



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**AUTORES:**

**ZAPATA JIJÓN LUIS ALBERTO**

**RIVERA NARANJO DANIEL ANDRES**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN  
MODULAR DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL MECATRÓNICA DE LA ESPE”**

**DIRECTOR: ING. HERNÁN LARA P.**

**CODIRECTOR: ING. MELTON TAPIA.**

**SANGOLQUÍ, ENERO 2014**

## **CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA DE LA ESPE” fue realizado en su totalidad por Luis Alberto Zapata Jijón y Daniel Andres Rivera Naranjo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

---

**Ing. Hernán Lara**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Melton Tapia**

**CODIRECTOR**

Sangolquí, 17 de Enero de 2014

## **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN  
MODULAR DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL MECATRÓNICA DE LA ESPE”

ELABORADO POR:

---

Luis Alberto Zapata Jijón

---

Daniel Andres Rivera Naranjo

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

---

Ing. Luis Echeverría  
**Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

Sangolquí, 17 de Enero de 2014

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORIZACIÓN

Nosotros: Luis Alberto Zapata Jijón y Daniel Andres Rivera Naranjo

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA DE LA ESPE" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

---

Luis Alberto Zapata Jijón

---

Daniel Andres Rivera Naranjo

Sangolquí, 17 de Enero de 2014

## DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis Padres por ser el pilar fundamental de mi vida y mi ejemplo a seguir. Todo lo que soy como persona y como profesional, se lo debo a ellos.

A mis hijas Renata y Samantha por ser la principal inspiración para luchar día a día por ser alguien mejor.

A mi compañera de vida Cintya Elizabeth por ser el ángel que ha sabido guiarme con su amor incondicional.

***LUIS ALBERTO ZAPATA JIJÓN.***

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico a mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida y mi ejemplo a seguir. Todo lo que he aprendido se lo debo a ellos.

***DANIEL ANDRES RIVERA NARANJO***

## **AGRADECIMIENTO**

Desde el inicio en este camino de formación hasta el día de hoy, han sido muchas las personas que han formado parte de él y han servido de ejemplo e inspiración para salir adelante.

Agradezco a mis padres y hermanos por su ejemplo, consejos y ayuda incondicional.

A las personas que compartieron sus conocimientos a lo largo de mi vida universitaria.

A los colaboradores que supieron dar una guía para lograr la culminación del presente proyecto.

***LUIS ALBERTO ZAPATA JIJÓN.***

## **AGRADECIMIENTO**

Desde el inicio en este camino de formación hasta el día de hoy, han sido muchas las personas que han formado parte de él y han servido de ejemplo e inspiración para salir adelante.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis amigos que supieron comprenderme y aceptar mis virtudes y defectos.

A mis profesores que compartieron sus conocimientos y me ayudaron a llegar al final de la meta.

Agradezco a las diferentes personas que supieron guiarme en la realización de este proyecto.

***DANIEL ANDRES RIVERA NARANJO***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación .....	4
1.3	Alcance del proyecto.....	8
1.4	Objetivos .....	9
1.4.1	General .....	9
1.4.2	Específicos.....	9

### CAPÍTULO II

2.1	Diseño modular mecatrónico .....	11
2.1.1	Características .....	12
2.1.2	Sistemas que integran los módulos. ....	13
2.1.2.1	Sistemas neumáticos .....	14
2.1.2.1.1	Actuadores lineales.....	15
2.1.2.1.2	Actuador rotativo neumático .....	22
2.1.2.1.3	Pinzas neumáticas .....	22

2.1.2.1.4	Elementos de mando .....	26
2.1.2.2	Sistemas mecánicos. ....	31
2.1.2.2.1	Diseño asistido por computadora.....	33
2.1.2.2.2	Análisis de esfuerzo, deformación. ....	40
2.1.2.2.3	Flechas, cuñas y acoplamientos. ....	43
2.1.2.2.4	Tornillos y sujetadores. ....	46
2.1.2.3	Sistemas eléctricos/electrónicos .....	50
2.1.2.3.1	Sensores .....	50
2.1.2.3.2	Actuadores eléctricos.....	52
2.1.2.3.3	Diseño de PCB's .....	55
2.1.2.4	Sistemas de control.....	56
2.1.2.4.1	Controlador lógico programable (PLC).....	56
2.1.2.4.2	GRAFCET .....	61
2.1.2.4.3	Sistemas de visión artificial. ....	62
2.1.3	Software para los módulos.....	66
2.2	Flexibilidad .....	67

2.2.1	Requisitos .....	67
2.2.2	Prestaciones .....	68

### **CAPÍTULO III**

3.1	Introducción .....	70
3.2	Sistema mecánico.....	72
3.2.1	Bancada o mesa de montaje .....	73
3.2.1.1	Diseño CAD de la bancada o mesa de montaje .....	76
3.2.1.1.1	Diseño de la estructura (CAD) .....	76
3.2.1.1.2	Selección del material para la estructura .....	78
3.2.1.1.3	Diseño de antideslizantes (CAD) .....	79
3.2.1.1.4	Perfiles de la bancada (CAD).....	80
3.2.1.1.5	Selección del material para los perfiles de la bancada .....	81
3.2.1.1.6	Tornillo de sujeción .....	83
3.2.1.1.7	Diseño de la mesa de montaje.....	83
3.2.1.2	Estudio CAE de la mesa de montaje.....	84
3.2.1.3	Construcción de la bancada o mesa de montaje .....	87

3.2.1.3.1	Planos de la bancada o mesa de montaje. ....	88
3.2.2	Estación cargador .....	88
3.2.2.1	Diseño CAD del juego de piezas. ....	89
3.2.2.1.1	Selección del material .....	89
3.2.2.1.2	Diseño CAD piezas plásticas .....	93
3.2.2.1.3	Diseño CAD piezas altura .....	94
3.2.2.1.4	Diseño CAD piezas metálicas .....	94
3.2.2.1.5	Diseño CAD piezas de peso .....	95
3.2.2.2	Construcción del juego de piezas .....	96
3.2.2.2.1	Planos del juego de piezas .....	97
3.2.2.3	Diseño del contenedor de Piezas. ....	97
3.2.2.3.1	Diseño de la estructura (CAD) .....	98
3.2.2.3.2	Material para la estructura .....	100
3.2.2.4	Construcción del contenedor de piezas .....	100
3.2.2.5	Selección del actuador A. ....	101
3.2.2.5.1	Requerimientos .....	103

3.2.2.5.2	Diseño del actuador lineal neumático .....	103
3.2.2.5.3	Cálculo del actuador lineal neumático.....	105
3.2.2.6	Circuito de potencia neumático.....	107
3.2.2.7	Selección del actuador lineal neumático.....	109
3.2.2.7.1	Diseño CAD y construcción del soporte del cilindro.....	112
3.2.2.8	Norma ISO 6432 .....	113
3.2.2.9	Diseño CAD alimentador.....	114
3.2.2.9.1	Selección del material para el alimentador .....	115
3.2.2.10	Construcción del alimentador.....	115
3.2.2.11	Estudio CAE de pandeo en cilindro.....	116
3.2.3	Estación de pesado.....	120
3.2.3.1	Diseño CAD de la balanza .....	122
3.2.3.2	Construcción de la balanza .....	125
3.2.3.3	Actuador neumático B.....	126
3.2.3.4	Circuito de potencia neumático .....	127
3.2.3.5	Selección del actuador lineal neumático .....	128

3.2.3.6	Diseño CAD de la rampa de desalojo .....	128
3.2.3.7	Construcción de la rampa de desalojo .....	130
3.2.4	Estación pick & place .....	131
3.2.4.1	Introducción .....	131
3.2.4.2	Diseño del sistema.....	133
3.2.4.3	Selección de la pinza o gripper. ....	136
3.2.4.4	Selección del actuador giratorio .....	139
3.2.4.5	Diseño CAD bancada actuador neumático. ....	143
3.2.4.6	Construcción bancada actuador neumático. ....	144
3.2.4.7	Diseño CAD brazo de giro. ....	145
3.2.4.8	Construcción brazo de giro .....	147
3.2.4.9	Circuito de potencia neumático .....	147
3.2.4.10	Estudio CAE de la estación.....	149
3.2.5	Banda transportadora .....	155
3.2.5.1	Dimensionamiento analítico de la banda .....	156
3.2.5.2	Dimensionamiento de la cinta .....	157

3.2.5.3	Diseño CAD de la estructura de la banda transportadora.....	159
3.2.5.4	Selección del rodamiento.....	163
3.2.5.5	Construcción de la banda transportadora .....	164
3.2.5.6	Selección del motor.....	165
3.2.5.6.1	Diagrama de cuerpo libre del tambor motriz .....	167
3.2.5.6.2	Diagrama de cuerpo libre del tambor de cola .....	169
3.2.5.7	Diseño CAD del soporte del motor.....	172
3.2.5.8	Construcción del soporte del motor.....	174
3.2.5.9	Diseño CAD acople del motor.....	174
3.2.5.10	Construcción acople motor .....	176
3.2.5.11	Estudio CAE acople del motor .....	177
3.2.5.12	Actuadores neumáticos.....	178
3.2.5.13	Selección de actuadores neumáticos.....	178
3.2.5.14	Circuito de potencia neumático.....	179
3.2.5.15	Diseño CAD de clasificadores.....	180
3.2.5.16	Construcción de los clasificadores.....	181

3.2.5.17	Diseño CAD de la rampa de clasificación .....	182
3.2.5.18	Construcción de la rampa de clasificación .....	184
3.2.5.19	Diseño CAD del soporte para cámara.....	185
3.2.5.20	Construcción del soporte para cámara. ....	185
3.2.6	Estación de distribución de aire comprimido.....	186
3.2.6.1	Selección de electroválvulas.....	187
3.2.6.1.1	Selección de electroválvula actuadores de simple efecto.....	188
3.2.6.1.2	Selección de electroválvula actuadores de doble efecto.....	190
3.2.6.2	Sistema de alimentación de aire comprimido.....	193
3.2.6.2.1	Selección manifold.....	194
3.2.6.2.2	Diseño CAD del soporte manifold .....	197
3.2.6.2.3	Construcción soportes manifold.....	198
3.2.6.3	Selección regulador de presión y válvula manual. ....	198
3.3	Diseño de la red de aire comprimido.....	201
3.3.1	Laboratorio de automatización industrial mecatrónica. ....	202
3.3.2	Consumo de aire de las estaciones. ....	203

3.3.2.1	Consumo de aire MecLab .....	204
3.3.2.1.1	Estación cargador .....	204
3.3.2.1.2	Estación manipulador.....	205
3.3.2.2	Consumo de aire SPM-V1ZR.....	208
3.3.2.2.1	Consumo de aire micro cilindros.....	208
3.3.2.2.2	Consumo de aire del gripper.....	210
3.3.2.2.3	Cálculo de consumo del actuador giratorio .....	211
3.3.2.2.4	Consumo total SMP-ZRV1 .....	212
3.3.2.3	Consumo de aire de estaciones en construcción.....	212
3.3.2.4	Consumo de aire total .....	212
3.3.3	Factores de diseño.....	212
3.3.3.1	Factor de uso ( $f_u$ ) .....	212
3.3.3.2	Factor de simultaneidad ( $f_s$ ).....	213
3.3.3.3	Factor de reserva para posibles ampliaciones posteriores ( $f_r$ ) .....	214
3.3.3.4	Factor de consideración de posibles fugas.....	214
3.3.3.5	Factor de compensación de los picos de consumo ( $f_{pc}$ ) .....	214

3.3.4	Cálculo del consumo de la red neumática. ....	215
3.3.5	Calculo del consumo de aire corregido. ....	216
3.3.6	Depósito de aire comprimido .....	217
3.3.6.1	Cálculo del depósito en función de la frecuencia de conexión .....	217
3.3.6.1.1	Cálculo del volumen del depósito de almacenamiento. ....	220
3.3.6.1.2	Cálculo de la potencia del compresor .....	220
3.3.7	Selección por catálogo del compresor .....	224
3.3.8	Determinación del diámetro de la tubería. ....	226
3.3.8.1	Dimensiones del laboratorio de AIM .....	226
3.3.8.2	Método de cálculo del diámetro de la tubería .....	227
3.3.8.3	Cálculo del diámetro provisional .....	229
3.3.8.4	Determinación de longitudes sustitutivas .....	230
3.3.8.5	Determinación del diámetro del tubo.....	231
3.3.9	Diseño del red.....	232
3.3.9.1	Selección del material de la tubería .....	236
3.3.9.2	Análisis del costo de la instalación.....	239

3.4	Diseño electrónico, instrumentación, automatización y control.....	242
3.4.1	Diseño de la red eléctrica del laboratorio de AIM. ....	244
3.4.2	Sensores.....	249
3.4.2.1	Sensor de altura estación cargador y pesado.....	250
3.4.2.1.1	Selección sensor de altura.....	251
3.4.2.1.2	Instalación sensor de altura SHARP.....	253
3.4.2.1.3	Acondicionamiento de señal .....	254
3.4.2.1.4	Diseño PCB .....	258
3.4.2.2	Sensor de estación de pesado.....	260
3.4.2.2.1	Selección sensor de la estación de pesado .....	261
3.4.2.2.2	Instalación sensor de peso microswitch.....	264
3.4.2.2.3	Acondicionamiento de señal .....	264
3.4.2.2.4	Diseño PCB .....	266
3.4.2.3	Sensor estación pick & place y banda transportadora. ....	267
3.4.2.3.1	Selección sensor.....	268
3.4.2.3.2	Instalación sensor de proximidad magnético. ....	270

3.4.2.3.3	Acondicionamiento de señal .....	271
3.4.2.3.4	Diseño PCB .....	271
3.4.2.4	Sensor Piezas de altura en estación banda transportadora.....	274
3.4.2.4.1	Selección sensor.....	274
3.4.2.4.2	Instalación sensor infrarrojo IR .....	277
3.4.2.4.3	Acondicionamiento de señal .....	277
3.4.2.4.4	Diseño PCB .....	283
3.4.2.5	Sensor piezas metálicas estación banda transportadora.....	286
3.4.2.5.1	Selección sensor.....	286
3.4.2.5.2	Instalación sensor de proximidad inductivo.....	289
3.4.2.6	Sensor de presencia banda transportadora.....	290
3.4.2.6.1	Selección sensor.....	290
3.4.2.6.2	Instalación sensor óptico reflectivo .....	292
3.4.2.7	Sensor visión artificial .....	294
3.4.3	Actuador eléctrico .....	295
3.4.3.1	Motor eléctrico .....	295

3.4.3.2	Acople voltaje del motor DC de 24V/12V .....	297
3.4.4	Electroválvulas .....	301
3.4.5	Fuente de alimentación.....	302
3.4.5.1	Determinación del consumo energético .....	302
3.4.6	Automatización .....	307
3.4.6.1	Mapeo de entradas y salidas del SPM-V1ZR .....	307
3.4.6.2	Tipo de controlador .....	310
3.4.6.2.1	Controlador lógico programable PLC.....	310
3.4.6.2.2	Microcontrolador programable .....	311
3.4.6.3	Panel de control .....	311
3.4.6.3.1	Diseño del circuito del panel de control.....	312
3.4.6.3.2	PCB del panel de control .....	318
3.4.6.3.3	Instalación panel de control .....	321
3.4.6.3.4	Layout panel de control.....	322
3.4.7	Visión artificial.....	324

**CAPÍTULO IV**

4.1	Introducción .....	327
4.2	Plan de pruebas.....	327
4.2.1	Estación cargador .....	328
4.2.2	Estación de pesado.....	329
4.2.3	Estación pick & place .....	330
4.2.4	Banda transportadora .....	331
4.2.5	Estación de distribución de aire comprimido.....	332
4.2.6	Estación de visión artificial.....	333
4.2.7	Prueba del sistema de producción modular didáctico en vacío .....	334
4.2.8	Prueba del sistema de producción modular didáctico con carga ...	334
4.2.9	Puesta a punto.....	335
4.2.9.1	Falla de la banda transportadora .....	336
4.2.9.2	Falla estación de visión artificial.....	336
4.2.10	Prueba de confianza .....	337
4.2.10.1	Cartas de control por atributos.....	337

4.2.10.2	Carta De Control np .....	338
4.2.10.3	Resultados .....	339

## **CAPÍTULO V**

5.1	Manual del usuario.....	346
5.1.1	Introducción .....	346
5.1.2	Objetivo del manual .....	348
5.1.3	Personal cualificado .....	348
5.1.4	Consignas de seguridad para el usuario.....	348
5.1.5	Aspectos importantes.....	349
5.1.5.1	Normas .....	349
5.1.5.2	Cuidados del equipo .....	350
5.1.5.3	Seguridad.....	350
5.1.6	Uso correcto.....	351
5.1.7	Exención de responsabilidad .....	351
5.1.8	Partes del SPM-V1ZR.....	352
5.1.8.1	Estación cargador .....	353

5.1.8.2	Estación de pesado.....	354
5.1.8.3	Estación pick & place .....	355
5.1.8.4	Banda transportadora .....	357
5.1.8.5	Estación de distribución de aire comprimido.....	360
5.1.8.6	Estación de visión artificial .....	362
5.1.8.7	Panel de control .....	364
5.1.9	Montaje y cableado .....	368
5.1.9.1	Requerimientos generales .....	368
5.1.9.1.1	Alimentación eléctrica .....	368
5.1.9.1.2	Alimentación neumática .....	369
5.1.10	Montaje de los componentes .....	373
5.1.11	Problemas comunes y posible soluciones .....	373
5.2	Guías de practicas .....	376
5.2.1	Guía de la practica N°1 .....	376
5.2.2	Guía de la practica N°2 .....	385
5.2.3	Guía de la practica N°3 .....	406

## CAPÍTULO VI

6.1	Análisis económico/financiero .....	412
6.1.1	Costo de los materiales y construcción.....	412
6.1.2	Comparación con módulos existentes .....	415
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	416
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	422
	ANEXOS .....	424

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.	Equipos de un Laboratorio de Automatización Industrial. ....	5
Fig 2.	Sistemas en la Industria Totalmente Automatizados .....	6
Fig 3.	Sistema de Producción modular Didáctico de FESTO.....	8
Fig 4.	Cilindro de Simple Efecto.....	16
Fig 5.	Simbología Normalizada para Cilindros de Simple Efecto.....	17
Fig 6.	Cilindro de Doble Efecto .....	18
Fig 7.	Cilindros de Doble Acción .....	19

Fig 8. Diferencia entre las secciones efectivas de un cilindro .....	21
Fig 9. Esquema Básico de un Actuador Rotativo Neumático.....	22
Fig 10. Sujeción de Pieza con Pinza Neumática.....	23
Fig 11. Esquema de una Pinza Neumática Angular.....	25
Fig 12. Esquema Válvula 5/2 .....	28
Fig 13. Tipos de Accionamiento.....	29
Fig 14. Válvula Electroneumática comercial. ....	30
Fig 15. Electroválvula 5/2, biestable. ....	31
Fig 16. Usos del Dibujo Asistido por Computadora.....	35
Fig 17. Modelos Tridimensionales Paramétricos. ....	37
Fig 18. Mallado en Análisis por Elementos Finitos.....	39
Fig 19. Tipos de Esfuerzo. ....	42
Fig 20. Tipos de Acoplamientos.....	46
Fig 21. Métodos de Unión Permanente .....	48
Fig 22. Unión Semipermanente con Tornillo .....	48
Fig 23. Forma y dimensiones de las roscas UNS y métricas estándar de ISO .	49

Fig 24. Tipos de Sensores Discretos. ....	51
Fig 25. Tipos de Sensores Analógicos.....	52
Fig 26. Motor de Corriente Continua DC.....	53
Fig 27. Partes de un Motor DC .....	54
Fig 28. Componentes de un PLC.....	57
Fig 29. Tipos de PLCs .....	58
Fig 30. Lenguajes IEC-1131-3 .....	59
Fig 31. Diagrama Ladder. ....	60
Fig 32. Diagrama Bloque de funciones. ....	61
Fig 33. Diagrama Grafcet.....	62
Fig 34. Aplicaciones de Visión artificial .....	64
Fig 35. Imagen Binaria.....	65
Fig 36. Diagrama de Bloques Visión Artificial .....	65
Fig 37. Software para los módulos.....	67
Fig 38. Diagrama de funciones del sistema mecánico.....	72
Fig 39. Placa perfilada de aluminio FESTO .....	74

Fig 40. Diseño CAD mesa de montaje.....	77
Fig 41. Selección del material para la estructura .....	78
Fig 42. Capuchones antideslizantes .....	79
Fig 43. Diseño CAD elemento antideslizante de la bancada .....	80
Fig 44. Diseño CAD perfiles mesa de montaje .....	80
Fig 45. Plancha de aluminio liso .....	82
Fig 46. Corte cizalla automática.....	82
Fig 47. Tornillo de sujeción .....	83
Fig 48. Diseño de la mesa de montaje.....	84
Fig 49. Desplazamiento diseño CAE mesa de montaje. ....	86
Fig 50. Mesa de montaje terminada.....	88
Fig 51. Barras de grilon.....	91
Fig 52. Diseño CAD piezas plástica.....	93
Fig 53. Diseño CAD piezas altura .....	94
Fig 54. Diseño CAD piezas metálica.....	95
Fig 55. Diseño CAD piezas de peso .....	95

Fig 56. Juego de piezas terminada .....	96
Fig 57. Diseño CAD estructura contenedor de piezas .....	99
Fig 58. Contenedor de Piezas terminado.....	101
Fig 59. Circuito de Potencia neumático de la estación cargador. ....	108
Fig 60. Selección del cilindro .....	110
Fig 61. Código estándar para cilindros Mindman ISO 6432.....	111
Fig 62. Cilindro seleccionado .....	112
Fig 63. Soporte del cilindro .....	112
Fig 64. Cilindro con acople .....	113
Fig 65. Características de los cilindros normalizados ISO 6432 .....	114
Fig 66. Diseño CAD alimentador.....	115
Fig 67. Cilindro con alimentador .....	116
Fig 68. Aplicación de cargas del cilindro.....	119
Fig 69. Desplazamiento del vástago por pandeo.....	120
Fig 70. Brazo Superior e Inferior de la Balanza .....	123
Fig 71. Platillo de Pesado .....	123

Fig 72. Platillo de Comparación .....	124
Fig 73. Soporte de la Balanza.....	124
Fig 74. Balanza Ensamblada .....	125
Fig 75. Balanza Manufacturada .....	126
Fig 76. Circuito de Potencia Neumático de la estación de pesado .....	127
Fig 77. Rampa .....	129
Fig 78. Base .....	129
Fig 79. Rampa de Desalojo .....	130
Fig 80. Diseño de estación pick & place .....	135
Fig 81. Diagrama de una pinza angular .....	137
Fig 82. Sujeción de piezas .....	138
Fig 83. Especificaciones técnicas MCHA 32.....	139
Fig 84. Actuador Jimai GTD63.....	142
Fig 85. Diseño CAD bancada actuador neumático .....	143
Fig 86. Actuador con bancada .....	144
Fig 87. Bancada manufacturada .....	145

Fig 88. Diseño CAD brazo de giro .....	146
Fig 89. Diseño CAD estación Pick & Place .....	146
Fig 90. Brazo de giro con pinza y actuador.....	147
Fig 91. Circuito de Potencia Neumático de la estación pick & place.....	148
Fig 92. Viga en Voladizo .....	151
Fig 93. Secciones Transversales Acople.....	152
Fig 94. Aplicación de cargas del cilindro.....	154
Fig 95. Desplazamiento del vástago por pandeo.....	155
Fig 96. Tipos de Cintas Horizontales .....	158
Fig 97. Partes del Chasis.....	159
Fig 98. Tambor Motriz.....	160
Fig 99. Tambor de Cola .....	160
Fig 100. Mesa soporte de la Cinta .....	161
Fig 101. Sujeción Banda Transportadora-Bancada .....	162
Fig 102. Ensamble Estructura de la Banda Transportadora .....	162
Fig 103. Ensamble estructura con partes constitutivas.....	163

Fig 104. Rodamiento NSK .....	164
Fig 105. Banda Transportadora .....	165
Fig 106. DCL del Tambor Motriz .....	167
Fig 107. DCL del Tambor de Cola .....	169
Fig 108. Motor Wondermotor .....	171
Fig 109. Diseño CAD base del Soporte del Motor .....	172
Fig 110. Diseño CAD del encapsulado del Motor .....	173
Fig 111. Diseño CAD del Soporte del Motor .....	173
Fig 112. Construcción del Soporte para Motor .....	174
Fig 113. Diseño CAD Acople Motor-Banda Transportadora .....	175
Fig 114. Acople Manufacturado .....	177
Fig 115. Estudio desplazamiento CAE acople del motor .....	178
Fig 116. Circuito de Potencia Neumático de la estación banda transportadora .....	180
Fig 117. Diseño CAD de Clasificador.....	181
Fig 118. Clasificadores Manufacturados.....	182

Fig 119. Diseño CAD de la Rampa .....	182
Fig 120. Diseño CAD de la Base .....	183
Fig 121. Diseño CAD Rampa de Clasificación.....	184
Fig 122. Manufactura rampas de clasificación .....	184
Fig 123. Diseño CAD Soporte cámara.....	185
Fig 124. Soporte del Conteo de Piezas .....	186
Fig 125. Válvula de 3 vías y 2 posiciones .....	188
Fig 126. Electroválvula AirTAC 3/2 .....	189
Fig 127. Válvula de 5 vías y 2 posiciones .....	191
Fig 128. Electroválvula AirTAC 5/2 .....	192
Fig 129. Manifold FESTO .....	194
Fig 130. Manifold AirTAC 8 estaciones.....	195
Fig 131. Diseño CAD manifold.....	196
Fig 132. Diseño CAD electroválvulas.....	196
Fig 133. Diseño CAD soportes manifold .....	197
Fig 134. Diseño CAD Manifold con estaciones.....	197

Fig 135. Soportes manifold manufacturados. ....	198
Fig 136. Regulador de presión 0-10 bar. ....	199
Fig 137. Válvula manual 3/2 .....	200
Fig 138. Tubo de Poliuretano de 6 [mm].....	200
Fig 139. Estación de distribución de aire comprimido.....	201
Fig 140. Estación Manipulador.....	207
Fig 141. Etapas de un ciclo de Carnot .....	221
Fig 142. Compresor seleccionado .....	226
Fig 143. Diagrama Laboratorio AIM .....	227
Fig 144. Nomograma .....	228
Fig 145. Cálculo diámetro provisional .....	229
Fig 146. Longitudes Sustitutivas .....	230
Fig 147. Diámetro Final Tubería. ....	232
Fig 148. Unidad de mantenimiento .....	233
Fig 149. Inicio del Piping.....	234
Fig 150. Red de aire comprimido.....	235

