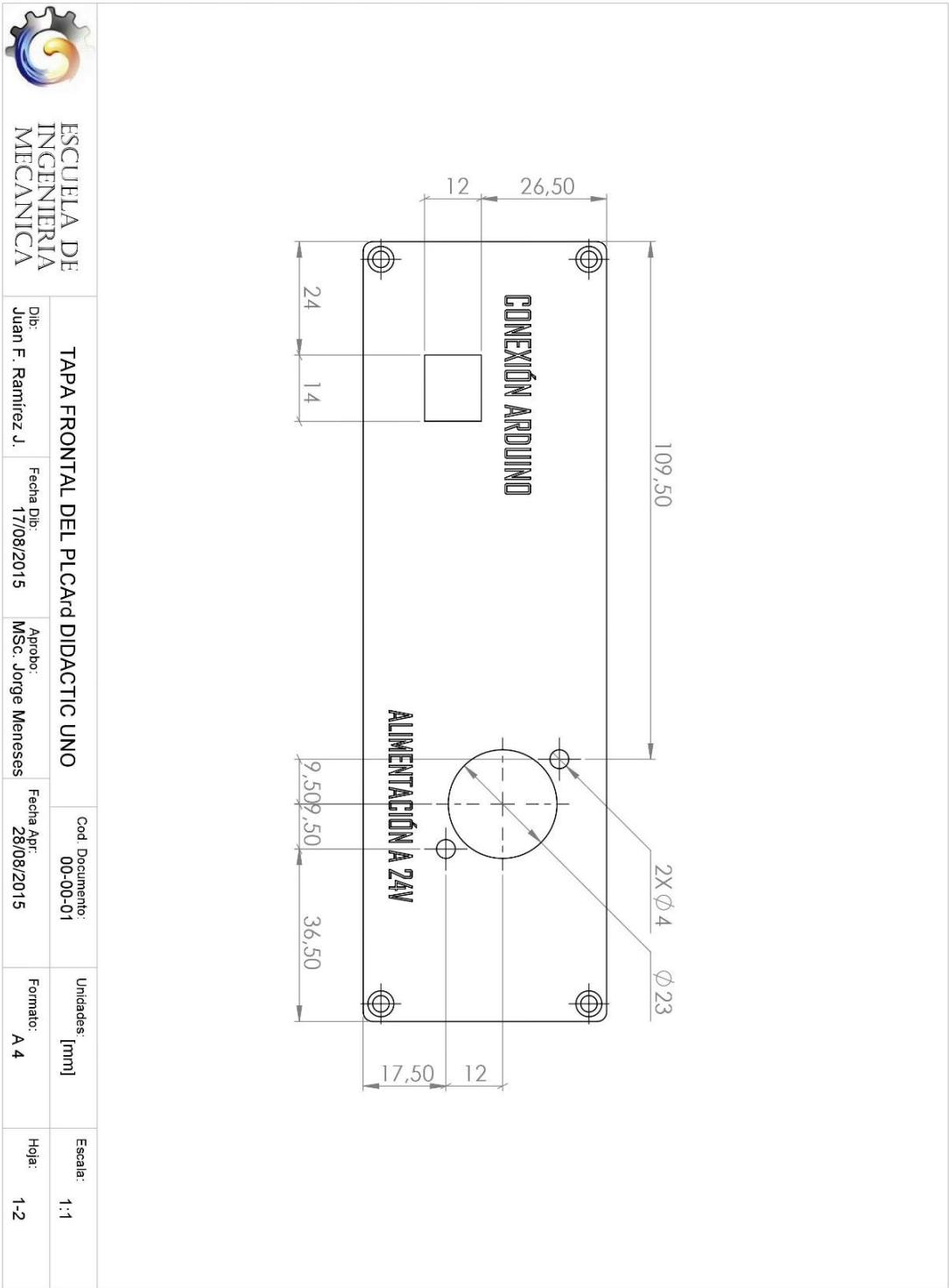
Anexo K Plano circuito impreso

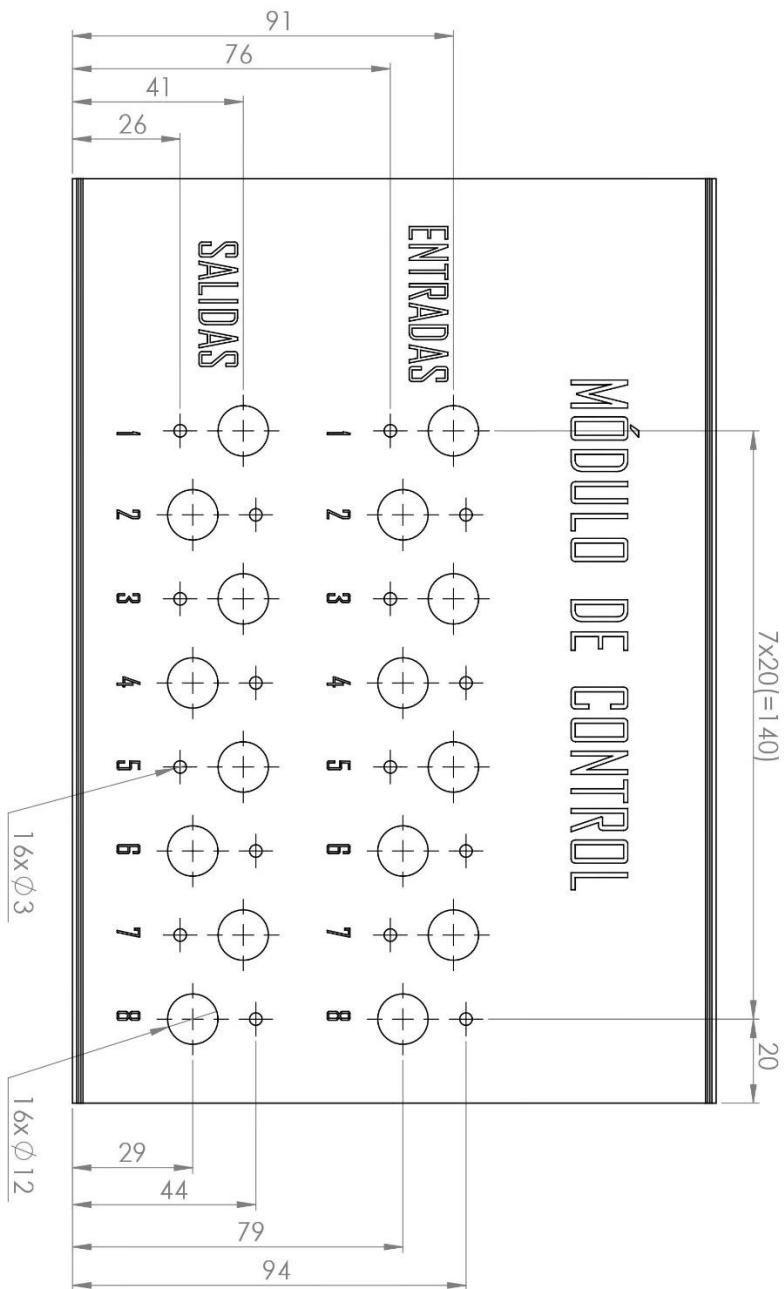


Anexo L Plano caja de aluminio



Anexo M.Plano PLC Didactic UNO

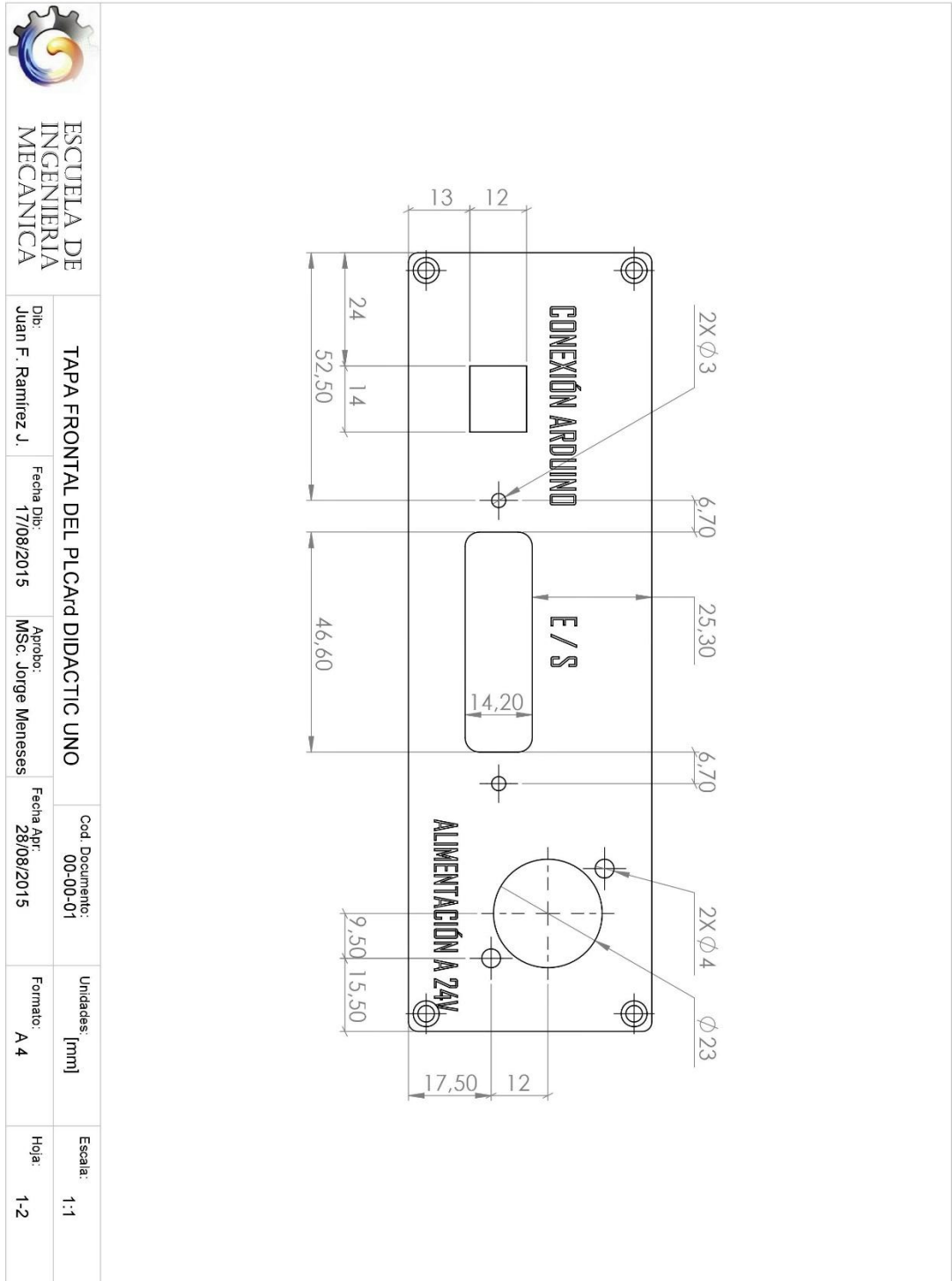




ESCUELA DE
INGENIERIA