Fig 151. Vista de red al interior del laboratorio.....	236
Fig 152. Inclínación mínima de líneas de distribución.....	237
Fig 153. Selección del diámetro de la tubería.....	239
Fig 154. Compresor del laboratorio de robótica como alternativa.....	242
Fig 155. Diagrama de función sistema eléctrico/electrónico.....	243
Fig 156. Distribución de Red Eléctrica en el Laboratorio .....	247
Fig 157. Descripción de los componentes de la red eléctrica .....	247
Fig 158. Sensor de altura SHARP IRED.....	252
Fig 159. Instalación sensor SHARP de altura.....	254
Fig 160. Acondicionamiento para alimentación de voltaje.....	255
Fig 161. Acondicionamiento sensor IR y LED indicador .....	256
Fig 162. Acople voltaje PLC.....	257
Fig 163. Simulación del sensor IR .....	257
Fig. 164. Circuito PCB sensor IR .....	258
Fig 165. Instalación PCB sensor de altura.....	260
Fig 166. Sensor de peso microswitch.....	263

Fig 167. Funcionamiento del microswitch .....	263
Fig 168. Instalación sensor de peso microswitch.....	264
Fig 169. Diagrama Esquemático del circuito para microswitch.....	265
Fig 170. Simulación del sensor microswitch .....	265
Fig 171. Circuito PCB sensor microswitch .....	266
Fig 172. Instalación PCB sensor de altura.....	267
Fig 173. Sensor de proximidad magnético.....	269
Fig 174. Instalación sensor de proximidad magnético.....	270
Fig 175. Simulación del sensor de proximidad magnético .....	271
Fig. 176. Diagrama Esquemático y PCB del sensor de proximidad magnético. .....	272
Fig 177. Instalación PCB sensor de proximidad magnético.....	273
Fig 178. Sensor infrarrojo IR.....	275
Fig 179. Simulación Protoboard sensor infrarrojo IR .....	276
Fig 180. Instalación sensor infrarrojo IR.....	277

Fig 181. Acondicionamiento para alimentación de voltaje sensor infrarrojo IR .....	278
Fig 182. Acondicionamiento sensor IR y LED indicador .....	278
Fig 183. Microcontrolador sensor IR .....	279
Fig 184. Diagrama GRAFCET lógica de programación. ....	280
Fig 185. Acople voltaje PLC sensor infrarrojo IR .....	282
Fig 186. Simulación del sensor infrarrojo IR .....	282
Fig. 187. Diagrama esquemático y PCB sensor IR.....	283
Fig 188. Instalación PCB sensor infrarrojo IR .....	285
Fig 189. Sensor de proximidad inductivo IBEST.....	287
Fig 190. Conexión PNP del sensor de proximidad inductivo. ....	289
Fig 191. Instalación sensor de proximidad inductivo.....	289
Fig 192. Sensor óptico Reflectivo OPTEX .....	291
Fig 193. Instalación sensor óptico relfectivo .....	293
Fig 194. Instalación de cámara web visión artificial .....	295
Fig 195. Motor DC Wondermotor .....	297

Fig 196. Circuito acople de voltaje para Motor DC.....	298
Fig 197. Simulación del Acondicionamiento del Motor.....	298
Fig 198. Diagrama Esquemático acople voltaje del Motor DC .....	299
Fig 199. PCB del Acondicionamiento del Motor .....	300
Fig 200. Instalación de PCB Motor DC .....	301
Fig 201. Fuente de alimentación seleccionada .....	306
Fig 202. Diagrama de activación Automatización .....	307
Fig 203. Controlador PLC Siemens S7-200.....	310
Fig 204. Microcontroladores para controlar el SPM-V1ZR.....	311
Fig 205. Circuito de conexión de fuentes.....	312
Fig 206. Filtro de fuentes de alimentación DC .....	313
Fig 207. Conexión de entradas PLC-TTL .....	314
Fig 208. Conexión de salidas PLC-TTL .....	315
Fig 209. Conexión de salidas PLC-TTL .....	316
Fig 210. Conector para microcontrolador.....	317
Fig 211. PCB del panel de control. ....	319

Fig 212. Visualización 3D de la PCB del panel de control .....	321
Fig 213. Layout del panel de control. ....	322
Fig 214. Programa visión artificial en LabVIEW 2011 .....	325
Fig 215. HMI en LabVIEW 2011 de sistema de conteo de piezas .....	326
Fig 216. Nueva forma de alimentador de Piezas .....	329
Fig 217. Nueva forma del Clasificador .....	332
Fig 218. Corrección Falla de la Banda Transportadora .....	336
Fig 219. Corrección Falla de la Estación de Visión Artificial .....	337
Fig 220. Estaciones del Modulo .....	352
Fig 221. Estación Cargador .....	354
Fig 222. Estación de Pesado .....	355
Fig 223. Estación Pick & Place .....	357
Fig 224. Banda Transportadora .....	359
Fig 225. Estación de Distribución de Aire .....	362
Fig 226. Estación de Visión Artificial .....	363
Fig 227. Distribución del Panel de Control .....	364

Fig 228. Panel de Control .....	366
Fig 229. Conexión al PLC y Cable de Conexión a Microcontroladores.....	367
Fig 230. Conector DB 25 y distribución.....	367
Fig 231. Válvula de Paso del Compresor.....	369
Fig 232. Válvula de Paso del Compresor.....	370
Fig 233. Regulador de Presión y Válvula de Paso del SPM-V1ZR.....	370
Fig 234. Botones de Encendido.....	371
Fig 235. Posición Inicial del SPM-V1ZR .....	375

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Laboratorios de Mecatrónica.....	3
Tabla 2. Equipos de Laboratorio AIM.....	4
Tabla 3. Lista de Componentes de la Pinza Neumática. ....	25
Tabla 4. Simbología Válvulas de Distribución .....	28
Tabla 5. Proceso de Diseño.....	33
Tabla 6. Análisis con FEA.....	40

Tabla 7. Lenguajes de Programación. ....	59
Tabla 8. Matriz de decisión mesa de montaje.....	75
Tabla 9. Parámetros de estudio CAE bancada .....	85
Tabla 10. Juego de piezas .....	89
Tabla 11. Matriz de decisión piezas de altura y plástico. ....	90
Tabla 12. Matriz de decisión piezas metal y peso.....	92
Tabla 13. Matriz de decisión de la forma del contenedor.....	97
Tabla 14. Matriz de decisión para selección del actuador A. ....	102
Tabla 15. Factores utilizados para determinar un factor de seguridad .....	106
Tabla 16. Elementos neumáticos de la estación cargador.....	109
Tabla 17. masa de piezas .....	118
Tabla 18. Parámetros estudio de pandeo .....	118
Tabla 19. Matriz de Decisión del Control de Peso de la Piezas.....	121
Tabla 20. Elementos neumáticos de las estación de pesado .....	128
Tabla 21. Matriz de decisión manipulador. ....	133
Tabla 22. Matriz de decisión del tipo de actuador.....	134

Tabla 23. Matriz de decisión tipo de pinza.....	136
Tabla 24. Selección de la pinza neumática.....	138
Tabla 25. Matriz de decisión tipo de actuador giratorio.....	140
Tabla 26. Selección del actuador neumático .....	141
Tabla 27. Elementos neumáticos de las estación de pesado .....	149
Tabla 28. Parámetros estudio de deformación. ....	154
Tabla 29. Matriz de decisión Banda Transportadora a ser manufacturada.....	156
Tabla 30. Matriz de Decisión tipo de Motor.....	170
Tabla 31. Elementos neumáticos de las estación banda transportadora .....	180
Tabla 32. Lista de componentes neumáticos.....	187
Tabla 33. Especificaciones técnicas neumáticas electroválvula 3/2 .....	189
Tabla 34. Matriz de decisión electroválvula actuadores doble efecto .....	190
Tabla 35. Especificaciones técnicas neumáticas electroválvula 5/2 .....	192
Tabla 36. Especificaciones técnicas manifold.....	195
Tabla 37. Estaciones del laboratorio de AIM .....	203
Tabla 38. Cilindros Estación Cargador MecLab.....	204

Tabla 39. Consumo de la estación cargador MecLab.....	205
Tabla 40. Tabla de áreas y consumos de aire de cilindros Mindman. ....	206
Tabla 41. Elementos estación manipulador. ....	207
Tabla 42. Consumo de la estación manipulador .....	208
Tabla 43. Especificaciones micro cilindros .....	209
Tabla 44. Factor n de cilindros.....	209
Tabla 45. Consumo de micro cilindros.....	210
Tabla 46. Especificaciones Gripper .....	210
Tabla 47. Especificaciones Actuador Giratorio .....	211
Tabla 48. Factores de uso referenciales.....	213
Tabla 49. Factores de simultaneidad.....	214
Tabla 50. Presión atmosférica en relación a la altura sobre el nivel del mar ..	219
Tabla 51. Datos para cálculo del depósito de almacenamiento.....	220
Tabla 52. Requerimientos del compresor .....	225
Tabla 53. Especificaciones técnicas del Compresor Seleccionado .....	225
Tabla 54. Lista de materiales.....	240

Tabla 55. Costo de materiales para instalación. ....	241
Tabla 56. Componentes a ser utilizado de La Red de Distribución Eléctrica..	248
Tabla 57. Costo de Materiales para Instalación .....	249
Tabla 58. Función de sensores en SPM-V1ZR.....	250
Tabla 59. Especificaciones técnicas sensor SHARP. ....	253
Tabla 60. Lista de componentes PCB sensor IR estación cargador .....	259
Tabla 61. Lista de componentes PCB sensor microswitch estación pesado ..	266
Tabla 62. Matriz de decisión sensor del gripper.....	268
Tabla 63. Especificaciones técnicas sensor de proximidad magnético.....	270
Tabla 64. Lista de componentes PCB sensor proximidad magnético .....	273
Tabla 65. Matriz de decisión sensor piezas de altura .....	274
Tabla 66. Especificaciones técnicas sensor infrarrojo IR.....	276
Tabla 67. Lista de componentes PCB sensor infrarrojo banda trasportadora...	285
Tabla 68. Matriz de decisión sensor de proximidad inductivo .....	287
Tabla 69. Especificaciones técnicas sensor de proximidad inductivo. ....	288
Tabla 70. Matriz de decisión sensor óptico .....	291

Tabla 71. Especificaciones técnicas sensor óptico Reflectivo OPTEx. ....	292
Tabla 72. Componentes de la Placa .....	300
Tabla 73. Especificaciones eléctricas Electroválvula Airtac .....	302
Tabla 74. Consumo energético del SPM-V1ZR .....	303
Tabla 75. Características requeridas para la selección de la fuente de poder..... .....	304
Tabla 76. Características Fuentes Switching WEI-YA Serie P15.....	305
Tabla 77. Entradas y Salidas del SPM-V1ZR .....	308
Tabla 78. Identificación de pines del DB25 .....	318
Tabla 79. Componentes placa electrónica PCB panel de control .....	320
Tabla 80. Codificación del layout del panel de control. ....	323
Tabla 81. Funcionamiento Piezas de la Estación Cargador .....	328
Tabla 82. Funcionamiento Piezas de la Estación de Pesado .....	329
Tabla 83. Funcionamiento Piezas de la Estación Pick & Place .....	330
Tabla 84. Funcionamiento Piezas de la Banda Transportadora .....	331

Tabla 85. Funcionamiento piezas de la estación de distribución de aire comprimido .....	333
Tabla 86. Funcionamiento piezas de la estación de Visión Artificial .....	333
Tabla 87. Prueba del SPM-V1ZR en Vacío .....	334
Tabla 88. Prueba del SPM-V1ZR con Carga .....	335
Tabla 89. Carta de Control de Piezas Metálicas .....	340
Tabla 90. Carta de Control de Piezas Color .....	341
Tabla 91. Carta de Control de Piezas Altura .....	342
Tabla 92. Carta de Control de Piezas Altura .....	343
Tabla 93. Carta de Control de General .....	344
Tabla 94. Carta de Control de General Cuatro Piezas .....	345
Tabla 95. Codificación del layout del panel de control .....	365
Tabla 96. Distribución de los Pines .....	368
Tabla 97. Costo de los Materiales y Construcción .....	412

## RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto de grado corresponde al diseño e implementación de un sistema de producción modular Mecatrónico para el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica (AIM) que permitirá manipular y clasificar piezas cilíndricas de características como peso, altura, material y color, a través de sensores y actuadores. El diseño del Sistema de Producción Modular – Versión 1 Zapata Rivera (SPM-V1ZR) se basa en el desarrollo de los tres sistemas fundamentales presentes en una máquina Mecatrónica. Sistema Mecánico: Actuadores neumáticos para alimentar, clasificar y trasladar las piezas entre estaciones, y un motor para transportar los elementos a través de una banda. Además, el diseño CAD/CAE de las estaciones y la bancada. Sistema Eléctrico/Electrónico: Implementación y acondicionamiento de sensores para identificar distintas características físicas de los elementos mecánicos del SPM-V1ZR, voltaje de trabajo a 24VDC y 5VDC, electroválvulas para activación de actuadores neumáticos y control de velocidad del motor 12VDC. Sistema de Control: Diseño del panel de control para centralizar las señales eléctricas del SPM-V1ZR. Flexibilidad del controlador (PLC y Microcontrolador) y visión artificial para contabilizar las piezas al final del proceso. En el capítulo 1 se trata el perfil del proyecto, el capítulo 2 contiene el marco teórico, en el capítulo 3 se desarrollan los sistemas del SPM-V1ZR, la instalación y puesta en marcha del equipo se muestran en el capítulo 4, el manual del usuario y guías de laboratorio se presentan en el capítulo 5 y finalmente el análisis económico del proyecto en el capítulo 6.

**PALABRAS CLAVE:** FLEXIBILIDAD, VISIÓN ARTIFICIAL, SISTEMAS,  
PLC, MICROCONTROLADOR.

## **CAPÍTULO I**

### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA DE LA ESPE”**

#### **1.1 Antecedentes**

La Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas ESPE, es un centro de estudio superior comprometido con el desarrollo de la sociedad ecuatoriana, a través de la formación de profesionales de alto nivel, acorde con las exigencias del país.

La ESPE está regida por las leyes de Educación Superior vigentes en la actualidad. Se encuentra dentro de las universidades clase B según la última evaluación del ceaaces (Consejo de evaluación, acreditación y aseguramiento de la calidad de la educación superior).

#### **Reseña histórica de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

La carrera de Mecatrónica, fue creada el 3 de febrero del 2006, con orden de rectorado N° 2006-026-ESPE-a-3.

La UNESCO define a la Mecatrónica como: "La integración sinérgica de la ingeniería mecánica con la electrónica y el control inteligente por computadora en el diseño y manufactura de productos y procesos".

#### **Campo ocupacional**

El campo ocupacional del Ingeniero Mecatrónico es uno de los más amplios en el ámbito de la ingeniería, pues su participación en fábricas o industrias se manifiesta a través del desempeño en diversos campos del saber que requieran

la integración de las Ingenierías Mecánica, Electrónica, Control y de Sistemas, con capacidad de:

- Diseñar, operar y mantener dispositivos, máquinas, equipos y procesos, dotados de un nivel de inteligencia que les permita adaptarse al entorno en el que operan, garantizando un funcionamiento óptimo.
- Administrar procesos de asimilación de nuevas tecnologías para la modernización de los procesos industriales destinados a elaborar productos mediante la transformación física de materia prima o ensamble de componentes como: Generadoras de Energía, Papeleras, Madereras, Alimenticias, Agroindustriales, Automotrices, etc.

### **Infraestructura**

En la Tabla 1 se muestra los laboratorios con los que cuenta la Carrera de Ingeniería Mecatrónica:

**Tabla 1. Laboratorios de Mecatrónica**

Matemático Computacional	Laboratorio de Física Laboratorio de Química Laboratorios Generales de Computación
Mecánica	Laboratorio de Metrología Laboratorio de Metalurgia Laboratorio de Termodinámica Laboratorio de Transferencia de Calor Laboratorio de Resistencia de Materiales Laboratorio de Maquinas Herramientas Laboratorio de Fluidos e Hidráulica Laboratorio de Turbomáquinas Laboratorio de Maquinas Mecánicas
Electricidad y Electrónica	Laboratorio de Circuitos Eléctricos Laboratorio de Maquinas Eléctricas Laboratorio de Medidas Eléctricas Laboratorio de Circuitos Electrónicos Laboratorio de Sistemas Digitales Básicos
Instrumentación y Control	Laboratorio de Instrumentación y Control Laboratorio de Sistemas Digitales Programables Laboratorio de Control Industrial Laboratorio de Procesamiento digital de Señales. Laboratorio de Redes de Comunicación Industrial
Instrumentación y Control Mecatrónica	Laboratorio CAD/CAM/CAE Laboratorio de Fluitrónica e Hidrónica Laboratorio de Robótica y PLCs CIM Laboratorio de Automatización Industrial MCT Servomecanismos (Nuevo) Sistemas de Instrumentación (Nuevo) Mecatrónica Básica (Nuevo) Brazos Robóticos (Nuevo)

**Fuente: Propia**

En la sección Mecatrónica de la tabla 1 se encuentra el Laboratorio de AIM (Automatización Industrial Mecatrónica). El cual fue habilitado en el periodo Sep 2010 – Ene 2011.

El Laboratorio de Automatización industrial Mecatrónica cuenta en la actualidad con los equipos que se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Equipos de Laboratorio AIM**

<b>N°</b>	<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Estado</b>
1	Estación Apilador FESTO dos cilindros	2	Operable
2	Estación Apilador FESTO tres cilindros	2	Operable
3	Estación Banda Transportadora FESTO	2	Operable
4	Compresor FESTO 220/240V 0-60 PSI	2	Operable
5	PLC Siemens S7-200	2	Operable
6	PLC Siemens S7-300	2	Operable
7	Computadores	4	Operable

**Fuente: Propia**

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La productividad, la competencia y la obtención de beneficios son los factores claves que han hecho que la automatización industrial sea hoy una realidad.

“Todos aquellos que deseen sobrevivir a la competencia deben lanzarse a la automatización, consiguiendo así mayor productividad, reducción de costos, mejora de la calidad, producir las cantidades necesarias en el momento preciso y adaptarse con facilidad y en breve tiempo a los cambios del mercado (nuevos productos).”

Los laboratorios de Automatización Industrial necesitan equipos con tecnología actual: mecánica, electrónica, neumática, hidráulica, sistemas informáticos, hardware y software, incluyendo: sensores, actuadores, autómatas

programables, robots industriales, sistemas automáticos de inspección y control de calidad, sistemas de visión artificial, etc., como se muestra en la Figura 1.

**Fig 1. Equipos de un Laboratorio de Automatización Industrial.**



**Fuente: Sitio Web, FESTO, 2013.**

En un proceso industrial existen numerosas razones para automatizar tales como:

- Reducción de Costes.

- Cantidad y Calidad de las Piezas realizadas.
- Seguridad.

En la actualidad la automatización y el control de procesos en la industria manufacturera demanda la manipulación versátil y controlada de partes y piezas, necesidad que viene creciendo de forma acelerada, por lo que es necesario que los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica tengan una formación sobre estos procesos de manipulación y se familiaricen con estos temas de un modo práctico, de esta manera estar aptos para cualquier proceso de capacitación técnica a las industrias y vinculación con las mismas. En la Figura 2 se muestra un Sistema Industrial totalmente automatizado.

**Fig 2. Sistemas en la Industria Totalmente Automatizados**



**Fuente: Sitio Web, Global Automation, 2013.**

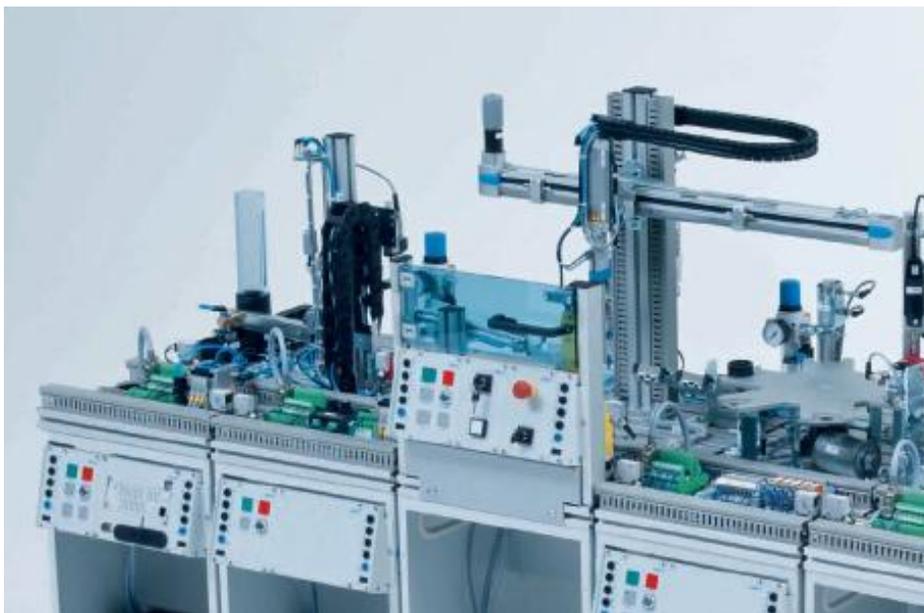
Desde el punto de vista pedagógico, las prácticas son una parte muy importante para la educación de los estudiantes en todas las carreras de la ingeniería. Con la aplicación de los conocimientos teóricos los estudiantes

aprenden a solucionar problemas técnicos de sistemas complejos. Por eso es importante aplicar los métodos enseñados en clase, por medio de prácticas o proyectos. Además, permiten que el estudiante innove en la aplicación de técnicas avanzadas de control, adquisición de datos, optimización de los procesos, etc.

En la actualidad el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica tiene un déficit de módulos didácticos para la aplicación de conocimientos teóricos como automatización, neumática, controladores, instrumentación y sensores.

En vista de la necesidad de no contar con un equipamiento óptimo para la aplicación de los conocimientos teóricos, se toma como iniciativa el desarrollo del presente proyecto que tiene como finalidad diseñar e implementar un Sistema de Producción Modular Didáctico que permita conocer un proceso industrial de alimentación, pesado, transporte, control, clasificación, verificación y descarga de piezas de diferentes características por medio de sensores, actuadores y controladores. En la figura 3 se muestra un sistema de producción modular didáctico fabricado por FESTO.

**Fig 3. Sistema de Producción modular Didáctico de FESTO.**



**Fuente: Sitio Web, FESTO, 2013.**

El sistema de producción modular también ayudará a conocer el funcionamiento y comportamiento de dispositivos como actuadores, sensores, controladores, sistemas electrónicos y computacionales asociados para desarrollar plantas típicas donde se puedan mostrar efectos físicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos mediante diversas prácticas. Obteniendo como valor agregado el posicionamiento de nuestra carrera a nivel nacional y de este modo ayudar con el proceso de vinculación con la colectividad.

### **1.3 ALCANCE DEL PROYECTO**

El Diseño e Implementación de un Sistema de Producción Modular Didáctico tiene como fin equipar al Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica perteneciente al DECEM, de esta manera ayudar en el proceso de acreditación de la carrera, proveer a los estudiantes de un equipo didáctico que ayude a poner en práctica sus conocimientos mediante la realización de

prácticas, y brindar un servicio de capacitación a las empresas del Sector Industrial sobre la importancia de llevar a cabo convenios Universidad-Empresa para el desarrollo de proyectos similares al actual, obteniendo un beneficio mutuo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 GENERAL**

Diseñar e Implementar un Sistema de Producción Modular Didáctico que separe y verifica piezas de diferentes características mediante diferentes sistemas mecánicos, eléctricos/electrónicos, computacionales para el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica perteneciente al DECEM.

### **1.4.2 ESPECÍFICOS**

- Diseñar e implementar la bancada para la sujeción de los diferentes sensores, actuadores neumáticos, elementos mecánicos, cableado electrónico y neumático del Sistema de Producción Modular Didáctico.
- Diseñar el Sistema de Distribución de aire comprimido/alimentación eléctrica para el Laboratorio de Automatización Industrial.
- Seleccionar un compresor óptimo para el sistema de distribución de aire comprimido.
- Diseñar e implementar los circuitos eléctricos, electrónicos y neumáticos para el funcionamiento adecuado del Sistema de Producción Modular Didáctico.
- Diseñar e implementar los dispositivos que van a permitir la alimentación, pesado, transporte, control, clasificación, verificación y descarga de piezas de diferentes características.

- Diseñar e implementar un Sistema de Visión Artificial que permita verificar y contar cuantas piezas de cada material existen al final del proceso.
- Diseñar e implementar una banda transportadora para la verificación y clasificación de las piezas del Sistema de Producción Modular Didáctico.
- Seleccionar e implementar los controladores que permitirán la automatización del Sistema de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del Módulo Didáctico.
- Realizar los Manuales de Operación, Pruebas, Mantenimiento del Sistema de Producción modular Didáctico.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Diseño Modular Mecatrónico**

Dado que una formación práctica en plantas industriales y de producción real no suele ser posible habitualmente, el sistema de producción modular prepara a los alumnos para las exigencias laborales de forma óptima.

En los sistemas de producción modular didáctico el instructor puede establecer el grado de complejidad de la práctica.

El sistema para la enseñanza de este proyecto ha sido concebido exclusivamente para la formación y perfeccionamiento profesional en materia de sistemas y técnicas de automatización industrial Mecatrónica que integran sistemas mecánicos, electrónicos, de control e informáticos.

Los sistemas modulares tienen una estructura tal que es posible dedicarse a aplicaciones que rebasan lo previsto por cada uno de los módulos de menor complejidad. Por ejemplo, es posible trabajar con controladores lógicos programables para actuadores neumáticos, hidráulicos y eléctricos.

Los equipos didácticos abordan los siguientes temas técnicos:

- Neumática
- Electro neumática
- Controladores Lógicos Programables
- Automatización con ordenadores personales (PC)
- Hidráulica

- Electrohidráulica
- Hidráulica Proporcional
- Técnicas de Manipulación

### **2.1.1 Características**

El sistema de producción Mecatrónico se rige por diversos planes de estudio y exigencias que plantea el pensum de estudio de la carrera. Los equipos didácticos están clasificados según los siguientes criterios:

- Los equipos didácticos básicos para la adquisición de conocimientos tecnológicos básicos generales
- Equipos didácticos tecnológicos que abordan temas de importancia sobre la técnica de control y regulación.
- Equipos didácticos de funciones, que explican las funciones básicas de sistemas automatizados.
- Equipos didácticos de aplicaciones, que permiten estudiar en circunstancias que corresponden a la realidad práctica.

Los sistemas modulares tienen la misma estructura:

- Hardware (Equipos Técnicos).
- Teachware (material didáctico para la enseñanza).
- Software.
- Instrucción Académica.

El Hardware incluye componentes y equipos industriales que han sido adaptados para fines didácticos. La concepción didáctica y tecnología del

Teachware considera el Hardware didáctico ofrecido. El Teachware incluye lo siguiente:

- Manuales de estudio (con ejercicios y ejemplos)
- Manuales de trabajo (con ejercicios prácticos, informaciones complementarias, soluciones y hojas de datos)
- Transparencias para proyección y videos (para crear un entorno de formación activo)

El software incluye programas de estudio mediante ordenador y software de programación para PLC's. Los contenidos se abordan mediante los quipos didácticos tecnológicos y se complementan mediante la instrucción académica para la formación y perfeccionamiento profesional.