MECANICA

TAPA FRONTAL DEL PLC card DIDACTIC UNO			Cod. Documento: 00-00-02	Unidades: [mm]	Escala: 3:4
Dib: Juan F. Ramirez J.	Fecha Dib: 17/08/2015	Aprobo: MSc. Jorge Meneses	Fecha Apr: 28/08/2015	Formato: A 4	Hoja: 2-2

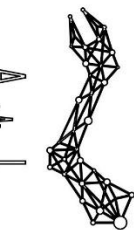
Anexo N.PLCard Didactic MEGA y MEGA+





Cod. Documento:	00-00-04
Fecha Apr:	28/08/2015

Escala:	3:4
Hoja:	2-2



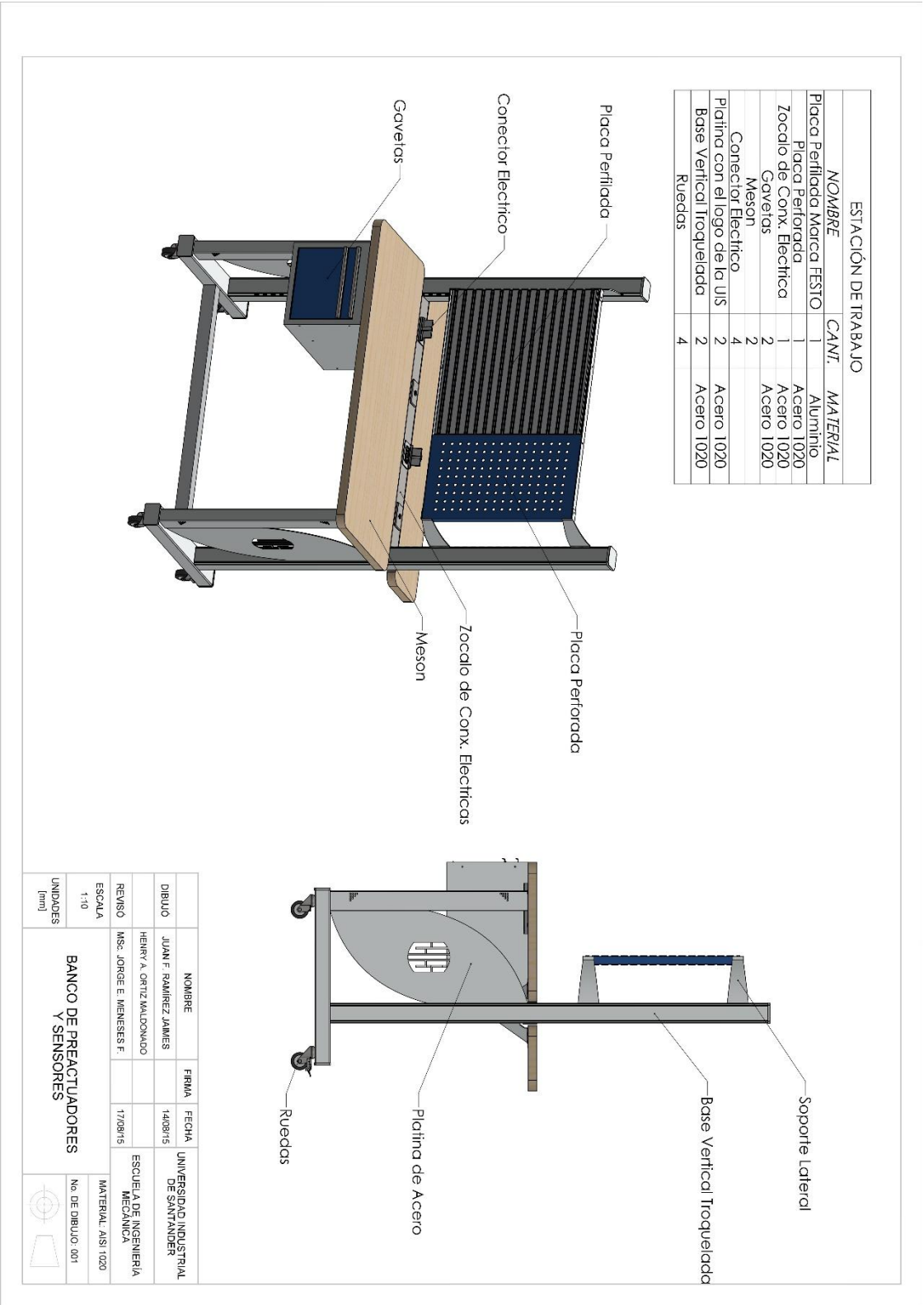
**LABORATORIO
AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL**

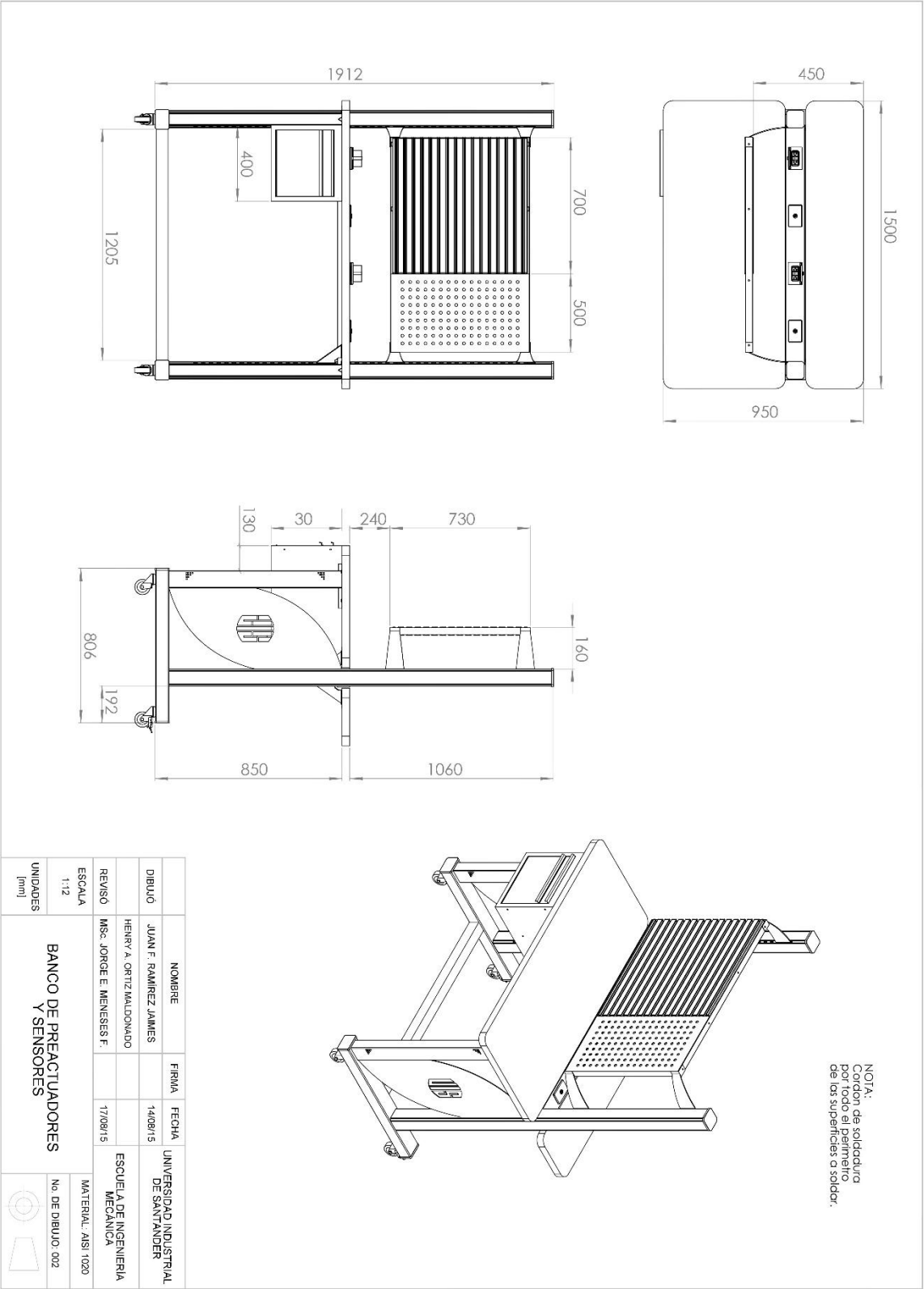
ENTRADAS

SALIDAS

Ing. Juan F. Ramirez J.
Ing. Henry A. Ortiz M.

Anexo O. Planos banco de sensores y preactuadores.

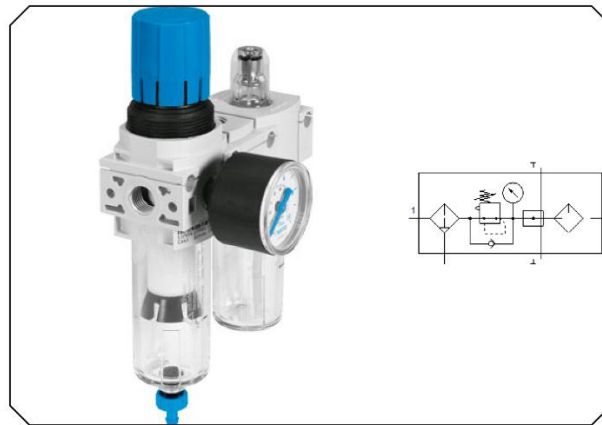




COMPONENTES NEUMATICOS

Unidad de Mantenimiento.

Figura 1. Unidad de Mantenimiento.



Está conformada por un filtro de aire, un regulador de aire comprimido, un manómetro, un lubricador de aire comprimido y un purgador de humedad. La función de la unidad de mantenimiento es regular y mantener constante la presión del aire suministrado al sistema o presión secundaria.

La presión de entrada o primaria siempre ha de ser mayor que la secundaria, que es regulada por la membrana interna, y está sometida, por un lado, a la presión de servicio, y por el otro a la fuerza del resorte ajustable por medio de un tornillo.

El filtro tiene la función de extraer del aire comprimido todas las impurezas y de purgar la humedad existente, esta es almacena en el vaso plástico y que con cierta periodicidad hay que vaciarlo al llegar a la marca indicada por el fabricante, de lo contrario el agua será arrastrada por el