### **2.1.2 Sistemas que integran los módulos.**

La automatización puede ser considerada como el paso más importante del proceso de evolución de la industria en el siglo XX, al permitir la eliminación total o parcial de la intervención humana, obteniéndose las ventajas siguientes:

- Reducción de los costes de mano de obra directos.
- Uniformidad de la producción y ahorro del material.
- Aumento de la productividad
- Mayor control de la producción al poder introducir en el proceso sistemas automáticos de muestreo.
- Aumento de la calidad del producto final.

En todo proceso de automatización se distinguen tres partes:

a) Elementos periféricos de entrada, a través de los cuales llega al sistema la información.

b) Unidad central del tratamiento de la información.

c) Elementos periféricos de salida, que, de acuerdo con las órdenes elaboradas por la unidad central, gobiernan los elementos de potencia.

Existen diversas técnicas para la elaboración de automatismos: electro-mecánica, la electrónica, la neumática, entre otras.

### **2.1.2.1 Sistemas Neumáticos**

Los sistemas neumáticos utilizan las propiedades del aire comprimido. Las señales deben traducirse a ausencia o presencia de presión neumática. El tratamiento de las señales es realizado por los distribuidores neumáticos. Las señales de salida son generalmente posiciones de cilindros neumáticos.

La energía neumática que emplea aire comprimido como fuente de potencia, tiene cualidades excelentes, propias del elemento de base, entre las que se puede destacar:

-El aire es abundante y barato.

-Se transporta y se almacena fácilmente.

-Es limpio (no produce contaminación) y carece de peligro de combustión o alteración con la temperatura.

No obstante todas sus virtudes es de destacar que siendo el aire un fluido comprimible, presenta algunas desventajas como pueden ser los movimientos no uniformes de los cilindros cuando se realizan avances lentos con carga aplicada.

La generación de aire comprimido se lleva a cabo por lo general admitiendo aire exterior en un recinto hermético, reduciendo su volumen hasta alcanzar la presión deseada, y permitiendo entonces su salida, la presión de distribución generalmente se mantiene entre 6 y 7 [bar] para las aplicaciones industriales más comunes, el compresor más común es el del embolo.

El trabajo realizado por un actuador neumático puede ser lineal o rotativo. El movimiento lineal se obtiene por cilindros de embolo. También existen actuadores neumáticos de rotación continua (motores neumáticos), movimientos combinados e incluso alguna transformación mecánica de movimiento que los hacen aparecer de un tipo especial.

#### **2.1.2.1.1 Actuadores Lineales**

Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Según el principio de operación los cilindros neumáticos se pueden subdividir como: de simple efecto y doble efecto.

Los actuadores neumáticos deben tener ciertas características especiales que se nombran a continuación:

1. Deben ser de construcción sencilla
2. Si es posible, diseñarlos ligeros en peso ya que será más fácil manipularlos.
3. Siempre que se requiera, los cilindros o los motores neumáticos deben ser contruidos en materiales anticorrosivos.

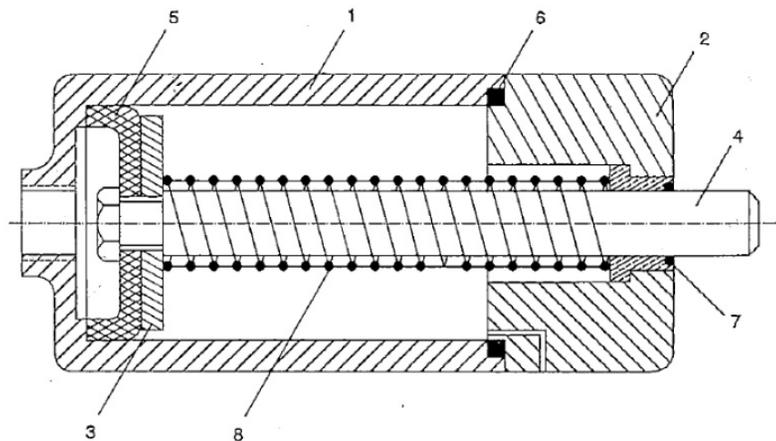
4. Los cilindros y otros actuadores deben diseñarse de tal modo que tengan mejor capacidad de transferencia de calor.

5. Los cilindros deben tener una mayor duración respecto a la fatiga.

6. Los actuadores se deben diseñar y perfeccionar para que tengan una gran confiabilidad contra las fallas.

- **Cilindros de Simple Efecto:** En un cilindro de simple efecto, el aire comprimido se alimenta solo en uno de los lados. Por consiguiente, este cilindro puede producir trabajo solo en una dirección. El movimiento de retorno del pistón se efectúa por medio de un resorte inter construido o por la aplicación de una fuerza externa. En la Figura 4 se ilustra un cilindro de simple efecto.

**Fig 4. Cilindro de Simple Efecto**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

1. Cuerpo del Cilindro (Camisa)

2. Cubierta del Extremo

3. Pistón (Embolo)

4. Varilla del Pistón

5. Sello de copa en U

6. Anillo en O

7. Buje

8. Resorte

Los cilindros de simple efecto se utilizan para sujetar, marcar, expulsar, etc.

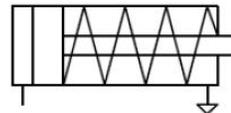
Tiene un consumo de aire algo más bajo que un cilindro de doble efecto de igual tamaño. Sin embargo, hay una reducción de impulso debida a la fuerza contraria del resorte, así que puede ser necesario un diámetro interno algo más grande para conseguir una misma fuerza. También la adecuación del resorte tiene como consecuencia una longitud global más larga y una longitud de carrera limitada, debido a un espacio muerto.

En la figura 5 se muestra la simbología normalizada para cilindros de simple efecto.

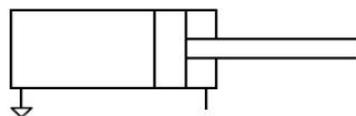
**Fig 5. Simbología Normalizada para Cilindros de Simple Efecto** <sup>[4]</sup>



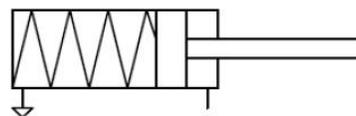
*Cilindro de simple efecto  
Recuperación por carga externa  
"Normalmente dentro"*



*Cilindro de simple efecto  
Recuperación por resorte  
"Normalmente dentro"*



*Cilindro de simple efecto  
Recuperación por carga externa  
"Normalmente fuera"*

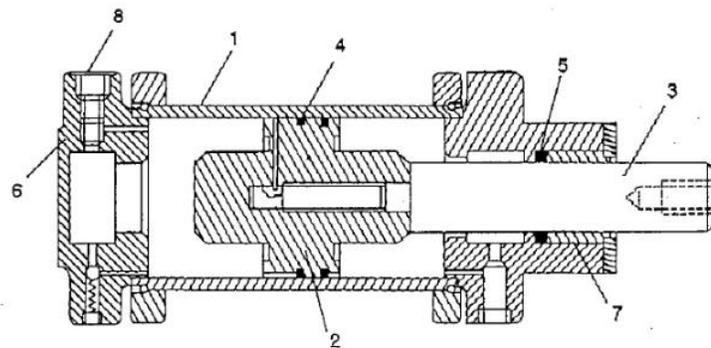


*Cilindro de simple efecto  
Recuperación por resorte  
"Normalmente fuera"*

**Fuente: Núñez & Jácome, 2011.**

- Cilindros de Doble Efecto:** En un cilindro de doble efecto, la fuerza ejercida por el aire comprimido mueve el pistón en las dos direcciones en particular, se usan cuando se requiere que el pistón realice trabajo no solo en el movimiento de avance sino también en el de retorno. En principio la longitud de la carrera no está limitada, aun cuando se deben considerar el pandeo y la flexión antes de seleccionar un tamaño particular del diámetro del pistón, longitud de la varilla y longitud de la carrera. En la Figura 6 se ilustra un cilindro de doble efecto.

**Fig 6. Cilindro de Doble Efecto**

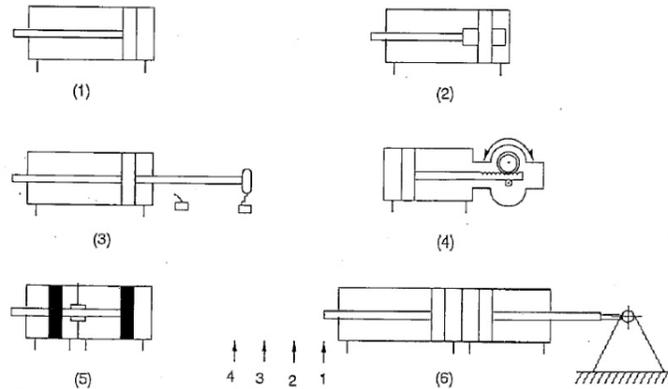


**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

1. Cuerpo del Cilindro (Camisa)
2. Pistón (Embolo)
3. Varilla del pistón
4. Doble empaquetadura de anillo en O sobre el pistón
5. Anillo en O para la varilla del pistón
6. Cubierta del extremo
7. Buje
8. Conjunto Amortiguador.

El campo de aplicación de los cilindros de doble efecto es mucho más extenso que los de simple efecto, incluso cuando no es necesaria la realización de esfuerzos en ambos sentidos. Esto es debido a que, por norma general (en función del tipo de válvula empleada para el control), los cilindros de doble efecto siempre contienen aire en una de sus dos cámaras, por lo que se asegura el posicionamiento. En la figura 7 se muestra distintos tipos de cilindros de doble acción.

**Fig 7. Cilindros de Doble Acción**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

1. Cilindro normal de doble Efecto
2. Amortiguamiento en la posición del extremo del cilindro de doble efecto
3. Varilla del pistón en ambos extremos (cilindro de varilla pasante)
4. Cilindro giratorio
5. Cilindro en tándem
6. Cilindro de posiciones múltiples.

- **Desfase Fuerza/Velocidad:** En los actuadores lineales de doble efecto, se producen desfase entre la fuerza provocada a la salida y la entrada

del vástago, y lo mismo ocurre con la velocidad. Este efecto se debe a la diferencia que hay entre los volúmenes de las cámaras formadas (en consecuencia, con el volumen ocupado por el vástago del cilindro).

Cuando se aplica aire en la cámara que fuerza la salida del vástago, este actúa sobre una superficie conocida, que se denomina  $A_1$ . Es conocido que el valor de la fuerza provocada responde a la fórmula:

$$F = PA$$

Ec 1

Dónde:

$F = \text{Fuerza [N]}$

$P = \text{Presión [N/mm}^2\text{]}$

$A = \text{Área [mm}^2\text{]}$

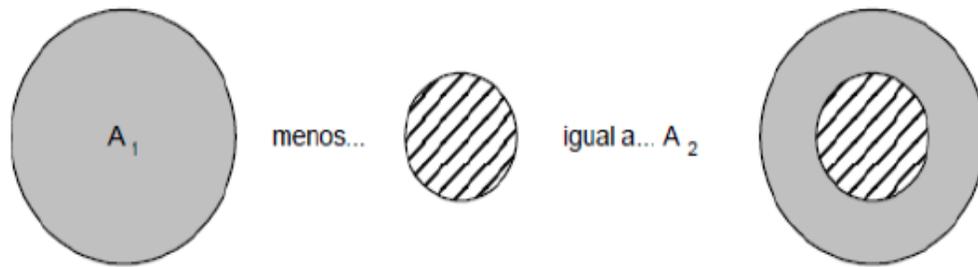
Así pues, para calcular el valor de la fuerza de salida, se aplica la siguiente operación:

$$F_{\text{salida}} = PA_1, \quad \text{resultando un valor } F_1$$

Ec 2

Para el cálculo de la fuerza provocada en el retroceso, se aplica la misma fórmula y valor de presión, pero se debe tener en cuenta que el área sobre el cual se aplica ya no es  $A_1$ , sino  $A_1$  menos el área del vástago (ya que esta no es efectiva). Se denomina  $A_2$  como se observa en la figura 2.5.

**Fig 8. Diferencia entre las secciones efectivas de un cilindro**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

Se concluye que:

$$F_{\text{retorno}} = PA_2, \text{ resultando un valor } F_2$$

Ec 3

Como se puede deducir, a igualdad de valor de presión, y debido a la desigualdad de áreas, el valor de la fuerza de salida (F1) es mayor que la fuerza de retroceso (F2).

Este mismo efecto es aplicable a la velocidad para el vástago, ya que si el volumen de la cámara de retorno es menor, para una igualdad de caudal le costara menos llenarse, y por ello la velocidad de retorno será mayor. En consecuencia se puede afirmar que en los actuadores de doble efecto para igualdad de presión y caudal:

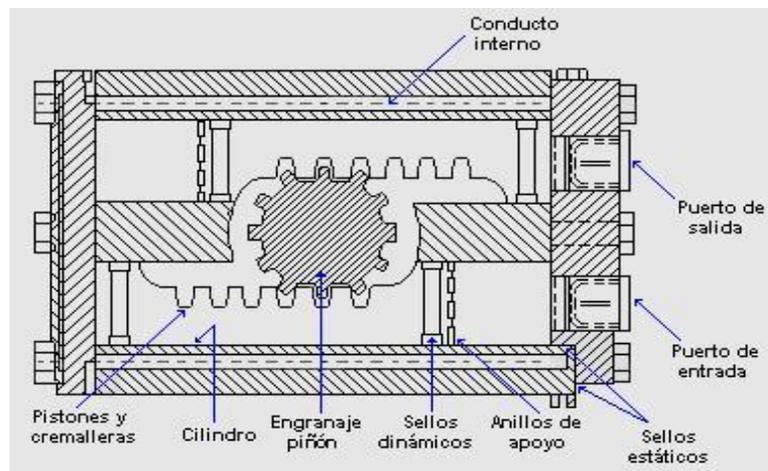
- La velocidad de retorno es mayor que la de avance.
- La fuerza provocada a la salida es mayor que la fuerza de retorno.

$$F_{\text{salida}} > F_{\text{retorno}} ; V_{\text{retorno}} > V_{\text{salida}}$$

### 2.1.2.1.2 Actuador Rotativo Neumático

En estos cilindros por medio de la presión introducida podemos obtener un movimiento rotativo, el giro de estos cilindros puede ser de 45°, 90°, 180°, etc. Estos cilindros resultan adecuados para trasladar piezas de un lugar a otro, dependiendo del torque del mismo. Este tipo de actuador tiene la varilla del pistón con un perfil de engrane que se encastra contra una rueda dentada de tornillo sin fin (disposición de cremallera y piñón) como se muestra en la figura 9.

**Fig 9. Esquema Básico de un Actuador Rotativo Neumático**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

### 2.1.2.1.3 Pinzas Neumáticas

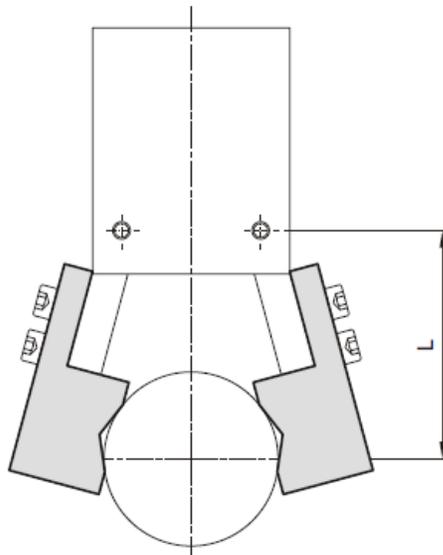
Una pinza neumática es un elemento de amarre, fijación, o sujeción, destinada a ser incorporada o integrada en sistemas de manipulación, por lo tanto los datos o características esenciales a aportar en su definición son:

- La Fuerza a realizar.

- La Carrera necesaria.
- La Masa.
- Tipo (Paralela, angular, etc.)
- Numero de dedos.
- Rigidez.
- Precisión.
- Grado de Protección.
- Tipo de Material.

En la figura 10 se muestra la manera de sujetar una pieza con una pinza neumática

**Fig 10 Sujeción de Pieza con Pinza Neumática.**



**Fuente: Catalogo Mindman, 2012**

Nunca debe de ser considerada una pinza neumática como un elemento destinado al amarre, fijación o sujeción de objetos en los cuales se pretenda

realizar operaciones de mecanización (taladrado, fresado, rectificado, etc.), de soldadura u otras análogas. Tampoco se deben de exponer a la acción de líquidos y menos si estos llevan partículas sólidas de suspensión o productos agresivos que puedan dañar a la pinza.

Se debe de tener presente la morfología de la pinza y del objeto que se pretende manipular con ella, con el fin de seleccionarla correctamente. Existen varios tipos de pinzas:

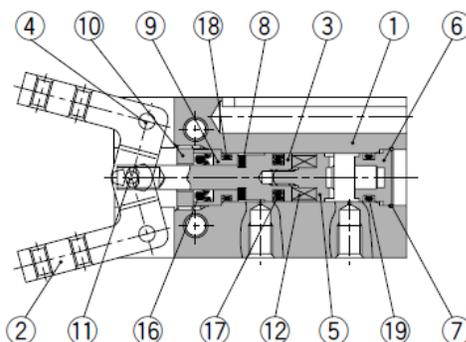
- Pinzas Paralelas (movimiento lineal).
- Pinzas angulares (movimiento angular  $20^\circ \div 40^\circ$ ).
- Pinzas radiales (movimiento angular  $180^\circ$ ).
- Pinzas de 3 o 4 dedos (movimiento lineal-radial).
- Pinzas de expansión.
- Otras.

Las características del objeto a manipular son:

- Masa.
- Forma.
- Posición del centro de gravedad.
- Coeficiente de rozamiento entre el objeto y los adaptadores de la pinza.
- Fragilidad.
- Temperatura.

En la figura 11 se muestra el esquema de una pinza neumática angular.

**Fig 11. Esquema de una Pinza Neumática Angular.**



**Fuente: Catalogo Mindman, 2012**

La lista de componentes de la figura 2.8 se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 3. Lista de Componentes de la Pinza Neumática.**

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Material</b>	<b>Observaciones</b>
1	Cuerpo.	Aleación de Aluminio.	Anodizado Duro.
2	Dedo.	Acero Inoxidable.	Tratamiento Térmico.
3	Embolo.	Acero Inoxidable.	
4	Eje Pivote.	Acero Inoxidable.	Nitrurado.
5	Soporte de Imán.	Acero Inoxidable.	
6	Tapa Posterior.	Aleación de Aluminio.	Anodizado Duro.
7	Clip.	Acero Inoxidable.	
8	Amortiguador Elástico.	Uretano.	
9	Soporte.	Latón.	Niquelado Electrolítico.
10	Enclavamiento Soporte.	Acero Inoxidable.	
11	Rodillo en aguja.	Acero al cromo extraduro.	
12	Imán.	Imán especial.	Niquelado.
13	Muelle.	Alambre de acero.	Cincado Cromado.
14	Restricción de escape.	Latón.	Niquelado .Electrolítico.
15	Silencioso de escape.	Resina.	
16	Junta de Vástago.	NBR.	
17	Junta del embolo.	NBR.	
18	Junta de estanquidad.	NBR.	
19	Junta de Estanquidad.	NBR.	

**Fuente: Catalogo Mindman, 2012**

#### **2.1.2.1.4 Elementos de Mando**

Los elementos de mando neumático (válvulas) regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por un compresor o almacenada en un pulmón. El término “válvula” o “distribuidor” es general para todos los tipos tales como válvulas de corredera, de bola, de asiento, grifos, etc.

Para controlar el movimiento de un lado a otro de un cilindro neumático, la energía del aire tiene que regularse, controlarse e invertirse, con una secuencia determinada. Para llevar a cabo estas funciones, se usan válvulas, que son elementos de la aplicación de la energía de los fluidos usados para controlar y regular el medio de trabajo; es decir, el aire comprimido en el caso de un sistema neumático.

Las válvulas en términos generales se usan para:

- a) Arrancar y suspender la energía neumática.
- b) Controlar la dirección de flujo de aire comprimido.
- c) Controlar el gasto de aire comprimido.
- d) Controlar el nivel de presión de aire comprimido.

Existen diversos tipos de válvulas de los que se puede disponer en la familia de aire comprimido pero, de acuerdo con su función principal, se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- 1) Válvulas de control de dirección.
- 2) Válvulas de retención de control de dirección o sin retorno.
- 3) Válvulas de control de flujo.

4) Válvulas de control de la presión.

Según su construcción las válvulas también se pueden dividir en dos grupos:

- 1) Del tipo de Asiento
- 2) Del tipo de carrete

- **Válvula de control de dirección:** Las válvulas de control de dirección son las más utilizadas en el mercado, como su propio nombre lo indica son los encargados de dirigir el aire comprimido hacia varias vías en el arranque, parada y cambio de sentido del movimiento de los diferentes actuadores neumáticos. Se pueden accionar, para que tomen diferentes posiciones, mediante diversos medios de accionamiento; a saber eléctrico, mecánico, neumático u otros modos de control. En general, la válvula de control de dirección tiene dos, tres, cuatro o cinco lumbrales o aberturas y se mencionan como vías.

La simbología de las válvulas de control de dirección son establecidas por la DIN – ISO 1219 (International Organization for Standardization) y CETOP (Comité Europeo de Transmisiones Oleohidráulicas y Neumáticas), cuya nomenclatura se puede observar en la tabla 4.

**Tabla 4. Simbología Válvulas de Distribución**

ISO 1219 Alfabética	CETOP Numérica	Función
P	1	Conexión de aire comprimido (alimentación)
A, B, C	2, 4, 6	Tubería o vías de trabajo con letras mayúsculas.
R, S, T	3, 5, 7	Orificios de purga o escape.
X, Y, Z	12, 14, 16	Tubería de control, pilotaje o accionamiento
L	9	Fuga

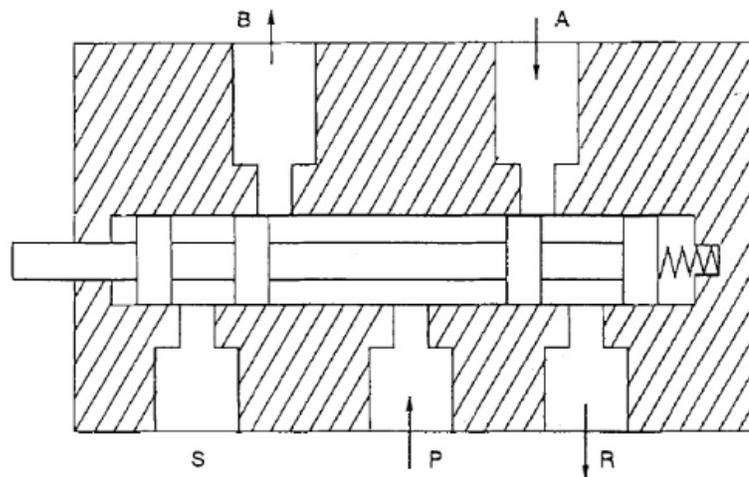
**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

En general la válvula de control de dirección tiene dos o tres posiciones de trabajo. Estas son:

- 1) Posición normal o cero (natural), o bien, posición neutra.
- 2) Posición de trabajo (pueden haber dos o más posiciones de trabajo)

Las válvulas de control de dirección se designan para indicar tanto el número de vías como el número de posiciones de trabajo, como por ejemplo: válvula de control de dirección 5/2, que significa que tiene 5 vías y 2 posiciones como se muestra en la figura 12.

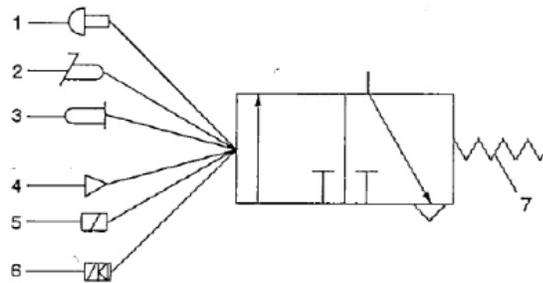
**Fig 12. Esquema Válvula 5/2.**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

En las válvulas controladas de forma directa, la fuerza de control se aplica directamente sobre el pistón de trabajo, cuyos métodos de control son los siguientes: manual, mecánico, neumático, electromagnético o una combinación de dos de los anteriores. En la figura 13 se muestra simbólicamente todos los tipos de accionamientos.

**Fig 13. Tipos de Accionamiento**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

Dónde, los tipos son:

1. Botón
2. Pedal
3. Embolo buzo mecánico
4. Aire comprimido
5. Solenoide
6. Aire comprimido y solenoide combinados
7. Resorte

- **Válvulas Electroneumáticas:** Es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo a través de una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoide que

puede ser AC (corriente alterna) o DC (continua), por ejemplo: 24 VDC. En la figura 14 se muestra una válvula electropneumática comercial.

**Fig 14. Válvula Electropneumática comercial.**



**Fuente: Catalogo AIGNEP, 2012.**

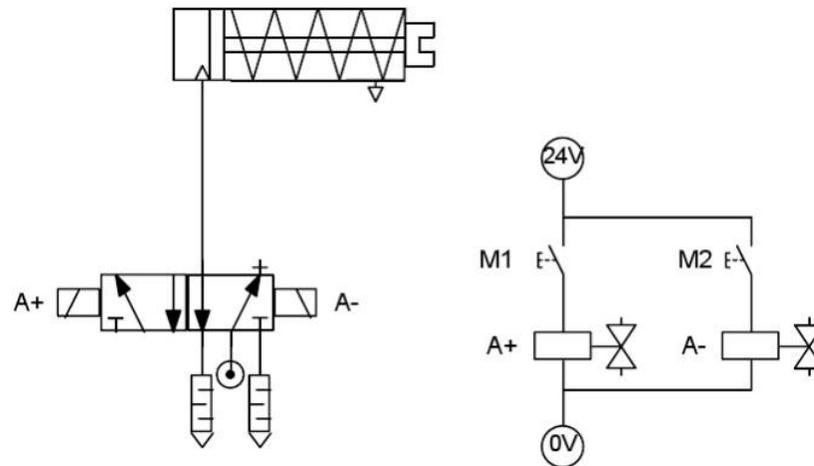
El control de una Electroválvula puede ser:

1) Monoestable: El solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es normal que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle, y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle.

2) Biestable: Se utiliza un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrarla o bien un solo solenoide que abre con un pulso y cierra con el siguiente.

En la Figura 15 se muestra el diagrama de una electroválvula 5/2, biestable, conectada a un cilindro de simple efecto. Además, se observa el diagrama de conexión eléctrico a 24VDC.

**Fig 15 Electroválvula 5/2, biestable.**



**Fuente: Mandujar S.R., 1998**

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas (NC), lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas (NA) que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

### 2.1.2.2 Sistemas Mecánicos.

Los sistemas mecánicos que conforman la construcción de un sistema de producción modular didáctico están representados principalmente por:

- Ajuste mecánico de la estación.
- Diseño de piezas o elementos de máquina para sujeción de actuadores y estructura de estaciones.
- Diseño de sistemas de transmisión de motores, etc.