aire hasta los elementos de mando. El lubricador tiene la misión de pulverizar el aceite en pequeñas partículas para proteger a las válvulas y actuadores neumáticos, previene un desgaste prematuro

de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión, este aceite debe tener las siguientes características:

- a) Baja densidad.
- b) Contener aditivos antioxidantes.
- c) Contener aditivos antiespumantes.

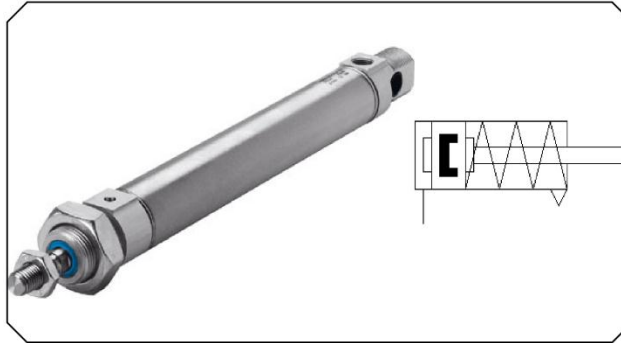
Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: FRC-KA serie D
- Función de regulación: presión de salida constante sin compensación de la presión de entrada.
- Grado de filtración: 40 [μm]
- Caudal nominal: 500 [L/min]
- Margen de regulación de la presión: 0,5 – 7 [bar]
- Histéresis máxima de presión: 0,5 [bar]
- Indicación de presión: con manómetro
- Presión de Funcionamiento: 1,5 hasta 10 [bar]
- Viscosidad del aceite: 32 [mm^2/s] (cSt) con 40 °C
- Condiciones de funcionamiento:
 - ✓ Temperatura ambiente: -5 a 50 [°C]
 - ✓ Temperatura del Fluido: -5 a 50 [°C]

1.1.1.1 Cilindros

Cilindro de Efecto Simple

Figura 2. Cilindro de Efecto Simple.



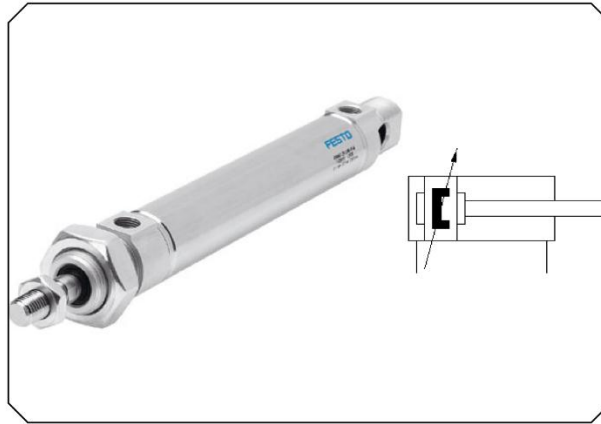
Estos cilindros solo tienen una conexión de aire a presión, el embolo sale por acción del aire y entra por la acción de un resorte, posee amortiguación por anillos y discos elásticos en ambos lados.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: ESNU-20-25-PA
- Conexión neumática: para tubo de diámetro 6 [mm]
- Presión de funcionamiento: 1,2 - 10 [bar]
- Diámetro del embolo: 20 [mm]
- Carrera: 25 [mm]
- Amortiguación: anillos y discos elásticos en ambos lados
- Fuerza teórica con 6 [bar] en avance: 169 [N]
- Fuerza del muelle de reposición: 16,5 [N]
- Energía de impacto en las posiciones finales: 0,20 [J]
- Condiciones de funcionamiento:
 - Temperatura ambiente: -20 a 80 [°C]
 - Clase de resistencia a la corrosión: 2

Cilindro de Efecto Doble

Figura 3. Cilindro de Efecto Doble.



Estos cilindros tienen dos conexiones de aire a presión, el embolo sale y entra por acción del aire, posee amortiguación neumática regulable en ambos lados.

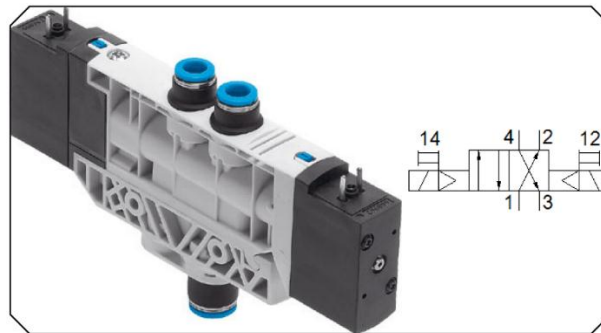
Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: DSNU-20-25-PPV-A
- Conexión neumática: para tubo de diámetro 6 [mm]
- Presión de funcionamiento: 1 - 10 [bar]
- Diámetro del embolo: 20 [mm]
- Carrera: 25 [mm]
- Velocidad sin carga y a una presión de 6 [bar]: 10 – 100 [mm/s]
- Velocidad mínima en avance: 5,3 [mm/s]
- Velocidad mínima en retroceso: 4,7 [mm/s]
- Fuerza teórica con 6 [bar] en avance: 189 [N]
- Fuerza teórica con 6 [bar] en retroceso: 158 [N]
- Energía de impacto en las posiciones finales con amortiguación: 0,20 [J]
- Condiciones de funcionamiento:
 - Temperatura ambiente: -20 a 80 [°C]

Electroválvulas

Electroválvulas Biestable

Figura 4. Electroválvula Biestable.



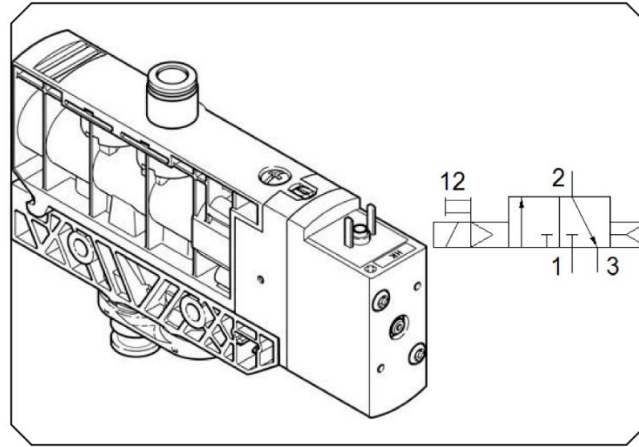
Válvula de dos posiciones, cuatro vías con accionamiento por solenoide en ambos lados y retención mecánica, además posee un silenciador neumático. al retirar la señal mantiene su estado de conmutación hasta que recibe una señal contraria.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: VUVB-L-M32C-AD-Q6-1C1
- Construcción: válvula de corredera
- Tensión de funcionamiento: 24 [Vdc]
- Conexión neumática: para tubo de diámetro 6 [mm]
- Tamaño: 20 [mm]
- Peso: 240 [g]
- Caudal nominal: 500 [L/min]
- Presión de funcionamiento: 2 - 8 [bar]
- Presión de pilotaje: 2 - 8 [bar]

Electroválvula Monoestable

Figura 5. Electroválvula Monoestable.