### **2.1.1.2.1 Diseño de Maquinas.**

El diseño de máquinas se ocupa de la creación de maquinaria que funcione segura y confiablemente bien. Una maquina puede definirse de muchas maneras, entre ellas:

- 1) Aparato formado de unidades interrelacionadas
- 2) Dispositivo que modifica una fuerza o un movimiento

Las partes interrelacionadas a las cuales hace referencia la definición a veces también se conocen en este contexto como elementos de máquinas.

La mención de fuerza y movimiento también es vital, ya que al convertir la energía de una forma a otra, las maquinas crean movimiento y generan fuerzas.

Aunque por necesidad se debe diseñar una maquina elemento por elemento, es vital reconocer que la función y el desempeño de cada una de las partes (y por lo tanto su diseño) depende de muchas otras piezas interrelacionadas dentro de la maquina misma. Así, se diseñara una maquina completa, en vez de solo diseñar elementos individuales aislados.

El objetivo último en el diseño de máquinas es dimensionar y formar las piezas (elementos de maquina) y escoger materiales y procesos de manufactura apropiados de manera que la maquina resultante se comporte o lleve a cabo sin falla su función pretendida. Esto obliga a que se efectuara un análisis de esfuerzos y deflexión para cada pieza. Si la maquina en cuestión no tiene partes en movimiento entonces la tarea de diseño se hace mucho más sencilla, ya que solo es necesario un análisis de fuerzas estáticas.

Si los movimientos de la maquina son muy lentos y las aceleraciones despreciables, entonces bastara un análisis de fuerzas estáticas.

- **Proceso de Diseño:** El proceso de diseño es en esencia un ejercicio de creatividad aplicada. Se han definido varios “procesos de diseño” para ayudar a organizar el ataque sobre el “problema no estructurado”, es decir, aquel para el cual la definición del problema es aun vago y para el que hay muchas soluciones posibles. En la tabla 5 se muestra una versión de 10 pasos para el diseño.

**Tabla 5. Proceso de Diseño**

<b>N °</b>	<b>Pasos</b>
1	Identificación de la necesidad.
2	Investigación de antecedentes.
3	Enunciado del objetivo.
4	Especificaciones de la tarea.
5	Síntesis.
6	Análisis.
7	Selección.
8	Diseño detallado.
9	Prototipo y pruebas.
10	Producción.

**Fuente: Propia**

En la tabla 2.3 quizás se dé una impresión equivocada de que este proceso es realizable en forma lineal, del modo que se enumera. Por lo contrario, durante todo el proceso se requiere de la iteración, pasando de cualquiera de los pasos, de vuelta a cualquier anterior, en todas las posibles combinaciones y realizándolo repetidamente.

#### **2.1.2.2.1 Diseño Asistido por Computadora**

El diseño es una actividad que se proyecta hacia la solución de problemas planteados por el ser humano en su adaptación al medio que lo rodea, para la satisfacción de sus necesidades, para lo cual utiliza recursos como la

tecnología CAD/CAE/CAM. Estas tecnologías se vienen aplicando a través de los métodos de la ingeniería concurrente. La técnica más desarrollada en la ingeniería asistida por computador (CAE), es la aplicación de los análisis por elementos finitos (FEA), que con la mejora de los equipos de cómputo se ha convertido en técnicas accesibles para todos los usuarios. Estas técnicas son usadas industrialmente desde el diseño hasta la fabricación consiguiendo optimizar costos, calidad, tiempo, seguridad, etc.

Para poder entender los conceptos que se desarrollarán es necesario conocer las siguientes siglas:

-CAD (*Computer Aided Design*): Diseño asistido por computador.

-Cad (*Computer aided drafting*): Dibujo asistido por computador.

-CADD (*Computer Aided Design and Drafting*): Diseño y dibujo asistido por computadora.

-CAE (*Computer Aided Engineering*): Ingeniería asistida por computador.

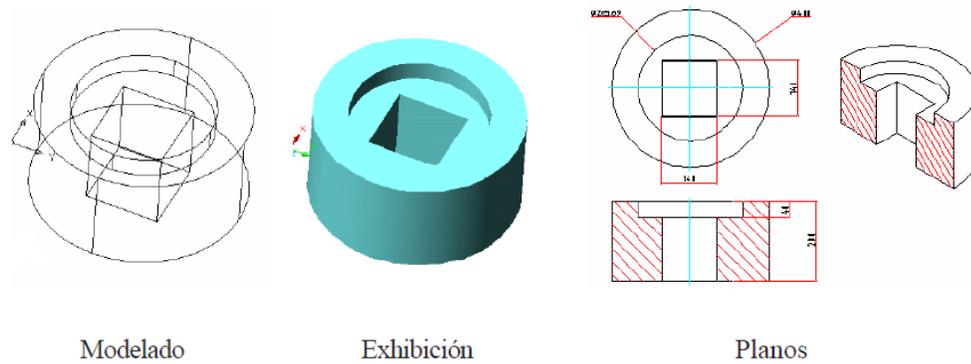
-CAM (*Computer Aided Manufacturing*): Manufactura asistida por computador.

-CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) Manufactura integrada por computador.

-FEA (*Finite Element Analysis*): Análisis por elementos finitos.

El avance vertiginoso del software y hardware, en estos últimos años ha modificado la forma de entender el concepto de CAD, actualmente se entiende como la integración del diseño y del análisis (CAD unida al CAE). En la figura 16 se muestra los usos del dibujo asistido por computadora.

**Fig 16. Usos del Dibujo Asistido por Computadora**



**Fuente: Rojas & Rojas, 2006**

Las características generales que deben tener el software CAD/CAE son:

- Simulaciones dinámicas con características especiales de visualización de procesos y resultados (representaciones foto realistas, tabulaciones, diagramas, giros, sonido, etc.).
- Capacidad del software de generar soluciones óptimas según los tipos de aplicación.
- Desarrollo de sistemas virtuales dentro de un entorno, permitiendo en muchos casos eliminar los prototipos físicos.
- Arquitectura abierta del software (posibilidad de personalizar y generar programas complementarios).
- Ingeniería inversa (obtener un modelo CAD a partir del escaneado tridimensional de una pieza real).
- Intercambio estandarizado de formatos de archivos para el trabajo multiplataforma.
- Pantalla de trabajo (workspace) compartidos con diferentes aplicaciones y programas adicionales.

La incorporación de la computada en la producción del elemento está permitiendo lograr la automatización integral de los procesos industriales así como una integración tecnológica de sus áreas. Es así que el software profesional está tendiendo a integrarse bajo un gran sistema CAD/CAM/CAE que ha puesto de relieve la importancia de automatizar informáticamente cualquier proceso industrial desde el diseño hasta la fabricación e incidirá de forma directa sobre el proceso de varias formas:

- Reducción de tiempos y mayor sencillez en la etapa de diseño.
  - Seguridad de un correcto funcionamiento debido a un simulado del prototipo.
  - Fácil integración en una cadena de fabricación y mejora en la gestión del proyecto.
  - Obtención de un producto económico, de óptima calidad y menor tiempo.
- 
- **Diseño Asistido por Computadora (CAD):** La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc.

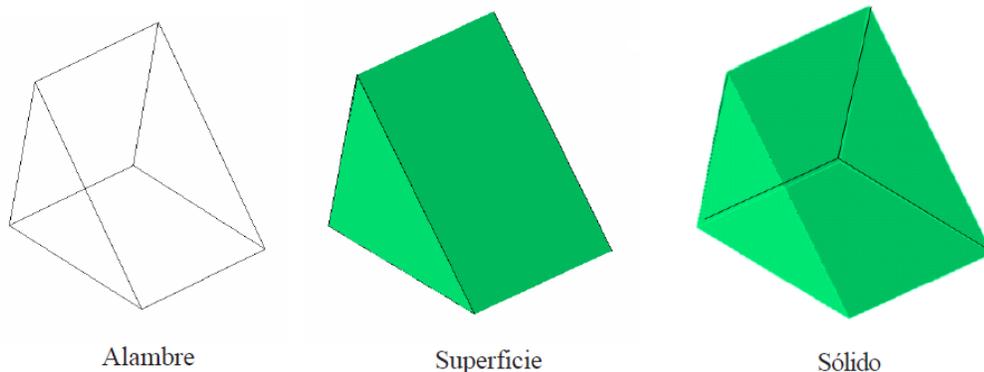
El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño.

Los modelos tridimensionales paramétricos creados en un sistema de CAD son:

- Modelo de alambre “wireframe” (información geométrica de entrada, usada para la representación de los vértices y aristas).
- De superficie (visualización y trabajos superficiales, usados en control numérico).
- Sólidos (análisis de ingeniería, se le asignan propiedades, son usados en el análisis con elementos finitos).

En la figura 17 se muestra los modelos tridimensionales paramétricos.

**Fig 17. Modelos Tridimensionales Paramétricos.**



**Fuente: Rojas & Rojas, 2006**

- **Ingeniería Asistida por Computadora (CAE):** CAE simula bajo condiciones aparentemente reales el efecto de variables sobre el elemento diseñado, con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada para ciertas condiciones. Es un modelado interactivo tridimensional en tiempo real con análisis mediante pruebas no destructivas.

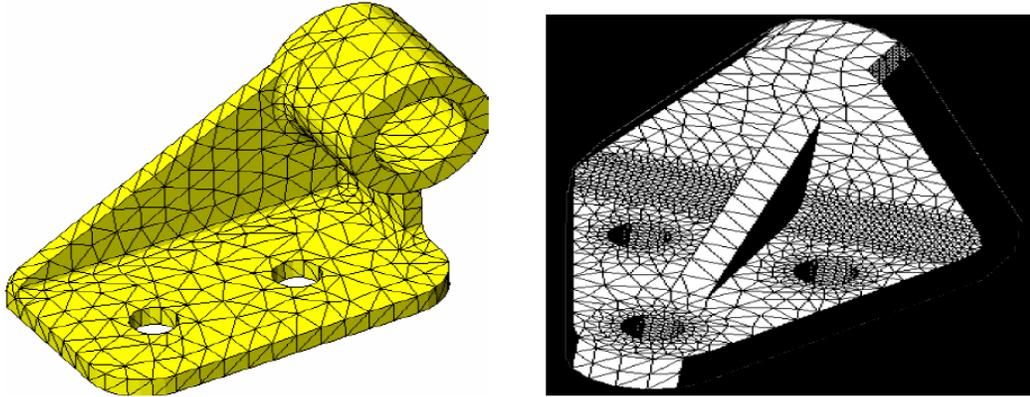
Los errores del análisis de los sistemas CAE ocurren comúnmente en la definición del problema y en el uso inapropiado de las condiciones de frontera. Los resultados obtenidos en CAE son aproximados y dependen de cómo se divida la estructura en elementos finitos (el tiempo de resolución del problema se incrementa geométricamente con la cantidad de elementos).

- **Análisis por Elementos Finitos (FEA):** El análisis por elementos finitos (FEA) ha ayudado a disminuir la cantidad de prototipos necesarios, fijar ciertos valores referenciales de coeficientes de seguridad y analizar distintas opciones de diseño cambiando la geometría o el material en un tiempo reducido.

El concepto básico del análisis por elementos finitos para una estructura radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente compuesta por un número finito de partes discretas (puntos interconectados entre sí llamados nodos y al conjunto se le conoce como malla) por medio de un mallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros, como se observa en la Figura 2.15), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límite del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y sus desplazamientos ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poisson, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez (stiffness matriz, - las ecuaciones que rigen el comportamiento de la malla regirán también para la estructura). De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de

ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito.

**Fig 18. Mallado en Análisis por Elementos Finitos.**



**Fuente: Rojas & Rojas, 2006**

El procedimiento para el cálculo de elementos finitos se detalla a continuación:

- 1) Determinar el fenómeno físico o problema a resolver y definir sus características.
- 2) Modelado geométrico del objeto (elaborado en un sistema CAD).
- 3) Trazado de las cargas que actúan sobre el objeto (concentradas o distribuidas)
- 4) Selección de las condiciones de equilibrio o restricciones.
- 5) Selección del material y sus propiedades.
- 6) Selección del mallado (Fino o grueso).
- 7) Correr el programa
- 8) Representar los resultados (gráficos y cuadros).
- 9) Optimización del resultado (mejorar pes, tamaño, tensiones y deformaciones).

10) Desarrollo de la solución factible.

En la tabla 6 se muestra diferentes tipos de análisis utilizando FEA.

**Tabla 6. Análisis con FEA.**

<b>Análisis</b>	<b>Detalle</b>
Propiedades Físicas, térmicas y mecánicas.	Resistencia, tamaño, volumen, peso, densidad, centro de gravedad, centro de rotación, transferencia de calor, conductividad térmica, electromagnetismo, plasticidad, flujo hidráulico, acústica, etc.
Mecanismos.	Movimientos, ensambles, interferencias, conexiones, cargas estáticas y dinámicas, etc.
Funcional.	Cumple con las especificaciones funcionales

**Fuente: Norton, 2008**

#### **2.1.2.2.2 Análisis de Esfuerzo, Deformación.**

El diseño de cualquier elemento de máquinas implica responder dos preguntas: ¿El elemento es resistente a las cargas aplicadas? y ¿Tendrá la suficiente rigidez para que las deformaciones no sean excesivas e inadmisibles? Las respuestas a estas preguntas implican el análisis de la resistencia y rigidez del elemento.

El dimensionamiento de partes depende de las cargas que soporte el elemento tales como esfuerzo, deformación y estabilidad.

- **Esfuerzo:** Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega

sigma ( $\sigma$ ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ec 4.

Dónde:

*P=Fuerza Axial, A= Área de la Sección Transversal*

Cabe destacar que la fuerza empleada en la Ec 4 debe ser perpendicular al área analizada y aplicada en el centroide del área para así tener un valor de  $\sigma$  constante que se distribuye uniformemente en el área aplicada. Las unidades de esfuerzo son [psi] o [Pa].

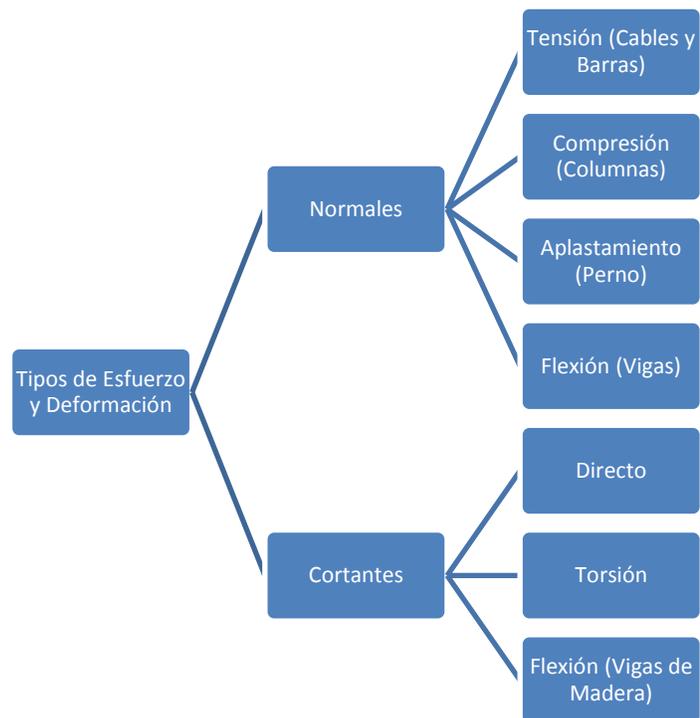
En una pieza sujeta a algunas fuerzas, los esfuerzos se distribuyen como una función continuamente variable dentro del continuo del material. Cada elemento infinitesimal en el material puede experimentar esfuerzos distintos al mismo tiempo. Por lo que se debe considerar los esfuerzos como actuando sobre elementos infinitesimalmente pequeños sobre la pieza. Estos elementos suelen modelarse cada uno como un cubo. Las componentes de los esfuerzos, se considera, actúan en la cara de estos cubos de dos maneras distintas:

- Esfuerzos normales actúan de manera perpendicular a la cara del cubo y tiene tendencia ya sea a tirar de él (esfuerzo a tensión normal), o a empujarlo (esfuerzo a compresión normal).

- Los esfuerzos cortantes actúan paralelos a las caras de los cubos, en pares sobre pares opuestos, lo que tiende a distorsionar el cubo en forma romboidal.

En la figura 19 se muestra los tipos de esfuerzo.

**Fig 19. Tipos de Esfuerzo.**



**Fuente: Norton, 2008.**

- **Deformación:** La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.

Una barra sometida a una fuerza axial de tracción aumentara su longitud inicial; se puede observar que bajo la misma carga pero con una longitud mayor este aumento o alargamiento se incrementará también. Por ello definir la deformación ( $\varepsilon$ ) como el cociente entre el alargamiento  $\delta$  y la longitud inicial  $L$ , indica que sobre la barra la deformación es la misma porque si aumenta  $L$  también aumentaría  $\delta$ . Matemáticamente la deformación sería:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Ec 5.

Como se observa en la Ec 5 la unidad de deformación es adimensional. En la región elástica de la mayor parte de materiales de ingeniería, el esfuerzo y la deformación están relacionados de manera lineal mediante la Ley de Hooke.

### 2.1.2.2.3 Flechas, Cuñas y Acoplamientos.

- **Flechas:** Casi toda la maquinaria rotatoria está dotada de flechas de transmisión o simplemente flechas, con el fin de transferir movimiento o par de torsión rotatorio de un sitio a otro. Por lo general, una flecha transmite a la maquina por lo menos un par de torsión proveniente de un dispositivo impulsor (motor, generador, etc.). Algunas veces, las flechas servirán de soporte para engranes, poleas o ruedas dentadas, mismas que transmiten un movimiento rotatorio de una a otra flecha, vía engranes, bandas o cadenas. La flecha podría ser parte integral del impulsor, como la flecha de un motor eléctrico o el cigüeñal de un motor de combustión interna. Las flechas, dependiendo de la

maquina están apoyadas sobre cojinetes, en configuración de simplemente apoyadas (montadas sobre silletas) en voladizo.

Para el diseño de flechas se pueden enunciar algunas reglas prácticas generales, como sigue:

1) A fin de minimizar tanto deflexiones como esfuerzos, la longitud de la flecha debe mantenerse tan corta como posible, minimizando secciones en voladizo.

2) Un viga en voladizo tendrá una mayor deflexión que una simplemente apoyada (montada sobre silletas) con la misma longitud, carga y sección transversal, por lo que deberá recurrirse al montaje en silleta, a menos de que por limitaciones de diseño sea obligatoria la flecha en voladizo

3) Una flecha hueca tiene una razón más elevada de rigidez-masa (rigidez específica) y frecuencias naturales más elevadas que una flecha sólida de rigidez y resistencia comparables, aunque son más costosas y de mayor diámetro.

4) De ser posible trate de localizar elevadores de esfuerzo lejos de áreas con grandes momentos a flexión, y minimice su efecto con radios y salidas generosos.

5) Si la preocupación principal es minimizar la deflexión, entonces el material preferido pudiera ser un acero al bajo carbono, ya que su rigidez es tan alta como la de aceros más costosos, y una flecha diseñada para bajas deflexiones tendrá tendencia a estar sometida a esfuerzos reducidos.

6) Las deflexiones en los engranes montados sobre la flecha no deben exceder de 0,005 in, y la pendiente relativa entre ejes de engranes debe ser menor de  $0.03^\circ$ .

7) Si se emplean cojinetes de manguito simples, la deflexión de la flecha a través de la longitud del cojinete debe ser inferior al espesor de la película de aceite en el cojinete.

8) Si se utilizan cojinetes de elementos giratorios excéntricos o de no auto cierre, la deflexión angular de la flecha en el cojinete deberá mantenerse por debajo de  $0,04^\circ$ .

9) Si están presentes cargas de empuje axial, deberán ser transferidas a tierra a través de un solo cojinete de empuje por cada dirección de carga. No divida las cargas axiales entre varios cojinetes de empuje, ya que la expansión térmica sobre la flecha puede sobrecargar dichos cojinetes.

10) La primera frecuencia natural de la flecha deberá ser por lo menos tres veces mayor que la frecuencia de la fuerza más alta esperada en servicio, y de preferencia mucho más.

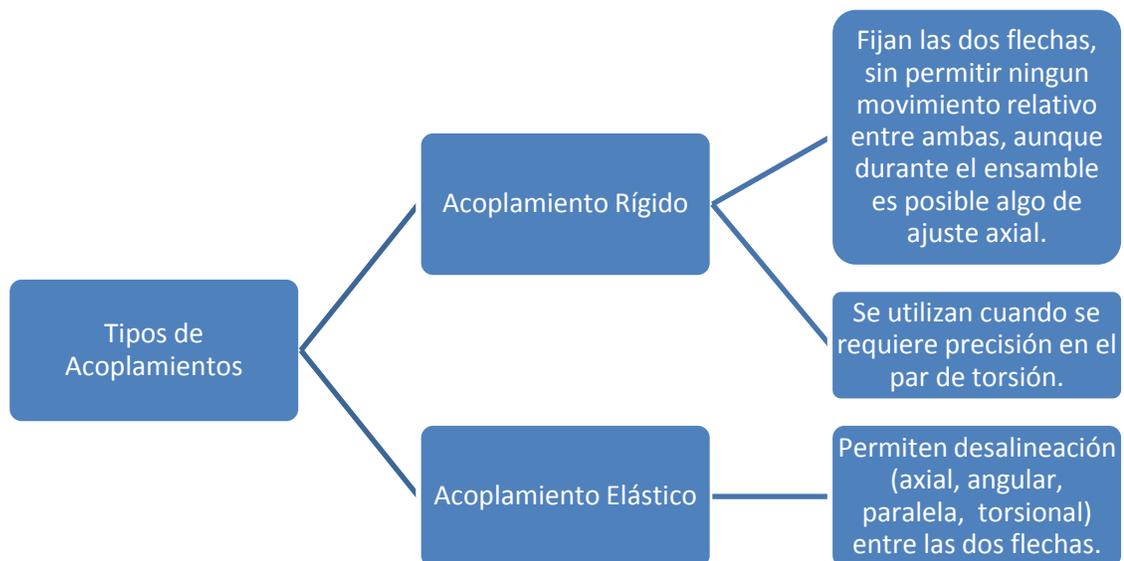
En las flechas nos preocupan tres tipos de vibraciones:

- 1) Vibración lateral
- 2) Balanceo de la flecha
- 3) Vibración torsional

Los dos primeros implican deflexiones a flexión, y el último, deflexión a torsión de la flecha.

- **Acoplamientos:** Están disponibles una amplia diversidad de acoplamientos comerciales para flechas, que van desde acoplamientos rígidos simples con cuña, hasta diseños elaborados que utilizan engranes, elastómeros o fluidos para transmitir el par de torsión de una flecha a otro, u otros dispositivos, en presencia de diversos tipos de desalineación. En la figura 20 se muestra las dos categorías más generales de acoplamientos y sus subdivisiones.

**Fig 20. Tipos de Acoplamientos.**



**Fuente: Norton, 2008**

#### 2.1.2.2.4 Tornillos y Sujetadores.

Los tornillos son elementos que tienen filetes enrollados en forma de hélice sobre una superficie cilíndrica y son unos de los elementos más utilizados en las máquinas. Podemos clasificar los tornillos, de acuerdo con la función que cumplen, en tornillos de unión y tornillos de potencia. Los tornillos de unión

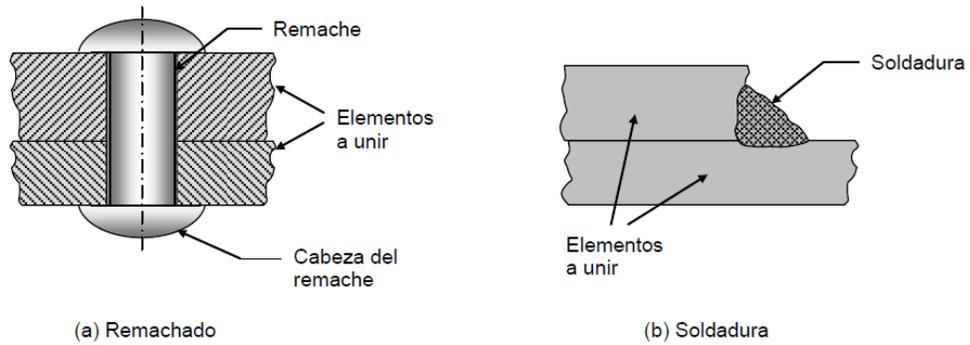
son los que sirven para unir o asegurar dos o más partes estructurales o de maquinaria, como es el caso de los tornillos, pernos, espárragos y tornillos prisioneros o de fijación. Los tornillos de potencia son aquellos destinados a la transmisión de potencia y movimiento; generalmente convierten un movimiento de giro en un movimiento de traslación.

Los tornillos se usan en estructuras, máquinas herramientas, vehículos, prensas y elementos de elevación, entre otros. En muchos casos, los tornillos están sometidos a cargas variables combinadas, por lo que debe aplicarse una teoría de falla por fatiga. Un tornillo puede fallar en el núcleo o en los filetes; se debe tener en cuenta el diámetro del tornillo, así como el número de filetes en contacto con la tuerca.

- **Métodos de Unión:** Los métodos de unión pueden ser permanentes, como la unión mediante remaches, soldadura y pegantes (figura 21), o semipermanentes o desmontables, como los tornillos de unión (tornillos, prisioneros o tornillos de fijación, pernos y espárragos), chavetas y pasadores (figuras 22). Como su nombre lo dice, los métodos de unión permanentes son aquellos en los que las piezas quedan unidas de una forma “permanente” o difícil de desmontar; por ejemplo, para desunir dos piezas remachadas, es necesario destruir los remaches. En los métodos de unión semipermanentes, el elemento que une puede montarse y desmontarse fácil y repetidamente, sin necesidad de destruirlo. Los tornillos y pernos de unión son métodos semipermanentes, y en esto radica su gran ventaja. Estrictamente hablando, la diferencia entre tornillo y perno es que el

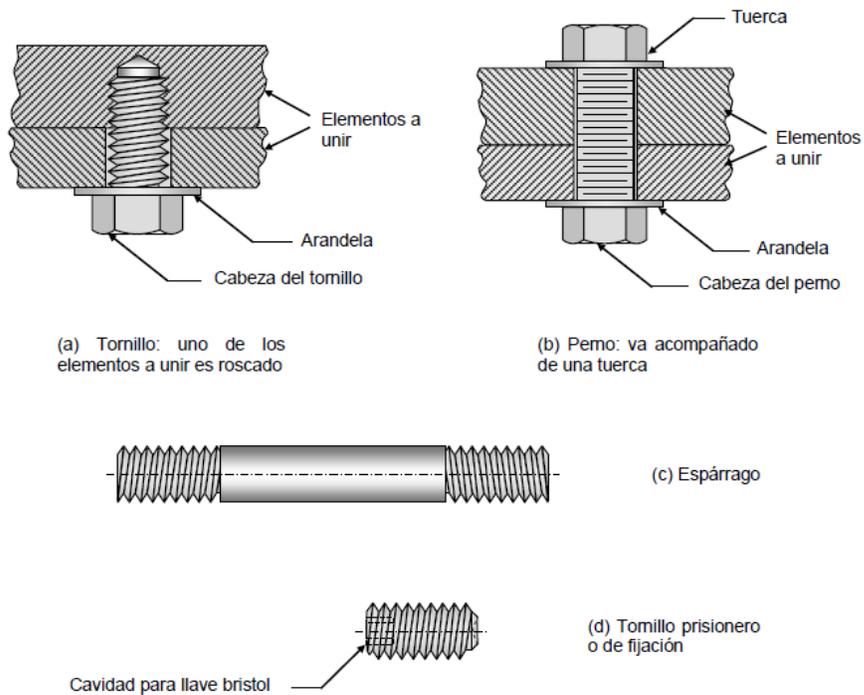
primero se introduce en una pieza roscada, mientras que el segundo va acompañado de una tuerca. En la práctica se suele utilizar, tal vez, el término tornillo para ambos casos.