Válvula de dos posiciones, tres vías, normalmente cerradas con accionamiento por un solenoide, pilotaje interno, además posee un silenciador neumático y su reposición es por muelle neumático.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: VUVB-L-M32C-AD-Q6-1C1
- Construcción: válvula de corredera
- Tipo de accionamiento: eléctrico
- Tipo de reposición: muelle neumático
- Tipo de mando: Servo pilotaje
- Sentido de flujo: irreversible
- Función de escape: sin estrangulamiento
- Tensión de funcionamiento: 24 [Vdc]
- Conexión neumática: para tubo de diámetro 6 [mm]
- Tamaño: 20 [mm]
- Peso: 170 [g]
- Caudal nominal: 500 [L/min]
- Presión de funcionamiento: 2 - 8 [bar]
- Presión de pilotaje: 2 - 8 [bar]

- Condiciones de funcionamiento:
 - Temperatura ambiente: -5 a 50 [°C]
 - Temperatura del Fluido: -5 a 50 [°C]

Tubos Flexibles

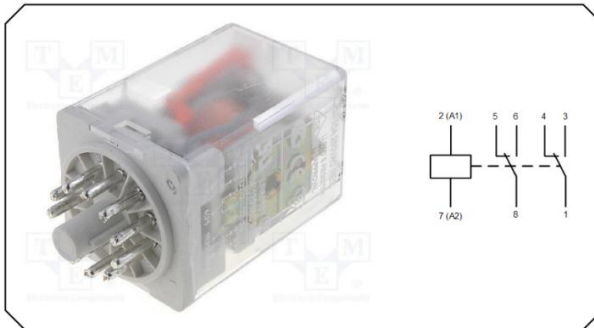
Figura 6. Tubos Flexibles.



Tubos de material sintético, con calibración del diámetro exterior, para conexiones neumáticas.

Relé de 24 V

Figura 7. Relé de 24 V.



Se utilizan para realizar funciones lógicas complejas, constituido por un núcleo magnético y una bobina, cuenta dos juegos de contactos uno normalmente cerrado (NC) y otro normalmente abierto (NA).

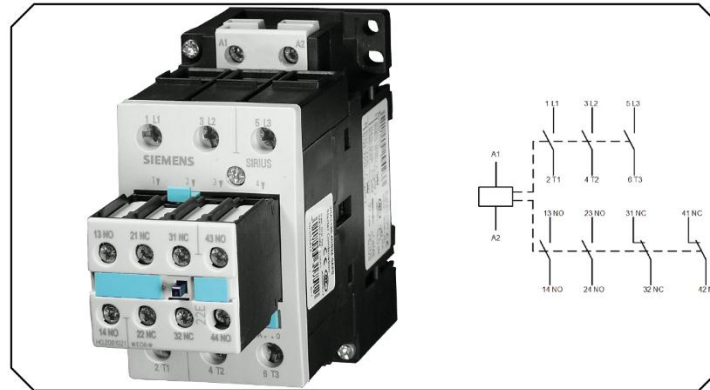
Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: LR86957

- Voltaje de la Bobina: 24 [V]
- Corriente de Trabajo: 10 [A]
- Dimensiones (l x a x h): 35 x 35 x 67 [mm]

Contactor

Figura 8. Contactor.



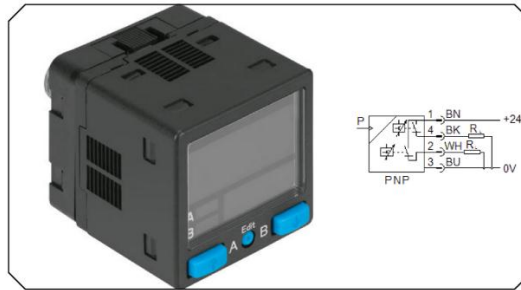
Es un equipo de maniobra todo o nada que tiene como función la conexión y desconexión, capaz de cortar corrientes de sobrecarga ya sea en el circuito de potencia o de mando, un contactor ofrece la posibilidad de ser accionado a distancia.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: 3RT1034-1AN24
- Categoría de uso: AC3
- Potencia: 15 [KW]
- Corriente: 32 [A]
- Tamaño: S2
- Dimensiones (l x a x h): 5 x 111 x 163 [mm]
- Montaje: Sobre riel DIN
- Contactos auxiliares integrados: 2 NA + 2 NC

Sensor de Presión

Figura 9 Sensor de Presión.



1. Café (BN): 24 [V]
2. Blanco (WH): Señal al PLC
3. Azul (BLU): 0 [V]
4. Negro (BK): Señal al PLC

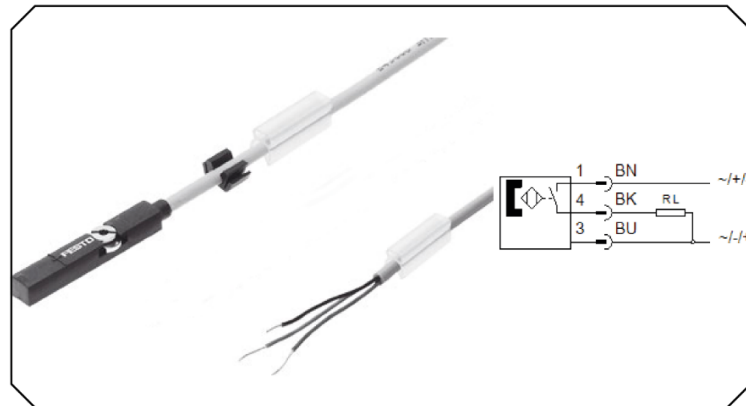
Detecta sobrepresiones en la línea secundaria o del sistema y actúa emitiendo una señal de voltaje al controlador.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: SPAB-P10R-G18-2P-K1
- Presión de trabajo: 0 a 10 [bar]
- Margen de tensión de funcionamiento: 12 – 24 [V]
- Corriente máxima de salida: 100 [mA]
- Magnitud de la medición: presión relativa

Sensor de Proximidad Electromagnético

Figura 10. Sensor de Proximidad Electromagnético.



1-Café (BN): 24 [V]

4-Negro (BK): Señal al PLC

3-Azul (BLU): 0 [V]

Detectan el campo magnético de los imanes presentes en el embolo del cilindro permitiendo identificar la posición del vástago, y enviar una señal al controlador. Está compuesto por un interruptor magnético que se cierra al acercarse al campo magnético.

Cada actuador cuenta con dos sensores de proximidad

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia: SME-8-K-LED-24
- Construcción: para ranura en T
- Margen de tensión de funcionamiento (AC/DC): 12 a 30 [V]
- Corriente máxima de salida: 500 [mA]
- Tiempo de conexión: $\leq 0,5$ [ms]
- Tiempo de desconexión: 0,03 [ms]
- Indicación del estado: led amarillo

Final de Carrera Mecánico

Figura 11. Final de Carrera Mecánico.



utilizados para detectar la posición del cilindro, cada interruptor consiste de un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado:

- Referencia:
- Voltaje de operación: 24 [V]
- Corriente: 2 [A]
- Velocidad de funcionamiento: 30 operaciones/min Máx.
- Frecuencia de operación: 500.000 operaciones

PLC

Figura 12. PLC S7-300 CPU 314 IFM.



Fuente: Siemens.

Un PLC (controlador lógico programable), permite la automatización de procesos industriales de manera optimizada. Llamado también autómeta programable, se

caracteriza por tener la capacidad de acople eléctrico con dispositivos externos de entrada y salida como: sensores, interruptores, pulsadores, motores industriales, contactores, electroválvulas, etc.

Posee internamente un microcontrolador que se encarga de ejecutar un programa que el usuario crea para automatizar determinado proceso. Este programa se almacena en la memoria: RAM, FLASH o EEPROM y el sistema activa o desactiva las salidas de acuerdo al estado de las entradas y a las ordenes con que se ha diseñado el programa.

El PLC que se selecciono es el S7-300 posee un diseño modular, entre los módulos que lo conforman esta la fuente de poder (PS) que convierte la tensión de red (110/220 Vac) en tensión de servicio de 24 Vdc y suministra la alimentación del S7-300, así como la alimentación de carga para los circuitos de 24 Vdc, una CPU que en este caso es la 314 IFM que se encarga de ejecutar el programa de usuario, alimenta el bus posterior del S7-300 con 24Vdc a continuación se mostraran las especificaciones técnicas del PLC S7-300 CPU 314 IFM.

Especificaciones Técnicas del Equipo Utilizado (CPU 314 IFM):

- Referencia: 6ES7 314-1AE04-0AB0
- Alimentación: 24 [Vdc]
- Margen admisible de alimentación: 20,4 [V] a 28,8 [V]
- Memoria central integrada: 24 [Kbyte]
- Memoria de carga integrada: 40 [Kbyte RAM]
- FEPRM: ampliable hasta 4 [Mbyte]
- Imagen de proceso: 128 [bytes] / 128 [bytes]
- Interfaces: MPI y ethernet
- Programación: STEP 7
- Dimensiones (l x a x h): 130 x 80 x 125 [mm]