**Fig 21. Métodos de Unión Permanente**



**Fuente: Shigley, 2007**

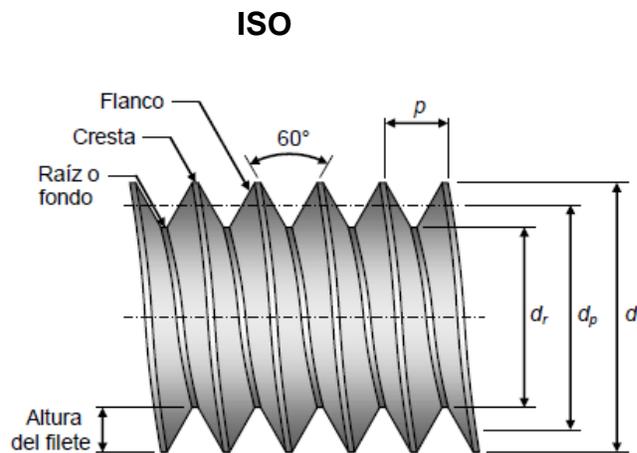
**Fig 22. Unión Semipermanente con Tornillo**



**Fuente: Shigley, 2007**

- **Roscas Normalizadas:** Hay dos tipos de roscas normalizadas para tornillos de unión, la serie de roscas unificada (Unified National Standard, UNS) y la serie de roscas métricas, la cual ha sido definida por la ISO. La figura 23 muestra la forma y las dimensiones de las roscas UNS y métricas; las formas de estos tipos de roscas son similares, pero como las dimensiones son diferentes, éstas no son intercambiables.

**Fig 23. Forma y dimensiones de las roscas UNS y métricas estándar de**



**Fuente: Shigley, 2007**

Dónde:

$p$ =Paso.

$N_h$ : Número de hilos por pulgada.

$d$ : diámetro mayor (nominal).

$D_p$ =diámetro de paso.

$D_r$ = diámetro menor o de raíz.

### 2.1.2.3 Sistemas eléctricos/electrónicos

#### 2.1.2.3.1 Sensores

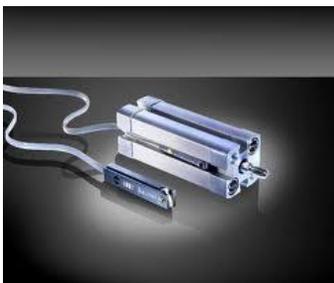
Los sensores los podemos definir como dispositivos electrónicos que convierten una variable física a un correspondiente valor eléctrico, este valor eléctrico puede estar en términos de la corriente, voltaje o resistencia. Los sensores a su vez pertenecen a los elementos de entrada de datos de un sistema de control automático. Estos dispositivos se clasifican en dos categorías que son:

- **Sensores Discretos:** Conocidos como sensores digitales, genera un “1” lógico si detectan, o un “0” lógico si no detectan, esta información es originada principalmente por presencia de voltaje o por ausencia de este, aunque en algunos casos la información nos la reportan por medio de un flujo de corriente eléctrica. Pueden operar tanto con señales de voltajes de corriente directa (VCD) como con señales de voltajes de corriente alterna (VCA).

En la figura 24 se muestra ejemplos de sensores discretos.

**Fig 24. Tipos de Sensores Discretos.**

**a. Sensor Magnético**



**b. Sensor Inductivo**



**c. Sensor Óptico**



**d. Sensor Capacitivo**



**Fuente: Propia**

- **Sensores Analógicos:** Pueden presentar como resultado un número infinito de valores, mismos que pueden representar las diferentes magnitudes que estén presentes de una variable física, por lo tanto en los sensores analógicos su trabajo se representa mediante rangos, por ejemplo, de 0V a 1.5V y dentro de este rango de posibles valores que puede adquirir la señal del sensor, está comprendido el rango de medición que le es permitido al sensor de medir una variable física.

La señal que entrega puede representarse mediante variaciones de una señal de voltaje o mediante variaciones de un valor resistivo.

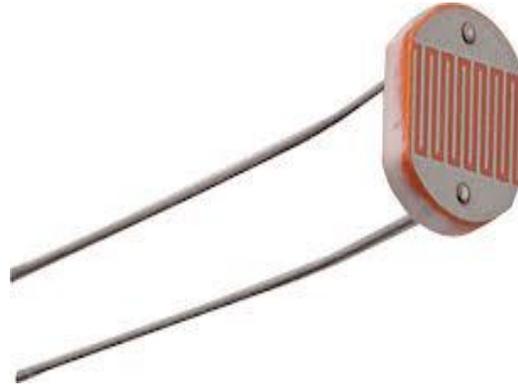
En la figura 25 se muestra algunos tipos de sensores analógicos.

**Fig 25 Tipos de Sensores Analógicos.**

**e. Sensor de Nivel  
Ultrasónico**



**f. Sensor LDR**



**g. Sensor de  
Temperatura**



**h. Sensor de Velocidad**



**Fuente: Propia**

#### **2.1.2.3.2 Actuadores Eléctricos.**

Son dispositivos encargados de efectuar acciones físicas ordenadas por algún sistema de control. Esta acción física puede ser un movimiento lineal o un movimiento circular según sea el caso. Se le da el nombre de actuadores

eléctricos cuando se usa la energía eléctrica para que se ejecuten sus movimientos.

Los actuadores eléctricos son utilizados en bandas transportadoras, ascensores de poco peso, los mismos que se requiere una precisión y un desplazamiento no muy brusco ni rápido.

- **Motores de Corriente Continua (DC):** El motor de corriente continua (Figura 26), es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotativo. Esta máquina es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, par y velocidad, lo han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Presentan diferentes características de tamaño, forma y potencia, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.

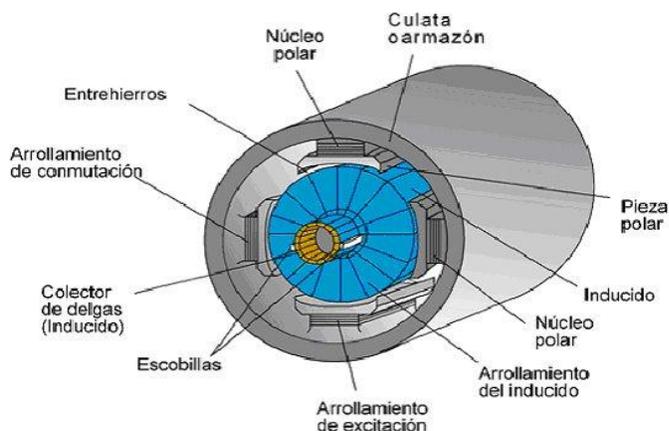
**Fig 26. Motor de Corriente Continua DC.**



**Fuente: Sitio Web, Motores Wondermotor, 2013**

En la figura 27 se muestra la descripción de las partes principales de un motor DC.

**Fig 27. Partes de un Motor DC**



**Partes Principales**

Inductor o Estator:

**Descripción**

Es un electroimán formado por un número par de polos. Las bobinas que los arrollan son las encargadas de producir el campo inductor al circular por ellas la corriente de excitación.

Inducido o Rotor:

Es una pieza giratoria formada por un núcleo magnético alrededor del cual va el devanado de inducido, sobre el cual actúa el campo magnético.

Colector de Delgas:

Es un anillo de láminas de cobre llamadas delgas, dispuesto sobre el eje del rotor que sirve para conectar las bobinas del inducido con el circuito exterior a través de las escobillas.

Escobillas:

Son unas piezas de grafito que se colocan sobre el colector de delgas, permitiendo la unión eléctrica de las delgas con los bornes de conexión del inducido.

**Fuente: Núñez & Jácome, 2011**

### 2.1.2.3.3 Diseño de PCB's

Para la elaboración de circuitos impresos se utiliza la norma IPC 2221 donde se detallan principios y recomendaciones que deben ser usados junto con los requerimientos detallados de un estándar específico. Todas las dimensiones y tolerancias se expresan en unidades del SI.

Diseñar el circuito implica diseñar las características físicas y seleccionar el material balanceando el desempeño eléctrico, mecánico y térmico, así como la confiabilidad, manufactura y el costo.

La norma identifica los principios genéricos de diseño físico, y es complementado por varios documentos de la sección que proporcione detalles y mayor atención a aspectos específicos de la tecnología de placa de circuito impreso. Algunos ejemplos son:

- IPC-2222 rígido orgánicos placa de circuito impreso diseño de la estructura.
- IPC-2223 placa de circuito impreso flexible diseño de la estructura.
- IPC-2224 Orgánica, el formato de tarjeta de PC, la estructura de placa de circuito impreso diseño.
- IPC-2225 Orgánica, MCM-L, la estructura de placa de circuito impreso diseño.
- IPC-2226 de alta densidad de interconexión (IDH) de la estructura diseño.
- IPC-2227 Orgánica diseño de la placa con cableado discreto.

A continuación, se detalla algunas recomendaciones de la norma IPC 2221:

- Es importante tener en cuenta y seguir las normas para el diseño y elaboración de las placas.
- Al realizar un circuito análogo – digital se debe realizar por separado.
- Es prudente mantener las distancias establecidas y prudentes para el diseño de pistas, como separaciones entre elementos.
- Se debe considerar el diseño de fuentes y tierras para la alimentación y descarga del circuito.
- Es importante diferenciar las señales críticas, no críticas, supercríticas, ya que cada una tiene distinta importancia en el circuito.
- Se debe considerar el aislamiento y el recubrimiento de la placa con esmalte de protección de placas para evitar la corrosión de los caminos

#### **2.1.2.4 Sistemas de Control**

##### **2.1.2.4.1 Controlador Lógico Programable (PLC)**

El término “Controlador Lógico Programable” es definido como sigue por la norma: IEC 61131-1:

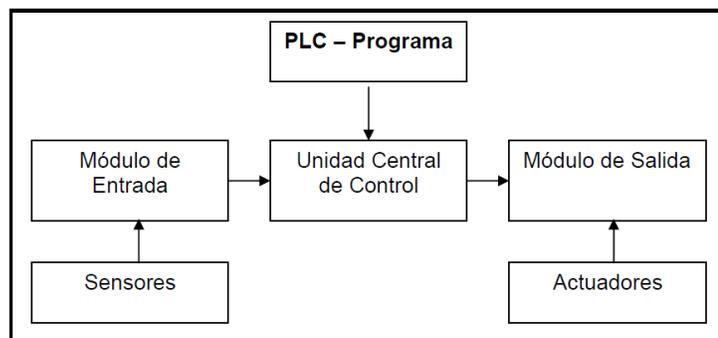
“Un sistema electrónico digitalmente operando, diseñado para el uso en un ambiente industrial que usa una memoria programable para el almacenamiento interior de instrucciones orientadas para llevar a cabo las funciones específicas como la lógica de secuencia, cronometrado, conteo, y aritmética; para controlar a través de las entradas digitales o analógicas y rendimientos, los varios tipos de máquinas o procesos”.

Se diseñan el PC y sus periféricos asociados para que ellos puedan integrarse fácilmente en un sistema del mando industrial y fácilmente puedan usarse en todas sus funciones intencionales.

Un controlador lógico programable es por consiguiente nada más que una computadora, que apunta a las tareas del mando específicas con toda seguridad.

- **Sistemas y componentes de un PLC:** El PLC está compuesto por tres módulos principales que son, módulo de entrada (sensores), unidad central de control y módulos de salida (actuadores), como se muestra en la figura 28.

**Fig 28. Componentes de un PLC.**



**Fuente: Tixi, 2009**

La función de un módulo de entrada es convertir las señales de entrada en señales que pueden procesarse por el PLC y pasar estos a la unidad del mando central. La tarea inversa es realizada por un módulo de salida. Este convierte las señales del PLC en señales convenientes para los actuadores.

El proceso real de las señales se efectúa en la unidad de mando central de acuerdo con el programa guardado en la memoria. El programa de un PLC

puede crearse de varias maneras, de acuerdo a los lenguajes de programación existentes.

Dependiendo cómo la unidad del mando central esté conectada a los módulos de entrada y salida, puede hacerse la diferenciación entre PLCs compacto (el módulo de la entrada, unidad de mando central y módulo de salidas que se alojan en uno solo) o PLCs modular como se muestra en la figura 29.

**Fig 29. Tipos de PLCs**

**a) Compacto**



**b) Modular**



**Fuente: Catálogo Siemens, 2012**

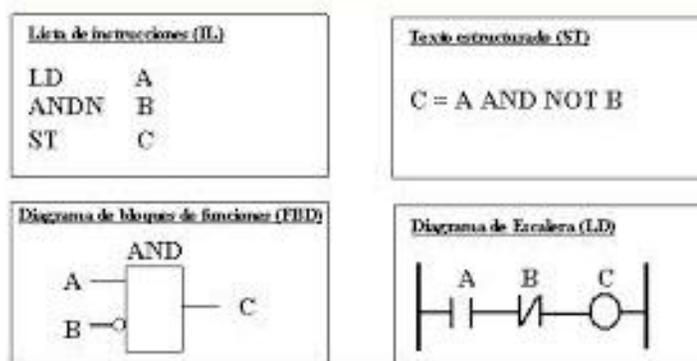
- **Lenguajes de Programación:** La norma EN 61131-3 (IEC 61131-3) define cuatro lenguajes de la programación, aunque la funcionalidad y estructura de estos lenguajes son muy diferentes. Los lenguajes pueden mezclarse de forma alguna dentro de un proyecto de PLC. En la tabla 7 se muestra los lenguajes de programación.

**Tabla 7. Lenguajes de Programación.**

<b>Literales</b>	<b>Gráficos</b>
Lista de Instrucciones (IL)	Diagrama de contactos (Ladder)
Texto Estructurado (ST)	Diagrama de bloques funcionales (FBD)

**Fuente: Propia**

**Fig 30. Lenguajes IEC-1131-3**



**Fuente: Norma IEC-1131-3**

En la figura 30, los cuatro programas describen la misma acción. La elección del lenguaje de programación depende de:

- Los conocimientos del programador.
- El problema a tratar.
- El nivel de descripción del proceso.
- La estructura del sistema de control.
- La coordinación con otras personas.

Los cuatro lenguajes están interrelacionados y permiten su empleo para resolver conjuntamente un problema común según la experiencia del usuario.

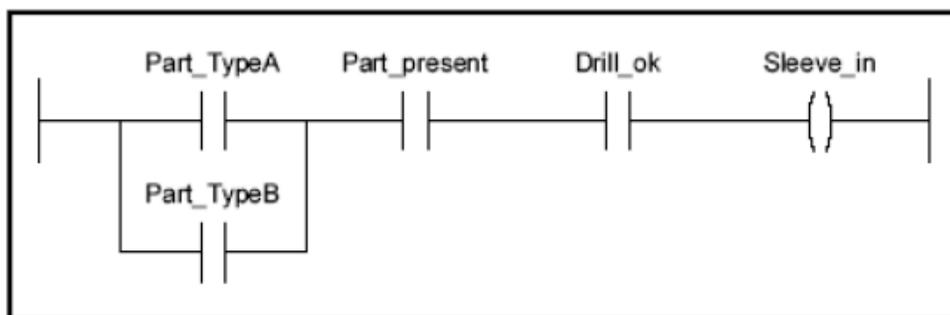
- **Lenguaje por lista de instrucciones (IL):** Está basado en un listado de símbolos nemotécnicos cercanos al lenguaje máquina. Se escribe en forma

de texto, utilizando caracteres alfanuméricos para definir las líneas de operaciones lógicas. Suele ser un lenguaje potente, aunque es más complejo que los lenguajes gráficos.

- **Texto estructurado (ST):** Es un método de programación orientada a objetos, en el cual los programas son organizados como colecciones, cada una de las cuales representa una instancia de alguna clase, y cuyas clases son todas miembros de una jerarquía de clases unida por relaciones de herencia.

- **Diagrama Ladder:** Es un lenguaje de la programación gráfica, derivado del diagrama de circuitos de conexión directa de los relés de control. El diagrama ladder contiene contactos de relés a la izquierda y derecha del diagrama; estos contactos de relés son conectados como elementos de maniobra (normalmente abierto/normalmente cerrado) mediante rutas de corrientes y elementos de bobina. En la figura 31 se muestra un ejemplo de diagrama ladder.

**Fig 31. Diagrama Ladder.**

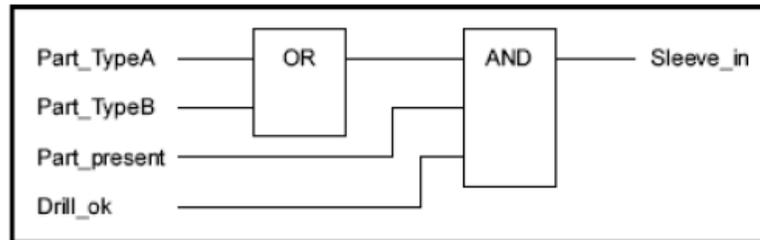


**Fuente: Norma IEC-1131-3**

- **Diagrama de bloque de función (FBD):** En el diagrama de bloque de función, se representan las funciones y bloques de la función gráficamente e interconectó en las redes. El diagrama de bloque de funciones se origina desde

los diagramas lógicos para circuitos electrónicos, como se observa en la figura 32.

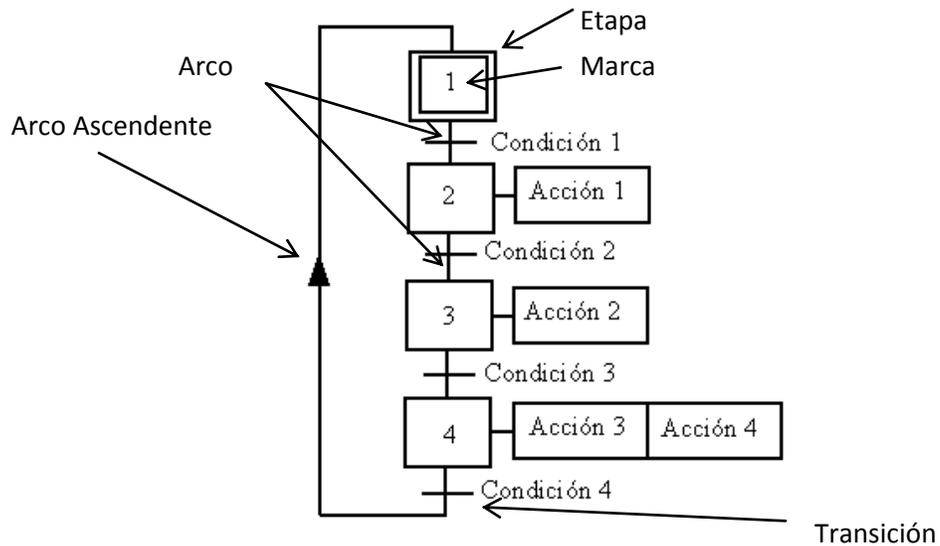
**Fig 32. Diagrama Bloque de funciones.**



**Fuente: Norma IEC-1131-3**

#### 2.1.2.4.2. GRAFCET

Un GRAFCET (Grafico de Orden Etapa Transición) es una secuencia de etapas que tienen asociados unas determinadas acciones a realizar sobre el proceso junto con las condiciones o transiciones que provocan que se produzca de una etapa a otra. Se encuentra normalizado por la International Electrotechnical Commission IEC 848 y es una de las mejores herramientas para representar automatismos secuenciales. En la figura 33 se muestra un ejemplo de diagrama Grafcet.

**Fig 33. Diagrama Grafcet****Fuente: Propia**

El Grafcet es un método gráfico de modelado de sistemas de control secuenciales. Describe la evolución de un proceso que se pretende controlar, indicando las acciones que hay que realizar sobre dicho proceso y que informaciones provocan al realizar una u otra acción.

#### 2.1.2.4.3. Sistemas de Visión Artificial.

El control de calidad en las industrias es muy complicado debido a tamaño de las piezas, componentes mal insertados, etc. Por este motivo, y si la producción es elevada, un sistema de visión artificial para el control de calidad es muy recomendable. En consecuencia, la industria demanda sistemas de este calibre para este tipo de sectores tecnológicos.

La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes,

memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados.

Con la visión artificial se pueden:

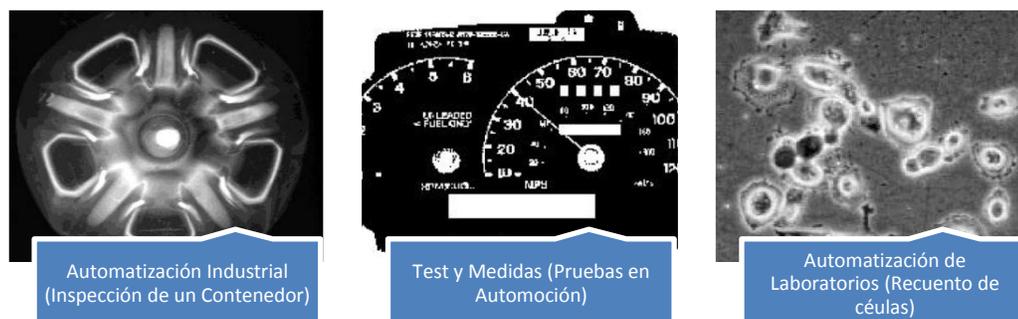
- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Realizar la inspección del 100% de la producción (calidad total) a gran velocidad.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.
- Realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción.

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria actual son:

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos (guiado de robots)
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales.

Son varias las industrias clave en las aplicaciones de sistemas de visión artificial (figura 34).

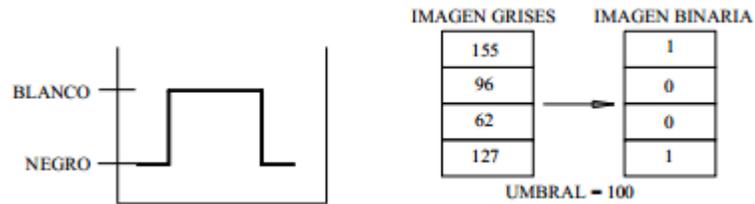
**Fig 34. Aplicaciones de Visión artificial.**



**Fuente: Propia.**

- **Método de Captación de Imagen Digital:** La función obtenida tras el resultado de la medida o muestreos realizados a intervalos de tiempo espaciados regularmente, siendo el valor de dicha función un número positivo y entero. Los valores que esta función toma en cada punto dependen del brillo que presenta en esos puntos la imagen original.
  - **Píxel:** Una imagen digital se considera como una cuadrícula. Cada elemento de esa cuadrícula se llama Píxel (Picture element). La resolución estándar de una imagen digital se puede considerar de 512x484 Pixel.
  - **Nivel de grises:** Cuando una imagen es digitalizada, la intensidad del brillo en la escena original correspondiente a cada punto es cuantificada, dando lugar a un número denominado “nivel de gris”.
  - **Imagen binaria:** Es aquella que sólo tiene dos niveles de gris: negro y blanco. Cada píxel se convierte en negro o blanco en función del llamado nivel binario o UMBRAL. (figura 35).

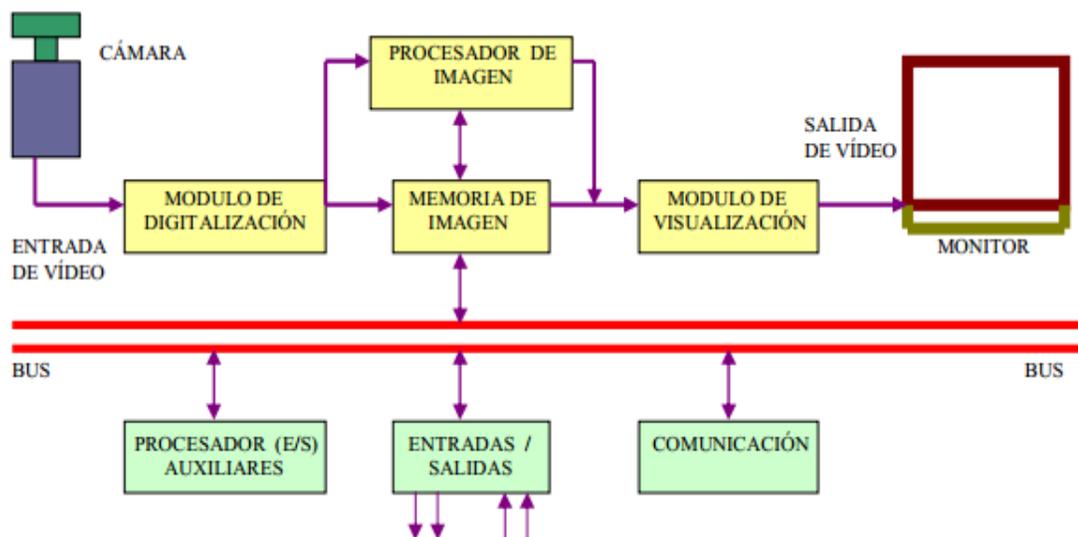
Fig 35. Imagen Binaria



Fuente: Tixi, 2009.

- Escena: Es un área de memoria donde se guardan todos los parámetros referentes a la inspección de un objeto en particular: Cámara utilizada, imágenes patrón memorizadas, tolerancias, datos a visualizar, entradas y salidas de control, etc.
- Windows (ventana de medida): Es el área específica de la imagen recogida que se quiere inspeccionar.
- **Diagrama de Bloques:** En la figura 36 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de visión artificial.

Fig 36 Diagrama de Bloques Visión Artificial



Fuente: Tixi, 2009

- Módulo de digitalización: Convierte la señal analógica proporcionada por la cámara a una señal digital (para su posterior procesamiento).
- Memoria de imagen: Almacena la señal procedente del módulo de digitalización.
- Módulo de visualización: Convierte la señal digital residente en memoria, en señal de vídeo analógica para poder ser visualizada en el monitor de TV.
- Procesador de imagen: Procesa e interpreta las imágenes captadas por la cámara.
- Módulo de entradas/salidas: Gestiona la entrada de sincronismo de captación de imagen y las salidas de control que actúan sobre dispositivos externos en función del resultado de la inspección.
- Comunicaciones: Vía I/O, Ethernet, RS232 (la más estándar).

### **2.1.3 Software para los módulos.**

En los módulos del sistema de producción didáctico se empleará el siguiente software (figura 37) para el funcionamiento del mismo:

- Software Sistemas Neumáticos (automation, fluidsim, etc.)
- Software Sistema de Visión Artificial (Labview, BridgeView, Labwindows, etc.)
- Software Programación de Controladores (Simatic S7, Rockwell Automation, etc.).

**Fig 37 Software para los módulos.**



**Fuente: Propia**

## 2.2 Flexibilidad

La flexibilidad es la capacidad de los sistemas a reacondicionarse de acuerdo a las necesidades de la planta o los requerimientos del usuario, de esta manera, se logra la optimización de los procesos. La flexibilidad requiere de un diseño minucioso y es actualmente el principal objetivo del proceso de automatización de una industria.

### 2.2.1 Requisitos.

Los principales requisitos para que un sistema de producción modular sea flexible son:

- Se debe usar un software común para que se puedan integrar los diferentes sistemas.
- El funcionamiento y manipulación del módulo debe ser lo más sencillo posible, de esta manera, los usuarios se familiaricen rápidamente con el proceso.

- Las estaciones de cada módulo deben tener la capacidad de ser montadas y desmontadas fácilmente, según la práctica de laboratorio que se desee realizar.
- Los controladores deben ser programados de distinta manera, según los conocimientos del estudiante o usuario.
- Permitir el uso de varios controladores para los distintos módulos del sistema.

### **2.2.2 Prestaciones.**

Las prestaciones de un sistema de producción modular didáctica son:

- Los estudiantes son capaces de modificar los sistemas técnicos existentes para que sólo asuman sus funciones básicas.
- Obtener una formación básica sólida y general que, tenga en cuenta los trabajos específicos que se realizan en la industria.
- Promover la capacidad de los alumnos para adquirir conocimientos por medios autodidácticos.
- Promover la competencia de actuar profesionalmente, para lo que es necesario disponer de conocimientos técnicos y, además, ser competente en materia de métodos y relaciones humanas.
- El profesor no dicta clases impartiendo la materia, sino, crea situaciones reales de producción industrial a las que los estudiantes tienen que enfrentarse.

- Equipar un laboratorio de Automatización Industrial con el fin de contar con un equipo capaz de ser usado para la formación profesional de sus usuarios, además, realizar demostraciones del funcionamiento del módulo a empresas que se encuentren interesadas en la construcción de módulos similares. De esta manera, permitir que los estudiantes se familiaricen con un ambiente industrial real previa la obtención de un título universitario.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LOS SISTEMAS MODULARES

#### 3.1 Introducción

El sistema modular de producción didáctico para el laboratorio de AIM ha sido denominado SPM-V1ZR, que incluye las estaciones de cargador, validación de peso, pick & place, cinta transportadora y contador de piezas, fue concebido para que los estudiantes se familiaricen con sistemas técnicos automatizados. Con el SPM-V1ZR es posible simular de modo muy realista los sistemas utilizados en la práctica industrial. Sus estaciones parciales están relacionadas de tal manera que puedan servir como medios didácticos complejos y realistas.

El SPM-V1ZR, es un modelo desmontable, que permite al estudiante modificar y adaptar los componentes para que cumplan diversos criterios de funcionamiento, puede aprovecharse tanto para el análisis como para la síntesis de sistemas técnicos. En lo que al análisis se refiere, el modelo puede dividirse en varias estaciones si el proceso pedagógico lo amerita.

Utilizando el SPM-V1ZR o cualquiera de sus partes, es posible relacionar entre sí la teoría y la práctica, de manera que, el estudiante no entienda la práctica únicamente mediante imágenes y descripciones. Más bien es necesario que establezca contacto directo con sistemas reales, experimente su funcionamiento y se ejercite en la solución de tareas.

Con SPM-V1ZR es posible transmitir los siguientes contenidos didácticos prácticos y teóricos, relacionados con la técnica de la automatización:

- Sistemas de control
- Fundamentos de sensores y detectores
- Relación entre detectores y actuadores en sistemas técnicos
- Funciones lógicas básicas
- Principios básicos de la programación de los sistemas automáticos.

También, soluciona las siguientes tareas:

- Estación cargador: Alimentar piezas.
- Estación validación peso: El peso de las piezas es validado a través de una balanza mecánica.
  - Estación Pick & Place: Las piezas con el peso adecuado, son recogidas y montadas en la siguiente estación.
  - Estación banda transportadora: Las propiedades físicas de las piezas son detectadas mediante sensores de distintas clases y clasificadas a través de actuadores neumáticos.
  - Estación Contador Piezas: Las piezas son enumeradas en cada estación mediante un sistema de visión artificial.

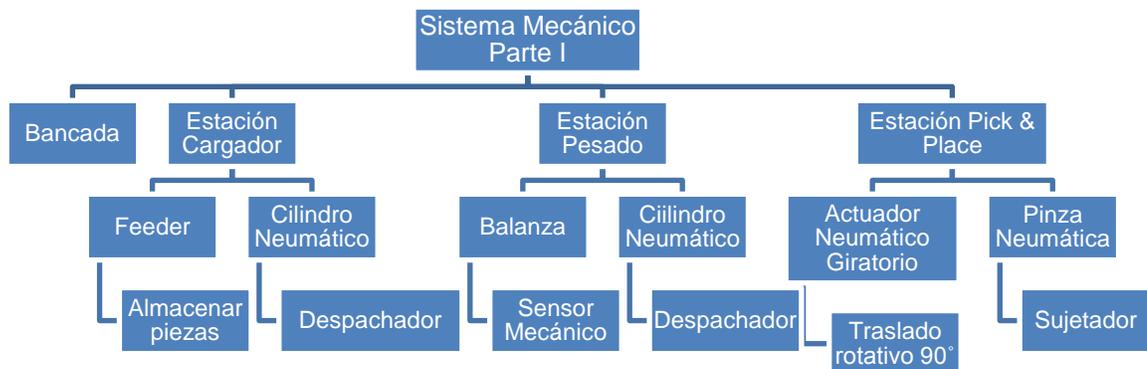
El procedimiento para diseñar el control del SPM-V1ZR al ser modular, depende del nivel de complejidad requerido por el instructor de laboratorio de AIM.

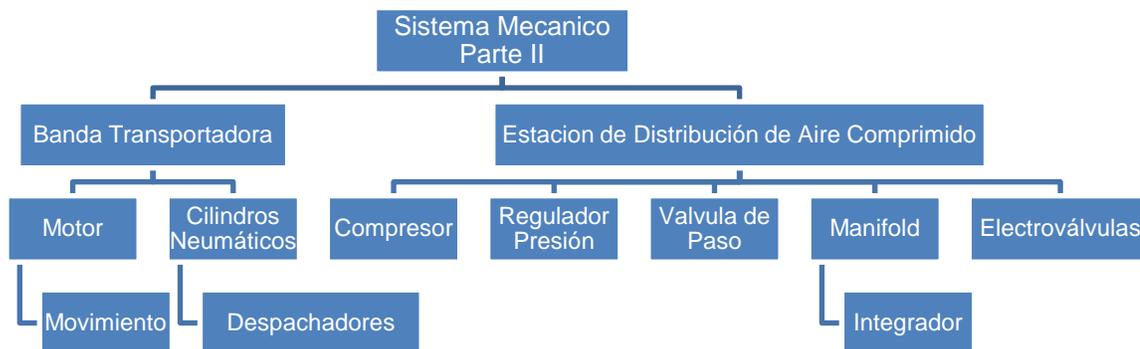
### 3.2 Sistema Mecánico

Los sistemas mecánicos constituyen la primera etapa para el desarrollo de un sistema Mecatrónico. Estos sistemas requieren de un diseño y análisis que considere los componentes o actuadores eléctricos, neumáticos y electrónicos, para luego ser construidos.

En el presente capítulo se plantea el diseño mecánico de la estructura, mecanismos y partes constitutivas que darán forma al SPM-V1ZR. En la figura 38 se muestra un diagrama de funciones de los componentes del sistema mecánico.

**Fig 38. Diagrama de funciones del sistema mecánico**





**Fuente: Propia**

El diseño CAD CAE del modelo mecánico ha sido elaborado en Solid Works, programa informático especializado en diseño que permite realizar diseño de elementos, ensambles, análisis de esfuerzos, entre otros.

Luego del diseño y análisis se determina los materiales adecuados para su manufactura y los mecanismos adecuados para dar la forma del diseño, ya sea por medio de máquinas manuales, máquinas herramientas convencionales y procesos CAM.

### 3.2.1 Bancada o Mesa de Montaje

La Mesa de montaje del SPM-V1ZR constituye el soporte donde irán montados y asentados tanto los elementos mecánicos como eléctricos-electrónicos. El objetivo del módulo SPM-V1ZR es ser modular, es decir, permitir extraer y montar los elementos de las estaciones tantas veces sean

necesarios y dependiendo de los requerimientos didácticos del instructor del laboratorio de AIM, esto gracias al diseño de fácil montaje y desmontaje de cada elemento utilizando pernos, tuercas, rodela, etc.

Se ha tomado como referencia inicial para el diseño, las dimensiones de las placas perfiladas de aluminio FESTO (figura 39) utilizadas en el laboratorio de instrumentación industrial para montar distintas clases de sensores y actuadores utilizados para el aprendizaje de los estudiantes, ya que poseen la base con la misma estructura de las estaciones MecLab del laboratorio AIM, pero varían las dimensiones, siendo las de instrumentación las de mayor tamaño (1100 x 700 mm).

**Fig 39. Placa perfilada de aluminio FESTO**



**Fuente: Sitio web de FESTO, 2013**

Previo al diseño y construcción de la estructura de la bancada es necesario realizar una matriz de decisión para conocer las ventajas y desventajas entre diseñar y construir una mesa de montaje o adquirir una existente en el mercado como la indicada en la figura 3.2.

Para tomar una decisión acertada se ha considerado poner en evaluación los siguientes aspectos: costo y tiempo de fabricación, fiabilidad, y simplicidad de sujeción, como se observa en la tabla 8.

**Tabla 8. Matriz de decisión mesa de montaje.**

Factor	Factor de ponderación	Bancada FESTO	Bancada Fabricada
<b>COSTO</b>	4	5	9
		2	3.6
<b>TIEMPO</b>	1	7	9
		0.7	0.9
<b>FIABILIDAD</b>	2	9	8
		1.8	1.6
<b>SIMPLICIDAD DE SUJECIÓN</b>	3	9	7
		2.7	2.1
<b>TOTAL</b>	10	7.2	<b>8.2</b>

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores de selección se ha tomado como criterio la evaluación numérica entre valores de 5-10, siendo 5 un valor negativo para el elemento que se va seleccionar y 10 un factor favorable. Por ejemplo, el factor costo tiene un valor de 5 para la opción Bancada FESTO lo cual significa que es muy costosa y 9 para la opción Bancada Fabricada que representa que el precio de manufactura es muy conveniente.

De los factores seleccionados el de mayor ponderación es el costo, lo que indica que es mucho más conveniente fabricar la bancada que adquirirla a la firma oficial.

La adquisición es más rápida si se la fábrica, ya que FESTO no tiene disponible todos los productos de su catálogo, y en ocasiones los tiene que importar, lo que significa una retraso moderado en el futuro ensamble del SPM-V1ZR.

La fiabilidad de los FESTO es superior por los altos niveles de calidad en las líneas de producción, así como la simplicidad de sujeción de los elementos.

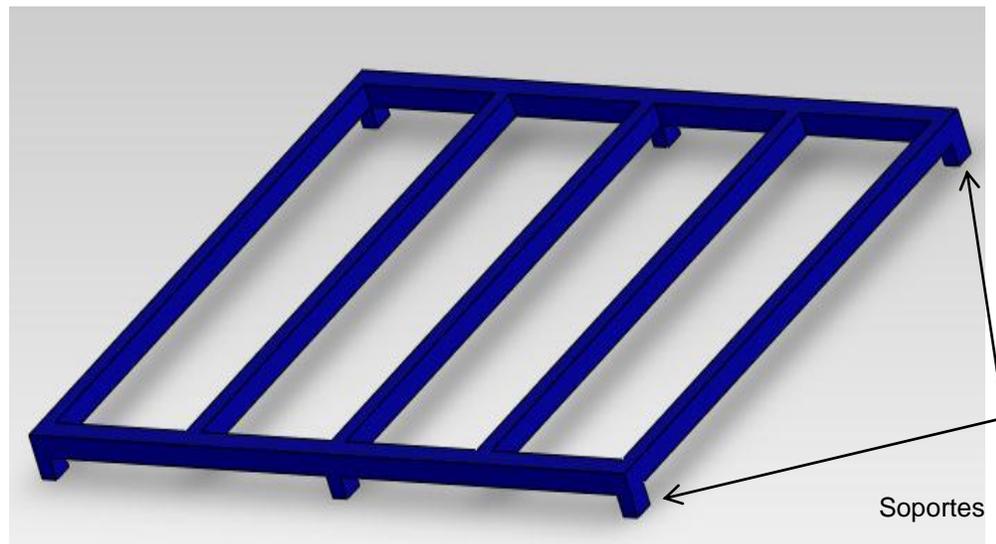
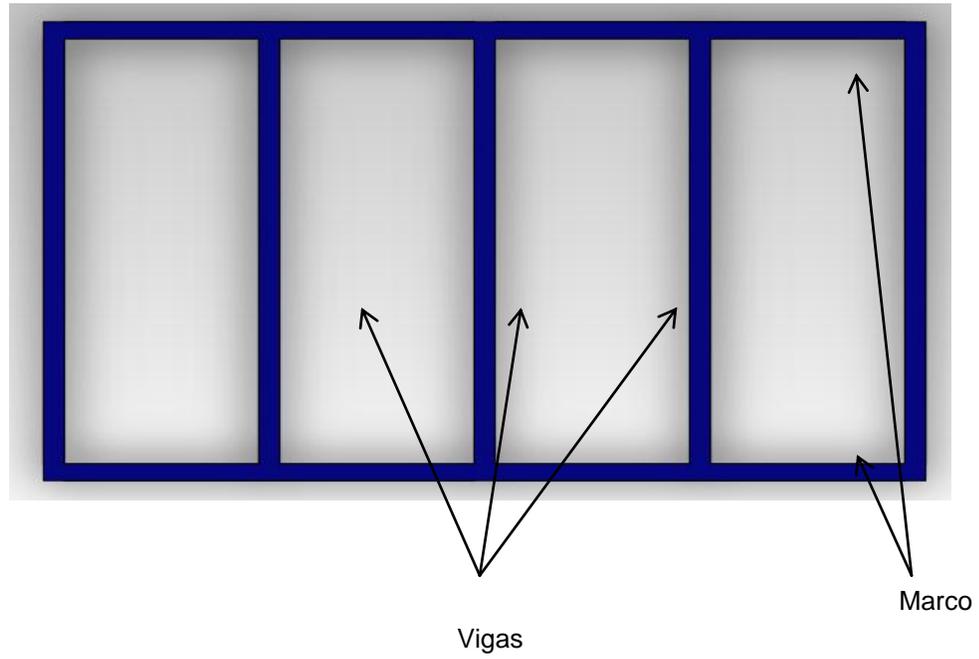
### **3.2.1.1 Diseño CAD de la Bancada o Mesa de Montaje**

Una vez analizadas las ventajas que representa fabricar la mesa de montaje, se procederá a diseñar la estructura de la misma, recurriendo a las herramientas de diseño (CAD CAE) que permitan obtener un producto capaz de acoger en su superficie a todos los elementos inmersos en el proceso del SPM-V1ZR, por tanto, debe ser robusta, capaz de soportar el peso total de todos los componentes sin que esta se deforme, manteniendo a los elementos fijos en la posición montada inicialmente, tanto en operación estática como dinámica de los mismos.

#### **3.2.1.1.1 Diseño de la Estructura (CAD)**

La Estructura de la mesa de montaje ha sido diseñada en las dimensiones 1200 x 800 mm (VER ANEXO A) en la configuración de marco rectangular con vigas de distribución de esfuerzos a lo largo de su longitud y soportes esquineros para fijar en una plataforma de trabajo tal como se observa en la figura 40.

**Fig 40. Diseño CAD mesa de montaje**



**Fuente: Propia**

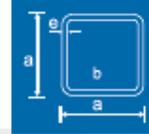
### 3.2.1.1.2 Selección del material para la Estructura

Para seleccionar el material de la estructura de la mesa de montaje se ha recurrido a establecer en los centros de venta y atención al cliente un tubo estructural rectangular que sea comercial y universal para aplicaciones industriales, además que cumpla con las dimensiones de diseño, de tal manera se ha procedido a adquirir el acero ASTM A-500 - NTE INEN 2415 de 30 x 30 mm o 1 ¼" x 6 m de longitud con un espesor de 2 mm fabricado por la empresa NOVACERO S.A como se observa en la figura 41, de adquisición común en el mercado ecuatoriano.

**Fig 41. Selección del material para la estructura**



## • 2 Tubos Cuadrados



Denominación	Espesor		Peso	
	a	e	P	P
pulg.	mm	mm	Kg/m	Kg/6m
3/4	20	1,50	0,88	5,26
1	25	1,50	1,13	6,78
		2,00	1,48	8,90
1 1/4	30	1,50	1,37	8,20
		2,00	1,80	10,79
1 1/2	40	1,50	1,72	10,32
		2,00	2,27	13,62
		3,00	3,22	19,33
2	50	1,50	2,32	13,93
		2,00	3,13	18,75
		3,00	4,62	27,69
2 3/8	60	2,00	3,74	22,42
		3,00	5,56	33,35
3	75	2,00	4,65	27,88
		3,00	6,88	41,26
		4,00	9,11	54,64
4	100	2,00	6,22	37,30
		3,00	9,26	55,53
		4,00	12,28	73,66

Fuente: Sitio Web de Novacero, 2013.

### 3.2.1.1.3 Diseño de antideslizantes (CAD)

En el mercado nacional encontramos elementos antideslizante denominados capuchones, como se observa en la figura 42.

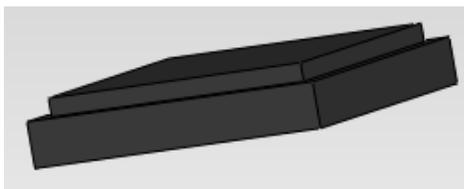
**Fig 42. Capuchones antideslizantes**



Fuente: Sitio web, Direct Industry, 2013

Para evitar el deslizamiento inapropiado de la estructura mientras se realizan tareas de puesta en marcha del SPM-V1ZR, se ha dispuesto el diseño de elementos antideslizantes (VER ANEXO A) que irán montados en la base de la estructura de la bancada como se observa en la figura 43.

**Fig 43 Diseño CAD elemento antideslizante de la bancada**

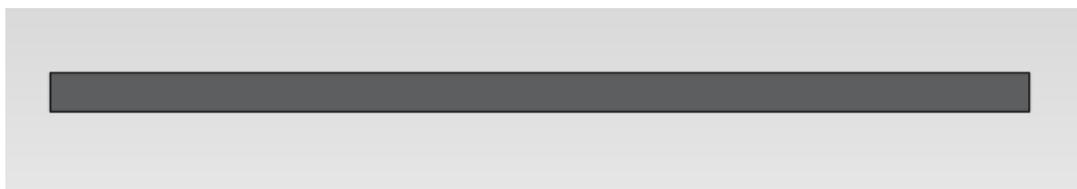


**Fuente: Propia**

#### **3.2.1.1.4 Perfiles de la bancada (CAD)**

De igual manera, para fijar los elementos de las estaciones modulares y otros dispositivos de control sobre la estructura de la bancada, se ha dispuesto el diseño de perfiles planos (VER ANEXO A) de dimensiones 50 x 1200 x 2 [mm]. (Figura 44)

**Fig 44. Diseño CAD perfiles mesa de montaje**



**Fuente: Propia**

### **3.2.1.1.5 Selección del material para los perfiles de la bancada**

Para seleccionar el material de los perfiles se ha considerado como predominante la relación peso/resistencia, ya que se requiere que el material sea resistente a la aplicación de grandes cargas, sin que sufra deformaciones importantes.

El aluminio es un metal ligero aproximadamente 1/3 del peso del cobre o el acero, posee una alta relación peso-resistencia, convirtiéndolo en el metal ideal para aplicaciones que exigen alta resistencia y bajo peso. La resistencia a la corrosión del aluminio lo convierte en la elección óptima de material para el sector de la construcción y las edificaciones. La distancia entre perfiles de aluminio liso es de 4 mm para fijar los elementos a la bancada, se ha contabilizado un valor máximo de 14 perfiles que irán ensamblados sobre la estructura de acero ASTM A-500, para lo cual, se adquirió en el mercado ecuatoriano “Plancha de aluminio liso AISI 1020” de dimensiones 1220 x 2440 x 2mm como se observa en la figura 45.

**Fig 45. Plancha de aluminio liso**



**Fuente: Propia**

Los cortes de la plancha de aluminio para obtener los perfiles requieren exactitud y precisión, es por esto que, se realizaron en cizalla automática de la empresa “Mecánica industrial y mantenimiento MAPROMECC” como se observa en la figura 46.

**Fig 46. Corte cizalla automática**



**Fuente: Propia**

Una de las desventajas del aluminio es la dificultad para ser integrado con el propio aluminio u otros materiales, es por esto, que para su montaje en la bancada se utilizó remaches de 3/16 x ½ [in].

#### **3.2.1.1.6 Tornillo de Sujeción**

Para la sujeción de los elementos a la bancada se ha dispuesto utilizar tornillo de acero galvanizado cabeza abombada estrella tipo rodela M4 x 25, con fijación arandela plana y tuerca hexagonal M7, como se observa en la figura 47

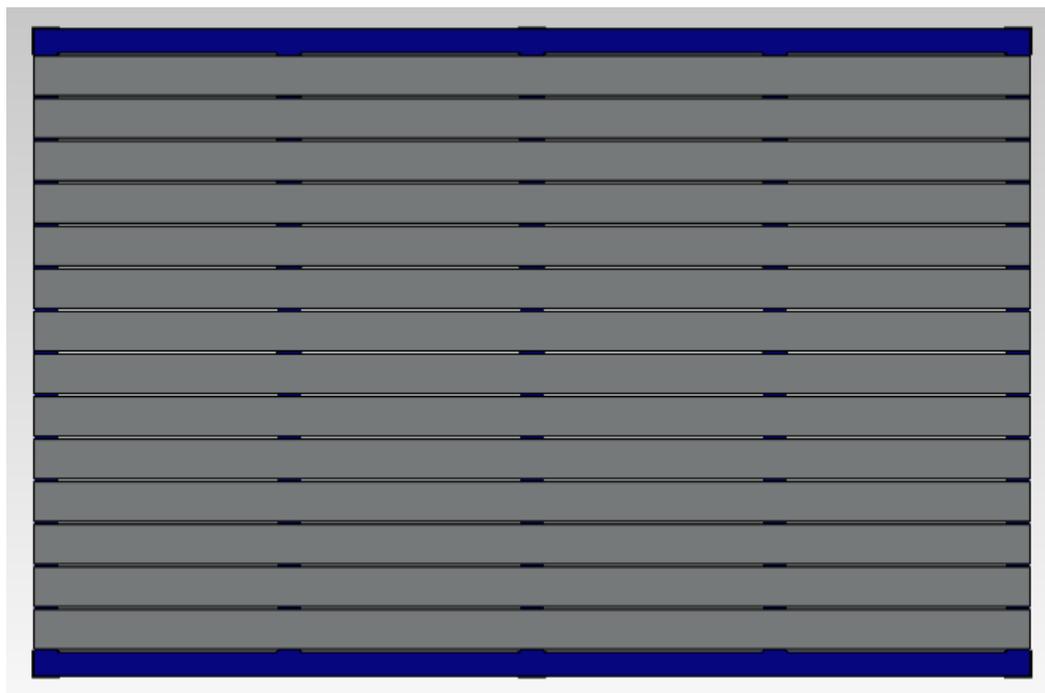
**Fig 47 Tornillo de sujeción**



**Fuente: Propia**

#### **3.2.1.1.7 Diseño de la Mesa de Montaje**

Una vez, seleccionado el material y definido los requerimientos de cada elemento de la bancada, se procedió a integrar todos los componentes para dar forma a la mesa de montaje (VER ANEXO A) donde irán montados todos los elementos del SPM-V1ZR, como se observa en la figura 48.

**Fig 48. Diseño de la mesa de montaje**

**Fuente: Propia**

### **3.2.1.2 Estudio CAE de la mesa de montaje.**

Para verificar las prestaciones y fiabilidad de la mesa de montaje se ha considerado realizar un estudio estático por elementos finitos de cargas, mediante el cual, se obtienen resultados de deformación y esfuerzos.

En la tabla 9 se describen los parámetros utilizados para el estudio estático en Solidworks.

**Tabla 9. Parámetros de estudio CAE bancada**

Componente	Material	Fijación	Fuerza [N]
Estructura	ASTM A-36		
Capuchones	Acrílico	X	
Perfiles	Aleación 1020		49

**Fuente: Propia**

Como se observa en la tabla 3.2 el material para la estructura es el ASTM A-36, cuyo módulo de elasticidad es  $2500 \frac{Kgf}{cm^2}$  debido a que Solidworks no cuenta en su lista de materiales con el acero ASTM A-500 cuyo módulo de elasticidad es  $3230 \frac{Kgf}{cm^2}$ , de esta manera, se asegura un diseño confiable al utilizar un material que se deforma con mayor facilidad que el empleado en la construcción de la mesa de montaje.

El capuchón (antideslizante) es utilizado en el estudio como elemento de fijación, y de material acrílico, ya que el software no cuenta con los valores de módulo de elasticidad de materiales de caucho.

La fuerza, motivo del estudio, es el peso total ejercido por los elementos sobre cada una de las placas de aluminio liso, para lo cual, se ha considerado aplicar el peso máximo de todos los elementos sobre cada perfil, cuyo valor es 5 Kg, obteniendo una fuerza de 49 [N] al reemplazar los datos en la Ecuación 6.

$$F = ma$$

Ec 6.

Dónde:

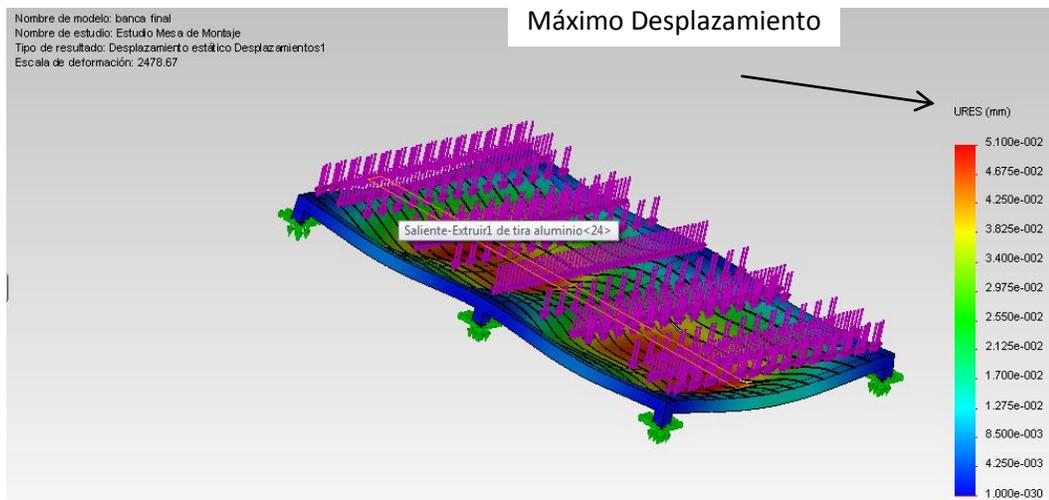
$$F = \text{Fuerza [N]}$$

$$m = \text{masa [Kg]}$$

$$a = \text{aceleración}; g = 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

El informe de resultados (VER ANEXO B) del diseño CAE, ofrece un valor máximo de desplazamiento de 0.05 [mm] como se observa en la figura 49, el mismo que ofrece un diseño confiable para el montaje de los elementos de las distintas estaciones.

**Fig 49. Desplazamiento diseño CAE mesa de montaje.**



**Fuente: Propia**

### 3.2.1.3 Construcción de la Bancada o Mesa de Montaje

Para llevar a cabo la tarea de construir la mesa de montaje se siguieron los siguientes pasos:

- Cortar el tubo cuadrado de acero A 500 según las medidas indicadas en el ANEXO A de la estructura de la bancada.
- Pintar la estructura con fondo de laca gris y posteriormente aplicar pintura anticorrosiva de color azul, para brindar un acabado de calidad.
- Ensamblar los capuchones de caucho en las 6 bases correspondientes.
- Obtener los perfiles de aluminio, cortando la plancha en las dimensiones deseadas en una cizalla automática.
- Ensamblar las placas de aluminio liso cortadas con la estructura, utilizando 6 remaches por placa (2 en cada extremo y 2 en el centro), garantizando una correcta sujeción de montaje.

En la figura 50 se muestra la mesa de montaje terminada.

**Fig 50. Mesa de montaje terminada.**



**Fuente: Propia**

#### **3.2.1.3.1 Planos de la bancada o mesa de montaje.**

Los planos de la bancada o mesa de montaje, así como, de cada uno de sus componentes se encuentran en el ANEXO A.

#### **3.2.2 Estación Cargador**

En cada producción automatizada hay que almacenar las piezas y suministrárselas ordenadas al proceso de producción. En el SPM-V1ZR esta función la desempeña la estación cargador. Esta puede almacenar y separar piezas de distintas características.

### 3.2.2.1 Diseño CAD del juego de piezas.

Uno de los objetivos didácticos del SPM-V1ZR es clasificar piezas de distintas características físicas, para lo cual, se requiere realizar el diseño tanto de las dimensiones como de las propiedades de cada elemento, como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10. Juego de piezas**

Descripción	Cantidad
<b>Pieza de Altura</b>	4
<b>Pieza plástica</b>	4
<b>Pieza Metálica</b>	4
<b>Pieza de peso</b>	2
<b>Total</b>	14 Pz

**Fuente: Propia**

#### 3.2.2.1.1 Selección del Material

Para la selección del material, el juego de piezas ha sido seccionado en dos grupos, estando constituido cada uno por el mismo material:

- Piezas de altura y plástica.
- Piezas metálicas y de peso.

En la tabla 11 se realiza la matriz de decisión para establecer el material de fabricación del grupo de piezas de altura y plástico, donde se observa que de los factores seleccionados, el de mayor ponderación es proceso de manufactura, donde, el grilon es el más adecuado en lo que respecta a facilidad

de mecanizado, al igual que posee un excelente factor en lo que respecta a resistencia mecánica, fatiga, y al desgaste.

**Tabla 11. Matriz de decisión piezas de altura y plástico.**

Factor	Factor de ponderación	Grilon	Acrílico	Caucho
<b>Costo</b>	1	9	5	9
		0.9	0.5	0.9
<b>Manufactura</b>	3	9	8	3
		3	2.7	0.9
<b>Resistencia Mecánica</b>	2	9	10	5
		1.8	2	1
<b>Resistencia a la Fatiga</b>	2	8	7	9
		1.6	1.4	1.8
<b>Desgaste</b>	2	9	8	9
		1.8	1.6	1.8
<b>TOTAL</b>	10	<b>9.1</b>	8.2	6.4

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores de selección se ha tomado como criterio la evaluación numérica entre valores de 1-10, siendo 1 un valor poco favorable para el elemento que se va seleccionar y 10 un factor favorable. Como ejemplo tenemos que la manufactura tiene un valor de 9 para el grilon debido a que es de fácil mecanizado, a diferencia del caucho con un valor de 3 debido a que los procesos de manufactura son más complicados ya que incluye el diseño de moldes.

El grilon como se muestra en la figura 51 es un termoplástico obtenido a partir de la poliamida 6, que difiere de los plásticos de uso corriente por sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas, químicas. Las

exigencias cada vez mayores de la industria para reducir costos y mejorar la calidad, hacen que su utilización haya aumentado notoriamente.

**Fig 51. Barras de grilon**



**Fuente: Sitio web de NTH, 2013**

El grilon posee facilidad de mecanizado, gran resistencia mecánica y buena resistencia a la fatiga y al desgaste.

En la tabla 12 se realiza la matriz de decisión para establecer el material de fabricación del grupo de piezas metálicas y de peso.

**Tabla 12. Matriz de decisión piezas metal y peso**

Factor	Factor de ponderación	Aleación de Aluminio 1060	Acero ASTM A-36	Acero Inoxidable AISI 304
<b>Costo</b>	1	7	9	5
		0.7	0.9	0.5
<b>Manufactura</b>	3	5	9	8
		1.5	2.7	2.4
<b>Resistencia Mecánica</b>	2	5	9	9
		1	1.8	1.8
<b>Resistencia a la Fatiga</b>	1	4	8	9
		0.4	0.8	0.9
<b>Corrosión</b>	3	9	5	10
		2.7	1.5	3
<b>TOTAL</b>	10	6.3	7.7	<b>8.6</b>

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores de selección se ha tomado como criterio la evaluación numérica entre valores de 5-10, siendo 5 un valor poco favorable para el elemento que se va seleccionar y 10 un factor favorable. Como ejemplo tenemos que la corrosión tiene un valor de 10 para acero inoxidable debido a su propiedad física (Acero Inoxidable 304- añadir más del 7% de níquel a una aleación con el 17 % de cromo) de resistencia a la oxidación, a diferencia del acero A-36 que tiene un valor de 5 debido a que su exposición al medio ambiente provoca la oxidación del mismo.

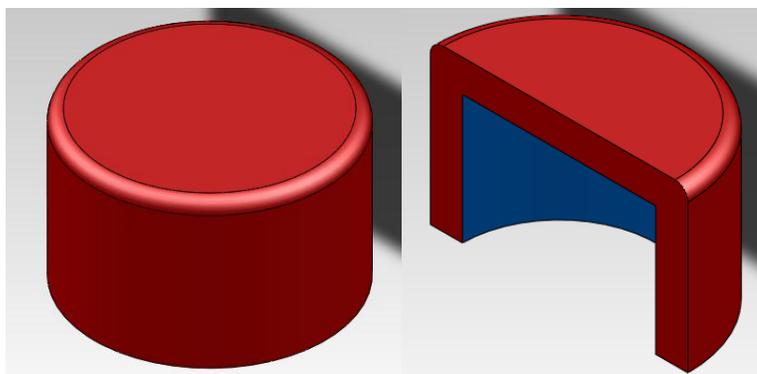
El Acero Inoxidable AISI 304 es el más versátil y uno de los más usados, tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Posee un excelente nivel de desempeño en una amplia gama de condiciones corrosivas, y sus propiedades mecánicas son las siguientes:

- Resistencia a la fluencia 310 [MPa]
- Resistencia máxima 620 [MPa]
- módulo de elasticidad 200 [GPa].

### 3.2.2.1.2 Diseño CAD piezas plásticas

Se ha tomado como referencia para el diseño de las piezas del SPM-V1ZR, el modelo y dimensión de las piezas utilizadas en los módulos MecLab de FESTO del laboratorio de AIM. En la figura 52 se muestra el diseño de la pieza, cuyas dimensiones son  $\varnothing e = 40mm$ ;  $\varnothing i = 30mm$ ;  $l = 25mm$  (VER ANEXO A).

**Fig 52. Diseño CAD piezas plásticas**

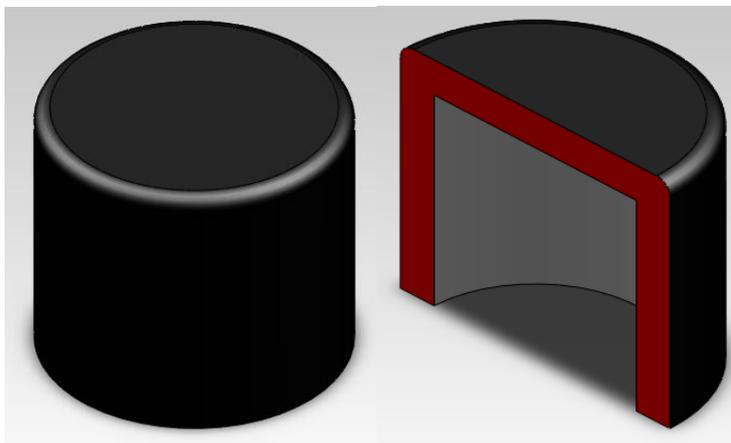


**Fuente: Propia**

### 3.2.2.1.3 Diseño CAD piezas altura

Se ha considerado incluir una pieza de altura que permita utilizar en una próxima estación un detector que distinga dicha característica. En la figura 53 se muestra el diseño de la pieza, cuyas dimensiones son  $\varnothing_e = 40mm$ ;  $\varnothing_i = 30mm$ ;  $l = 35mm$  (VER ANEXO A).

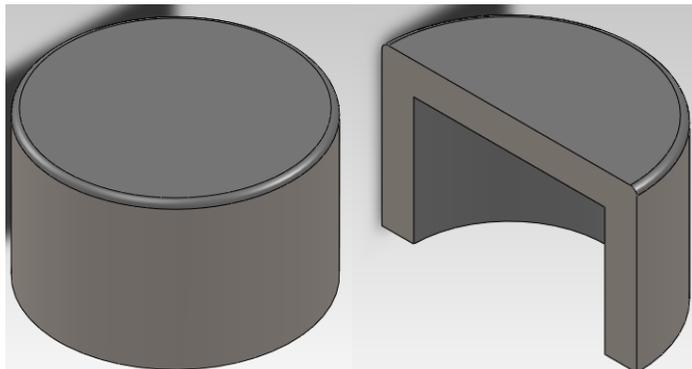
**Fig 53. Diseño CAD piezas altura**



**Fuente: Propia**

### 3.2.2.1.4 Diseño CAD piezas metálicas

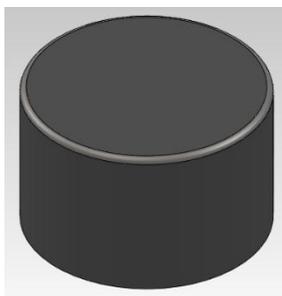
Se ha considerado incluir una pieza metálica que permita utilizar en una próxima estación un detector que distinga dicha característica. En la figura 54 se muestra el diseño de la pieza, cuyas dimensiones son  $\varnothing_e = 40mm$ ;  $\varnothing_i = 30mm$ ;  $l = 25mm$  (VER ANEXO A).

**Fig 54. Diseño CAD piezas metálicas**

**Fuente: Propia**

#### **3.2.2.1.5 Diseño CAD piezas de peso**

Se ha considerado incluir una pieza de peso que permita utilizar en una próxima estación un detector que distinga dicha característica. En la figura 55 se muestra el diseño de la pieza, cuyas dimensiones son  $\varnothing e = 40mm$ ;  $l = 25mm$  (VER ANEXO A).

**Fig 55. Diseño CAD piezas de peso**

**Fuente: Propia**

### 3.2.2.2 Construcción del juego de piezas

Para llevar a cabo la tarea de construir el juego de piezas se siguieron los siguientes pasos:

- Tornear con Grilon negro de  $\varnothing = 50mm$ ;  $l = 160mm$ , 4 piezas de altura con las dimensiones especificadas en la sección 3.2.2.1.
- Tornear con Grilon blanco de  $\varnothing = 50mm$ ;  $l = 120mm$ , 4 piezas plásticas con las dimensiones especificadas en la sección 3.2.2.1.
- Tornear con Acero Inoxidable AISI 304 de  $\varnothing = 45mm$ ;  $l = 120mm$ , 4 piezas metálicas con las dimensiones especificadas en la sección 3.2.2.1.
- Tornear con Acero Inoxidable AISI 304 de  $\varnothing = 45mm$ ;  $l = 70mm$ , 2 piezas plásticas con las dimensiones especificadas en la sección 3.2.2.1.

En la figura 56 se muestra el juego de piezas terminada.

**Fig 56. Juego de piezas terminada**



**Fuente: Propia**

### 3.2.2.2.1 Planos del juego de piezas.

Los planos de cada componente del juego de piezas se encuentran en el ANEXO A.

### 3.2.2.3 Diseño del contenedor de Piezas.

El contenedor es la estructura donde se realizara la mayor parte del funcionamiento de la estación cargador, ya que en él, irán almacenadas las piezas de distinto material, para luego a través de un actuador, ser transportadas hacia otra estación. Para aprovechar las ventajas de que brinda la gravedad el contenedor será tendrá una posición vertical para que las piezas sean almacenadas una encima de otra. En la tabla 13 se realiza una matriz de decisión para seleccionar la forma que tendrá el contenedor de piezas.

**Tabla 13. Matriz de decisión de la forma del contenedor.**

Factor	Factor de ponderación	Cilíndrica	Cuadrada	Cónica
<b>Funcionalidad</b>	4	10	9	4
		4	3.6	1.6
<b>Didáctico</b>	3	10	10	10
		3	3	3
<b>Costo</b>	1	6	9	6
		0.6	0.9	0.6
<b>Manufactura</b>	2	5	10	5
		1	2	1
<b>TOTAL</b>	10	8.6	<b>9.5</b>	6.2

**Fuente: Propia**

Para seleccionar la forma que tendrá el contenedor de piezas se ha tomado una escala de 1-10, siendo 1 un valor poco favorable para el sistema y 10 un valor favorable. Considerando que se van alimentar piezas cilíndricas tenemos que la funcionalidad de un contenedor cilíndrico es mejor que el de un cuadrado o cónico, pero, la manufactura con aluminio para construir un contenedor cilíndrico es más dificultoso que construir uno cuadrado. Por tal motivo se ha seleccionado el contenedor cuadrado, cuyo diseño deberá tener la holgura suficiente para que las piezas cilíndricas no queden atascadas en el interior.

### 3.2.2.3.1 Diseño de la Estructura (CAD)

La Estructura del contenedor ha sido diseñada para almacenar todas las piezas. Para calcular sus dimensiones se aplica la siguiente ecuación 7.

$$L_T = 4P_P + 4P_A + 4P_M + 2P_{PE}$$

Ec 7

Dónde:

$L_T =$  Longitud Requerida para el contenedor [mm]

$P_P =$  Longitud de la pieza de plástico [mm]

$P_A =$  Longitud de la pieza de altura [mm]

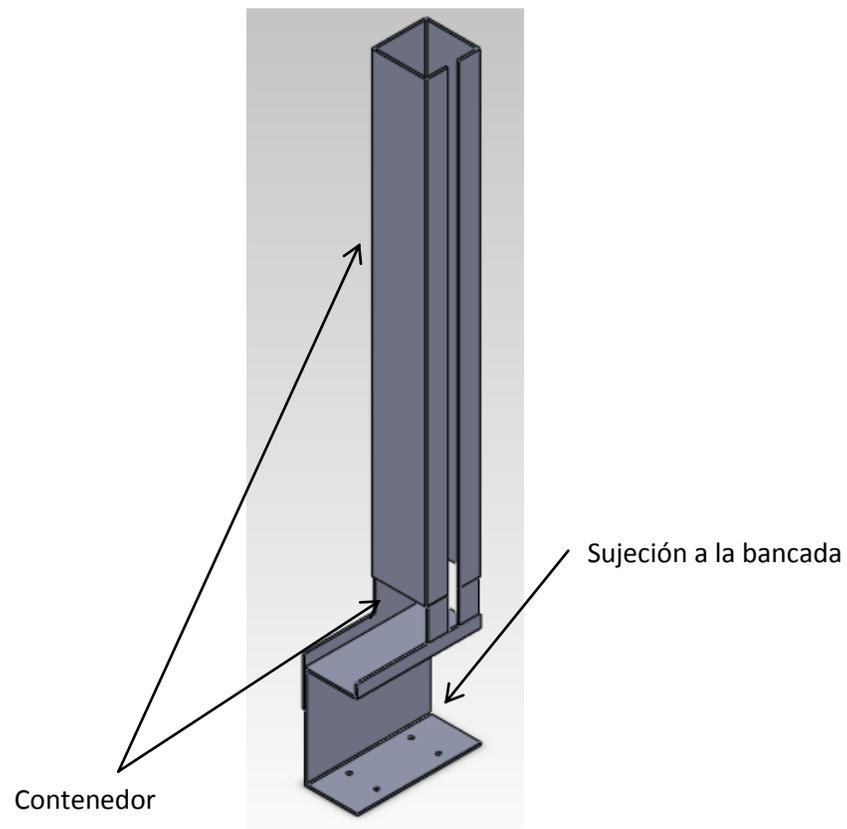
$P_M =$  Longitud de la pieza metálica [mm]

$P_{PE} =$  Longitud de la pieza de peso [mm]

Reemplazando los datos en la ecuación 7, la longitud requerida para el contenedor es de  $L_T = 390$  [mm], pero considerando, que es la longitud mínima requerida se multiplica por un factor de seguridad de 1.13, obteniendo un valor final de  $L_T = 440$  [mm].

En la figura 57 se muestra el diseño de la estructura del contenedor de piezas.

**Fig 57. Diseño CAD estructura contenedor de piezas**



**Fuente: Propia**

### **3.2.2.3.2 Material para la Estructura**

En la sección 3.2.1.1 se seleccionó el material aleación de aluminio AISI 1020 de dimensiones 1220 x 2440 x 2mm, y luego de construir la bancada, existió material sobrante, por lo que, se decidió utilizar dicho material para la elaboración y construcción del resto del elementos del SPM-V1ZR. También, las ventajas del aluminio son aplicables para el diseño de las estaciones restantes.

### **3.2.2.4 Construcción del contenedor de piezas**

Para llevar a cabo la construcción del contenedor de piezas se ha utilizado el material restante de la plancha de aluminio AISI 1020. El contenedor de piezas y todas las piezas requeridas para los demás sistemas van a ser manufacturadas por la empresa Mirlo S.A que ofrece servicio de chapa metálica con modelamiento CAD/CAM según el plano de la pieza asignado por el cliente, para luego ser manufacturado con las herramientas adecuadas (cortadora de plasma) dependiendo del tipo de material, y finalmente servicio de pintura al horno para evitar futuros desgastes y brindar un excelente acabado.

En la figura 58 se muestra el contenedor de piezas manufacturado por Mirlo, después de entregar los planos del diseño. (VER ANEXO A)

**Fig 58. Contenedor de Piezas terminado.**



**Fuente: Propia**

### **3.2.2.5 Selección del Actuador A.**

El actuador A cumplirá 2 funciones dentro de la estación cargador:

- Separar y alimentar las piezas desde el contenedor hacia la siguiente estación.
- Soportar la carga de las piezas apiladas en el contenedor.

En la tabla 14 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el tipo de actuador con el que se va a trabajar en la estación.

**Tabla 14. Matriz de decisión para selección del actuador A.**

Factor	Factor de ponderación	Actuador Neumático Lineal	Mecanismo De tornillo
<b>Funcionalidad</b>	2	10	10
		2	2
<b>Didáctico</b>	3	10	8
		3	2.4
<b>Costo</b>	2	7	8
		1.4	1.6
<b>Facilidad de Diseño</b>	3	9	7
		2.7	2.1
<b>TOTAL</b>	10	<b>9.1</b>	8.1

**Fuente: Propia**

Para seleccionar el actuador A se ha tomado una escala de 5-10, siendo 5 un valor poco favorable para el sistema y 10 un valor favorable. Los métodos para diseñar un actuador neumático lineal son simples, a diferencia del diseño de un mecanismo de tornillo sin fin que consiste en cálculos más exactos y consistentes. Considerando que es un sistema didáctico, un cilindro neumático es utilizado a menudo en la industria. Por tal motivo se ha seleccionado como actuador A, un cilindro neumático de simple efecto.

En la estación de pesado y banda transportadora se requieren actuadores con las mismas características, para lo cual, no será necesario volver a realizar una matriz de decisión. Se concluye que las estaciones mencionadas utilizarán el mismo tipo de actuador (cilindro neumático de simple efecto) porque cumplirán la función de despachar piezas.

### 3.2.2.5.1 Requerimientos

El actuador neumático debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Carrera mínima 45 [mm], ya que las piezas almacenadas en el contenedor tienen un  $\varnothing = 40$  [mm] y para ser expulsadas hacia la siguiente estación, es necesario que el actuador recorra toda esta distancia.

- $P_{max} = 6$  [bar]

### 3.2.2.5.2 Diseño del Actuador Lineal Neumático

Para diseñar un actuador lineal es necesario aplicar el siguiente procedimiento para dimensionar el diámetro mínimo del embolo:

- Determinar los datos de coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ), presión de alimentación [bar], masa del objeto a ser manipulada por el actuador [Kg].

- Calcular la fuerza de rozamiento mínima y máxima mediante la ecuación 8,

$$f_r = \mu N = \mu mg ; f_{r\ max} = f_s f_r$$

Ec 8.

Dónde:

$$f_r = \text{Fuerza de rozamiento [N]}$$

$$\mu = \text{Coeficiente de rozamiento}$$

$N = \text{Fuerza Normal [N]}$

$m = \text{masa del objeto [Kg]}$

$g = \text{gravedad } \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

$f_s = \text{factor de seguridad}$

- Calcular el área del embolo mediante la ecuación 9

$$P = \frac{F}{A}$$

Ec 9

Dónde:

$P = \text{Presión } \left[ \frac{N}{m^2} \right]$

$F = \text{Fuerza [N]}$

$A = \text{Área [m}^2\text{]}$

- Calcular el diámetro mínimo del embolo mediante la ecuación 10.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ec 10

Dónde:

$$A = \text{Área [m}^2\text{]}$$

$$D = \text{Diámetro mínimo del embolo [N]}$$

### 3.2.2.5.3 Cálculo del actuador lineal neumático

Para determinar la fuerza de rozamiento se considera un valor  $\mu = 0.9$  contemplando un nivel de rozamiento máximo para el diseño y la masa a ser transportada por el cilindro que tiene un valor máximo de diseño de 2[Kg]. Al reemplazar estos datos en la ecuación 8, se obtiene un  $f_r = 17.64 [N]$ .

Como diseñadores del SPM-V1ZR existe la obligación de cuantificar razonablemente la incertidumbre de posibles aspectos como inexistencia comercial del cilindro diseñado, futuras modificaciones en la masa del juego de piezas, por lo que se recurre a la selección adecuada de un factor de seguridad  $f_s$  basados en tres factores relacionados con la calidad de información disponible.

Generalmente un factor de seguridad para materiales dúctiles no debe ser seleccionado con más de un punto decimal de precisión y está determinado por la ecuación 11.

$$N = \max (f_1, f_2, f_3)$$

Para determinar los factores  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  se aplica los conceptos de la tabla 15.

**Tabla 15. Factores utilizados para determinar un factor de seguridad**

Información	Calidad de la información	Factor
		<b><u>f1</u></b>
<b>Datos del material disponibles de pruebas</b>	El material realmente utilizado fue probado	1,3
	Datos representativos del material disponibles a partir de pruebas	2
	Datos suficientemente representativos del material disponible a partir de pruebas	3
	Datos poco representativos del material disponibles a partir de pruebas	5+
		<b><u>f2</u></b>
<b>Condiciones del entorno en el cual se utilizará</b>	Idénticas a las condiciones de prueba del material	1,3
	Esencialmente en un entorno de ambiente de habitación	2
	Entorno moderadamente agresivo	3
	Entorno extremadamente agresivo	5+
		<b><u>f3</u></b>
<b>Modelos analíticos para carga y esfuerzos</b>	Los modelos han sido probados contra experimentos	1,3
	Los modelos representan al sistema con precisión	2
	Los modelos representan al sistema con aproximadamente	3
	Los modelos son una burda aproximación	5+

**Fuente: Norton, 2008**

*Selección factor  $f_1$ :* Los materiales del cual está fabricado el juego de piezas realmente han sido probados y pesados.  $f_1=1.3$ .

*Selección factor  $f_2$* : Las condiciones del entorno en el cual se utilizará el sistema son en esencia las de un entorno de ambiente de habitación pues será utilizado en el laboratorio de AIM, un lugar cerrado y cubierto, entonces  $f_2=2$ .

*Selección factor  $f_3$* : El modelo de los cilindros son construidos en base a normas ISO, es decir, han sido probados contra experimentos, entonces  $f_3=2$ . De este modo, al aplicar la ecuación 11 obtenemos un  $f_s = N = 2$ , que al reemplazar en la ecuación 8 resulta un  $f_{r\ max} = 35.28 [N]$

Para determinar el área mínima del embolo se reemplaza en la ecuación 9 el valor de  $f_{r\ max}$  determinado en la ecuación 8 que corresponde al valor de F, y la presión de trabajo máxima a la que trabaja el sistema  $P = 600000 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$ . De esta manera, se obtiene un valor de  $A = 58.8 [mm^2]$ .

Al despejar el diámetro de la ecuación 10, y reemplazando el valor obtenido en la ecuación 9, se obtiene un valor de  $D_{\min\ emb} = 8.65 [mm]$ .

### **3.2.2.6 Circuito de potencia neumático.**

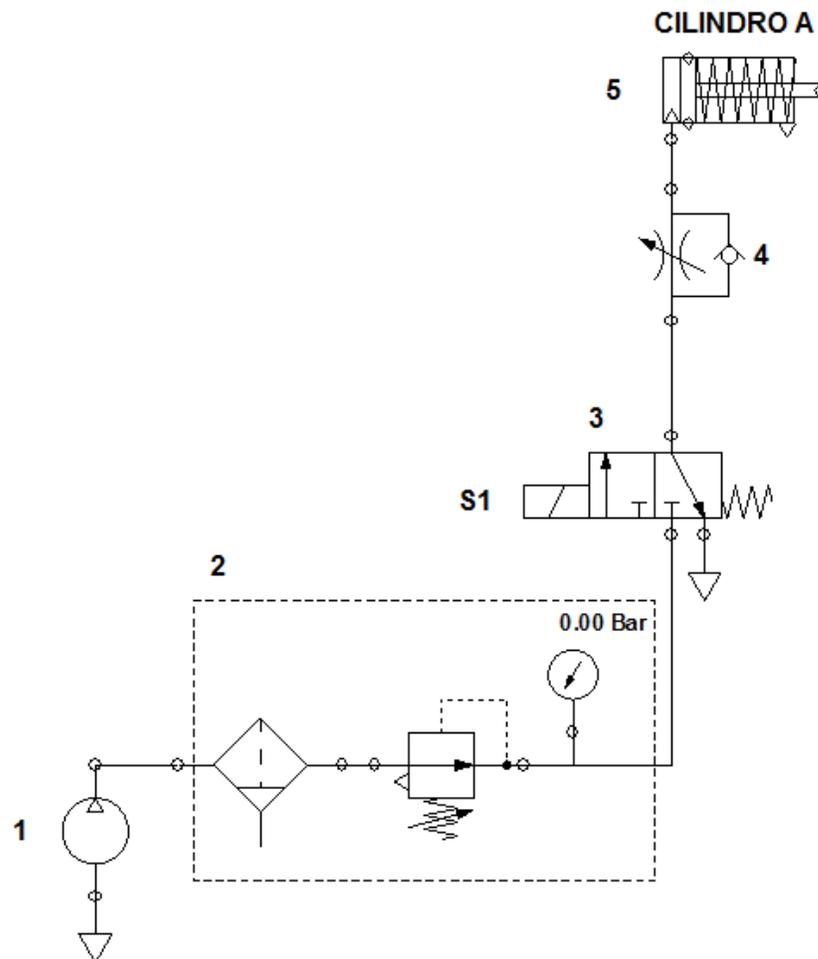
El diseño del circuito de potencia neumático es trascendental, pues así se determina los componentes necesarios para la instalación que permitirá el correcto funcionamiento del cilindro de la estación cargador.

El proceso de la estación cargador consiste en la carga y descarga de piezas hacia la siguiente estación mediante la manipulación de un cilindro de simple efecto sobre el cual se tendrá el control de caudal mediante una válvula

antiretorno estranguladora para regular la velocidad de desplazamiento del vástago. La fuente de aire comprimido proviene del compresor alimentador del SPM-V1ZR con su respectivo depósito de almacenamiento y la unidad de mantenimiento.

La Figura 16 y la Tabla 59 muestran con claridad los elementos neumáticos a utilizar.

**Fig 59. Circuito de Potencia neumático de la estación cargador.**



**Fuente: Propia**

**Tabla 16. Elementos neumáticos de la estación cargador.**

<b>Numeración</b>	<b>Elemento</b>
1	Compresor con deposito
2	Unidad de Mantenimiento (filtro, regulador, manómetro)
3	Válvula 3/2 con accionamiento eléctrico (solenoides)
4	Válvula anti retorno Estranguladora
5	Cilindro de simple efecto

**Fuente: Propia**

### 3.2.2.7 Selección del Actuador Lineal Neumático.

Los datos obtenidos son suficientes para realizar la selección por catálogo del actuador lineal neumático, que son:

$$D_{\min emb} = 8.65 [mm] \approx 10 [mm]; f_r = 35.28 [N]; C = 45 [mm]$$

Cabe mencionar que la selección de los componentes en su mayoría será realizada por catálogo pues la información que se presenta en ellos es bastante precisa y confiable además que cumplimos con normas importantes dentro de lo que es el proceso de diseño y es la forma más práctica y real de escogerlos.

En el mercado ecuatoriano las empresas dedicadas a la comercialización de productos neumáticos cuentan con micro cilindros con dimensiones del diámetro del embolo a partir de 16 [mm], por lo que se realizara su respectiva selección en base a esta medida, considerando que la variable más importante de selección es la carrera del cilindro. La selección de un cilindro con un diámetro del embolo mayor al diseñado únicamente influirá en el cantidad del consumo de aire del componente, lo que no es significativo en este caso.

En la figura 60 se muestra el cilindro seleccionado del catálogo de micro cilindros de la empresa Mindman (VER ANEXO C).

**Fig 60. Selección del cilindro**



**Table for standard stroke:**

	Tube I.D.	Stroke (mm)
Single acting	φ 16	15, 25, 50, 75, 100
	φ 20, 25	15, 25, 50, 75, 100, 125, 150
Double acting	φ 8, 10	10, 25, 40, 50, 80, 100
	φ 12	10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200
	φ 16	15, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
	φ 20, 25	15, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500

**Fuente: Sitio web, Mindman, 2012**

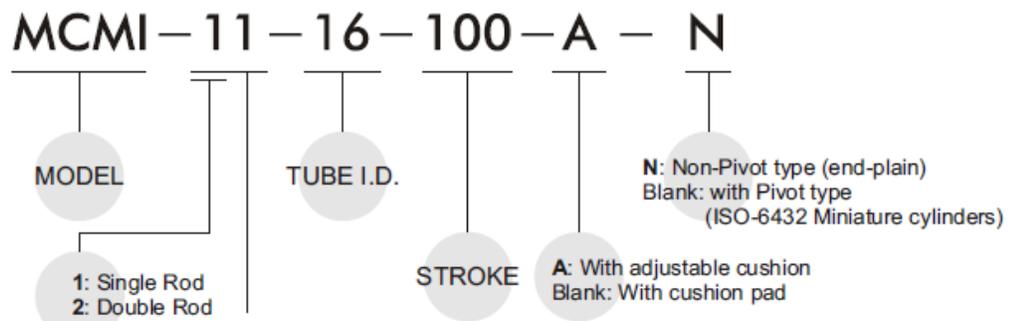
El cilindro seleccionado como se observa en la figura 60 es de simple efecto, diámetro del embolo 16mm, y carrera 50mm, cumpliendo de esta manera todos los parámetros diseñados en la sección 3.2.2.5.2. Los cilindros Mindman están contruidos en base a la norma ISO 6432.

El cilindro es simple efecto considerando que la aplicación es básica (despachar piezas). Otro factor es el costo de la electroválvula responsable de su control que es directamente proporcional a la característica monoestable o

biestable de la misma, es decir una electroválvula monoestable tiene un costo inferior a la biestable.

Para especificar las características del cilindro se recurre a la figura 61.

**Fig 61. Código estándar para cilindros Mindman ISO 6432**



**Fuente: Sitio web, Mindman, 2012**

Como se muestra en la figura 61, el código del cilindro seleccionado es MCMI-1-16-50, donde se determina el modelo (MCMI), número de efectos (simple=1), diámetro del embolo (16mm), carrera del cilindro (50mm).

En la figura 62 se muestra el cilindro seleccionado con las especificaciones técnicas mencionadas.

**Fig 62. Cilindro seleccionado**

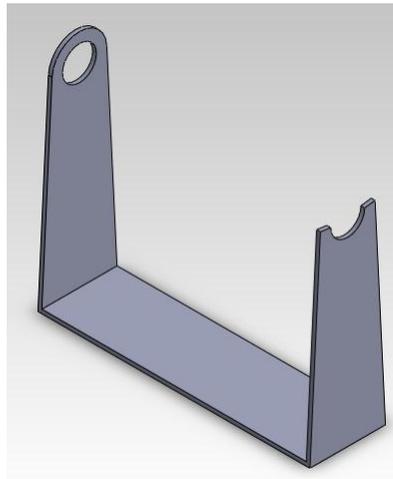


**Fuente: Propia.**

### **3.2.2.7.1 Diseño CAD y construcción del soporte del cilindro**

Para fijar el cilindro a la bancada y ser integrado a la estación cargador se ha realizado el diseño del soporte como se muestra en la figura 63.

**Fig 63. Soporte del cilindro**



**Fuente: Propia**

La construcción del acople (VER ANEXO A) para el cilindro se ha realizado en la empresa MIRLO S.A. En la figura 64 se muestra el cilindro con el acople fijado a la bancada con tornillos M4.

**Fig 64. Cilindro con acople**



**Fuente: Propia**

### **3.2.2.8 Norma ISO 6432**

La norma ISO 6432 hace referencia a la construcción de micro cilindros neumáticos y standard, cuyas características básicas de trabajo y construcción se encuentran en la figura 65.

**Fig 65. Características de los cilindros normalizados ISO 6432**

Model	MCM1					
Tube I.D. (mm)	8	10	12	16	20	25
Port size	M5×0.8			G 1/8		
Medium	Air					
Max. operating pressure kgf/cm <sup>2</sup>	7 kgf/cm <sup>2</sup>					
Min. operating pressure kgf/cm <sup>2</sup>	1	0.8		0.6		
Proof pressure	10 kgf/cm <sup>2</sup>					
Ambient temperature	-5~ +60 °C (No freezing)					
Available speed range	50~500 mm/sec					
Lubricator	Not required					
Sensor switch (band)	RCA (Matching the BA20,BA25 band) (Matching the BGS20,BGS25 band)					
	RCM (Matching the BM16-BM25 band)					
	RCS (Matching the BJ8-BJ16 band)					

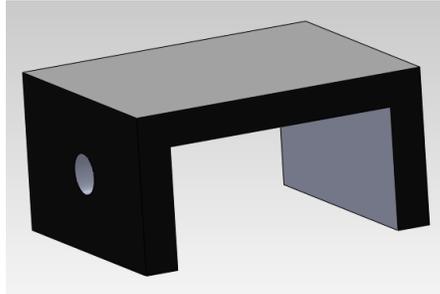
**Fuente: Sitio web, Mindman, 2012**

Para las características constitutivas, así como las dimensiones de los cilindros VER ANEXO C.

### 3.2.2.9 Diseño CAD alimentador

Para lograr que las piezas apiladas en el contenedor sean alimentadas a la siguiente estación mediante el cilindro neumático es necesario acoplar en la punta de vástago un alimentador, cuyo diseño se muestra en la figura 66.

**Fig 66. Diseño CAD alimentador**



**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 66, el alimentador posee un agujero donde irá acoplado la punta del vástago del cilindro.

#### **3.2.2.9.1 Selección del material para el alimentador**

El material para el alimentador es grilon blanco, el cual ha sido seleccionado en base a las ventajas descritas en la sección 3.2.2.1.1.

#### **3.2.2.10 Construcción del alimentador**

Para construir el alimentador (VER ANEXO A) como se muestra en la figura 67 se han seguido los siguientes pasos:

- Comprar Grilon blanco de dimensiones 60 x 60 [mm].
- Mediante fresadora obtener el diseño deseado.
- Perforar en taladro agujero para punta del vástago del cilindro.

**Fig 67. Cilindro con alimentador**

**Fuente: Propia**

### **3.2.2.11 Estudio CAE de pandeo en cilindro.**

Para asegurar el buen funcionamiento de la estación cargador es imprescindible comprobar que el fenómeno de pandeo no se presente pues limitaría la elección del cilindro debido a que el vástago está sometido a flexión debido a la presencia de las piezas en el contenedor y es en ese tipo de sollicitaciones que dicho fenómeno aparece.

El objetivo de esta sección es evitar que el vástago se flexione verticalmente y genere esfuerzos sobre los bujes y la camisa del cilindro, acortando la vida útil o la rotura completa del cilindro. Para realizar un análisis de pandeo se recurrirá al análisis por elementos finitos CAE del software Solidworks, en el

cual simularemos la carga vertical generada por el peso de las piezas en el contenedor sobre el alimentador que esta acoplado a la punta del vástago del cilindro A.

Para determinar la carga ejercida sobre la punta del vástago del cilindro basta con aplicar la ecuación 12.

$$F_c = mg = (m_p + m_a + m_m + m_{pe})g$$

Ec 12

Dónde:

$F_c =$  Fuerza sobre el alimentador del cilindro [N]

$m_p =$  Masa total piezas plasticas [Kg]

$m_a =$  Masa total piezas de altura [Kg]

$m_m =$  Masa total piezas metalicas [Kg]

$m_{pe} =$  Masa total piezas de peso [Kg]

$g =$  gravedad  $\approx 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

En la tabla 17 se describen el valor de masa de cada pieza.

**Tabla 17. Masa de piezas**

Descripción	Cantidad	Masa [Kg]	Masa Total [kg]
Pieza de Altura	4	0.089	0.36
Pieza plástica	4	0.0563	0.23
Pieza Metálica	4	0.182	0.73
Pieza de peso	2	0.370	0.74
Total	14 Pz		2.06

**Fuente: Propia**

El valor total de la masa del juego de piezas es 2.06 [Kg], aplicando un factor de seguridad como se lo realizó en la sección 3.2.2.5.3, se obtiene un valor  $f_s=1.3$ , que permite determinar un valor final de la masa de 2.6 [Kg].

Al reemplazar los datos descritos en la ecuación 12 se obtiene un valor de  $F_C = 24.5 [N]$ , el cual será utilizado para análisis de pandeo.

Para realizar el estudio CAE del fenómeno, se han aplicado las siguientes consideraciones a los elementos, mostrados en la tabla 18.

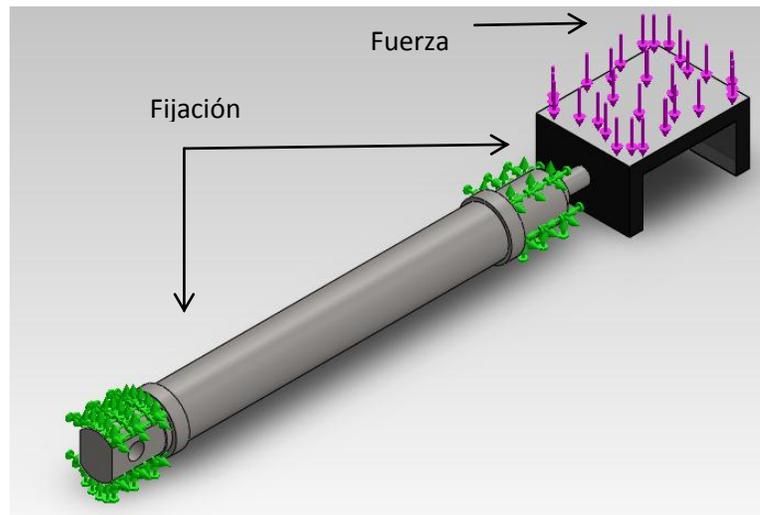
**Tabla 18. Parámetros estudio de pandeo**

Componente	Material	Fijación	Fuerza [N]
Cilindro A	AISI 1020	X	
Alimentador	Acrílico		24.5

**Fuente: Propia**

En la figura 68 se muestra el estudio estático donde la fijación es aplicada sobre el cilindro A que está dispuesto de forma horizontal en su respectivo soporte, y la fuerza vertical que es ejercida sobre el vástago por el peso de las piezas almacenadas en el contenedor.

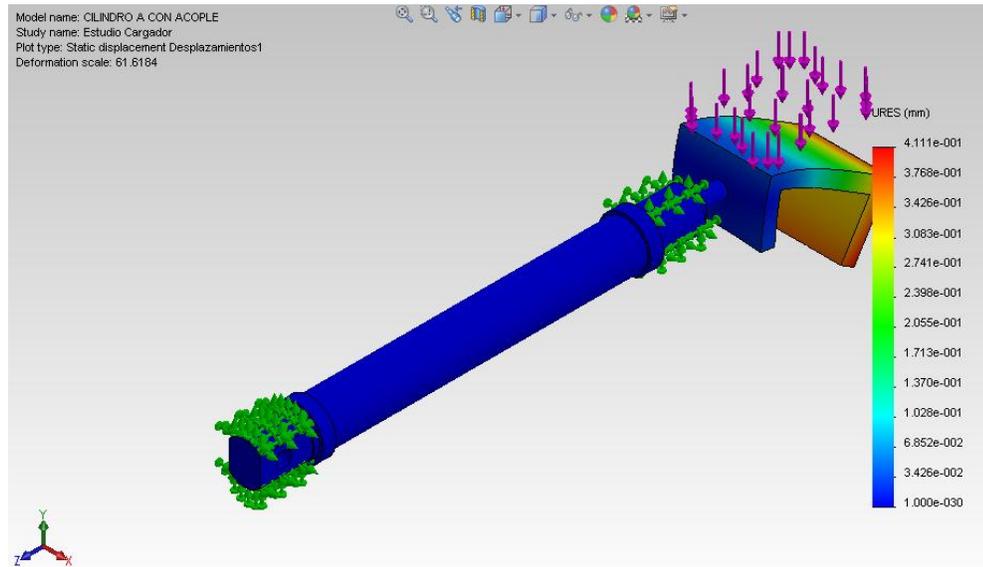
**Fig 68. Aplicación de cargas del cilindro**



**Fuente: Propia**

El informe de resultados (VER ANEXO B) del diseño CAE, ofrece un valor máximo de desplazamiento por pandeo en el vástago del cilindro  $\Delta_{max} = 0.4[mm]$ , como se observa en la figura 69, el cual es despreciable.

**Fig 69. Desplazamiento del vástago por pandeo.**



**Fuente: Propia**

### 3.2.3 Estación de Pesado

La función principal de la estación de pesado dentro del SPM-V1ZR es la de identificar el juego de piezas que por características y diseño son más pesadas, las mismas que tienen que ser retirados del sistema por un actuador neumático en el momento que la balanza de este sistema detecte dicha característica.

Para realizar la selección del control que se iba a tener en esta estación se utilizó la tabla 19, en la cual se indica la matriz de decisión para el control del peso del juego de piezas.

**Tabla 19. Matriz de Decisión del Control de Peso de la Piezas**

Factor	Factor de ponderación	Balanza de Diseño Propio	Celda de Carga
<b>Costo</b>	1	8	9
		0,8	0,9
<b>Funcionalidad</b>	4	9	8
		3,6	3,2
<b>Aprendizaje</b>	3	8	4
		2,4	1,2
<b>Durabilidad</b>	2	8	8
		1,6	1,6
<b>TOTAL</b>	10	<b>8,4</b>	6,9

**Fuente: Propia**

Para realizar la selección del control de peso de las piezas se ha considerado evaluar los factores en un rango de 1 a 10, siendo 1 un valor poco favorable para el sistema y 10 un valor muy favorable.

Como se puede observar en la tabla 18, el diseño de una balanza propia es la mejor opción, debido a que, el estudiante va a poder observar claramente cuál es el proceso que se está llevando a cabo en esta estación y sobre todo el diseño de una balanza con las especificaciones que se necesita para el SPM-V1ZR, va a facilitar su adaptación a la mesa de montaje y la fiabilidad de un correcto funcionamiento de la mismo.

La balanza es un instrumento que mide la masa de una sustancia o cuerpo, utilizando como medio de comparación la fuerza de la gravedad que actúa sobre dicha masa. La balanza tiene también otros nombres, entre los que

destacan báscula y peso, hay factores que influyen en una balanza los mismos que son la latitud geográfica, la altura sobre el nivel del mar y la densidad de la tierra en el lugar donde se efectúa la medición.

Las balanzas se diferencian entre sí por el diseño, los principios utilizados en su funcionamiento y la sensibilidad que poseen. En la actualidad podríamos considerar que existen dos grandes grupos: las balanzas mecánicas y las balanzas electrónicas.

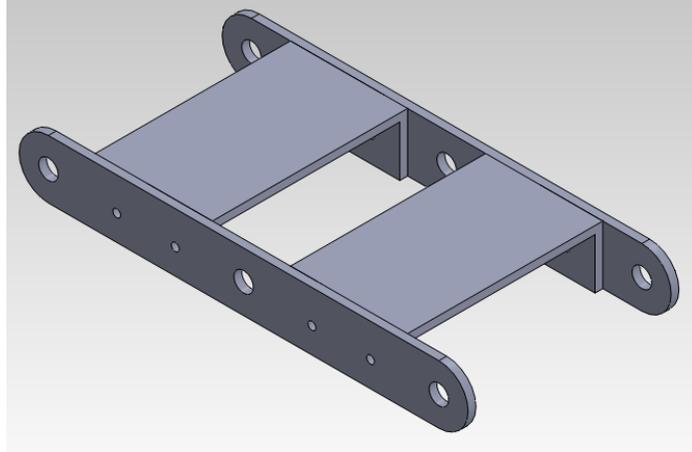
Entre las balanzas mecánicas, existe un tipo en específico que es el que se va a utilizar en el SPM-V1ZR, gracias a su funcionalidad y gran desempeño en la comparación de pesos.

Dicho modelo de balanza es, la Balanza Analítica, su función es la de comparar masas de peso conocido con la masa de una sustancia u objeto de peso desconocido.

### **3.2.3.1 Diseño CAD de la Balanza**

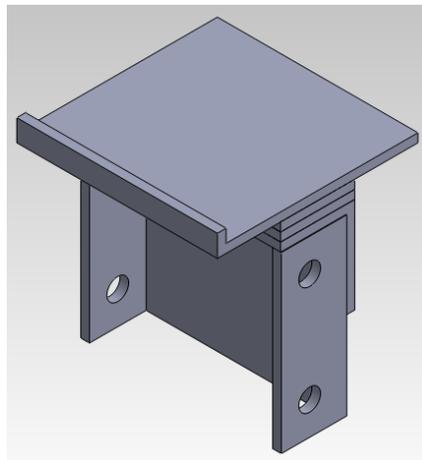
La estructura de la balanza ha sido manufacturada por la empresa MIRLO S.A. Se va a realizar en su totalidad con Aleación de Aluminio AISI 1020, con un espesor de 2 [mm].

En las siguientes figuras se va a mostrar cada uno de los elementos por los que está formada la balanza y la misma ensamblada para su posterior manufactura.

**Fig 70. Brazo Superior e Inferior de la Balanza**

**Fuente: Propia**

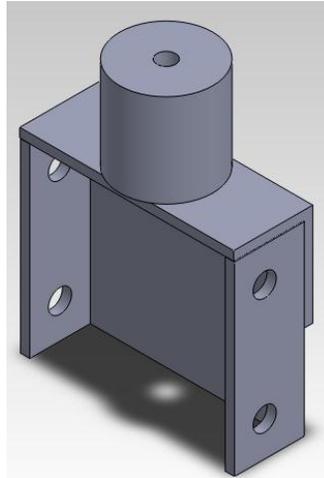
El brazo de la balanza es el que ayuda a sostener los platillos que conforman la misma, además de la función de balancearse y dar a conocer cuál de los objetos es más pesado si el contrapeso o los diferentes piezas del SPM-V1ZR.

**Fig 71. Platillo de Pesado**

**Fuente: Propia**

En el platillo de pesado se ubican las piezas salidas de la estación cargador las cuales van a ser censadas en base a la figura 72 para ver si cumple con las condiciones del sistema o debe ser desalojada del mismo.

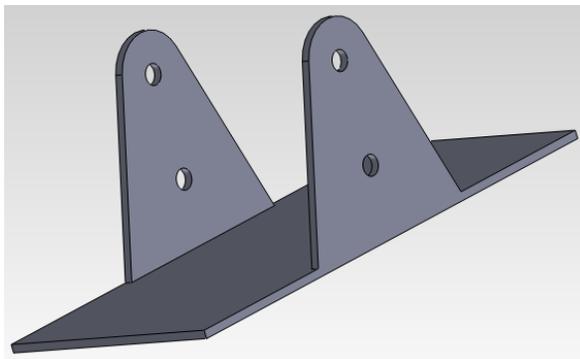
**Fig 72. Platillo de Comparación**



**Fuente: Propia**

El platillo de comparación es donde se encuentra el contrapeso, es la medida de peso con la cual se van a comparar las piezas del sistema.

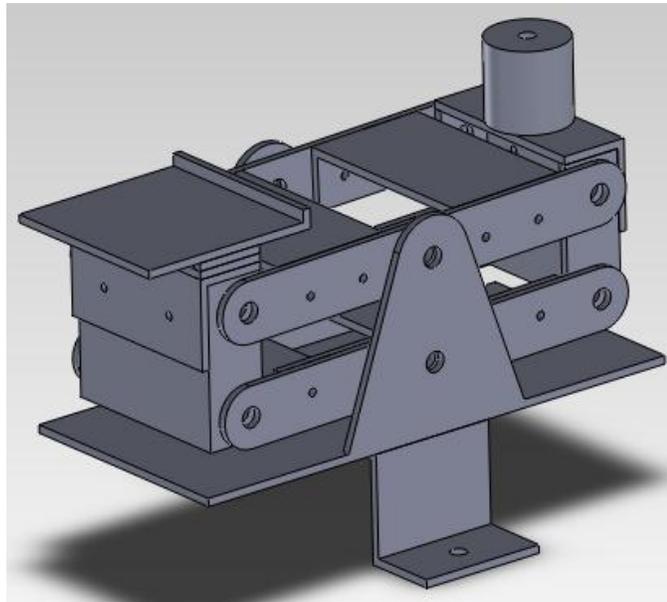
**Fig 73. Soporte de la Balanza**



**Fuente: Propia**

El soporte de la balanza es el que sostiene el instrumento y hace trabajar al mismo, ayudándonos a reconocer cuál de los elementos comparados es más pesado, si el contrapeso o las piezas del SPM-V1ZR.

**Fig 74. Balanza Ensamblada**



**Fuente: Propia**

### **3.2.3.2 Construcción de la Balanza**

Al igual que los elementos anteriores la balanza ha sido manufacturada por la empresa MIRLO S.A y para los posteriores elementos en aluminio liso AISI 1020 de igual manera. Para los planos de las diferentes partes que conforman la balanza, así como el plano de la balanza en conjunto. (VER ANEXO A)

En la figura 75, se puede observar la balanza completamente culminada y entregada por la empresa mencionada.

**Fig 75. Balanza Manufacturada**

**Fuente: Propia**

### **3.2.3.3 Actuator Neumático B**

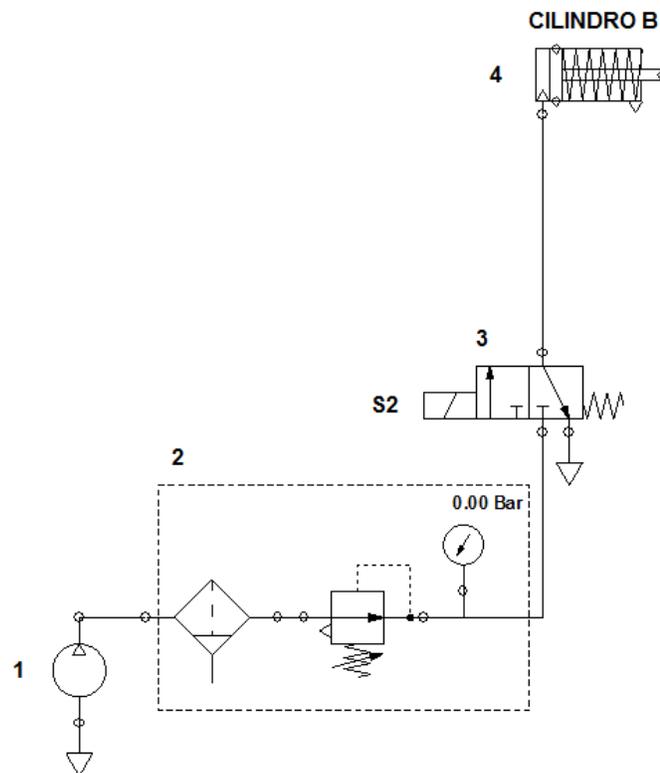
Para la selección del actuador neumático B se consideran todos los parámetros analizados en la sección 3.2.2.5, ya que el factor primordial es la carrera del cilindro que para este caso es la misma que el actuador neumático A.

### 3.2.3.4 Circuito de potencia neumático

El proceso de la estación de pesado consiste en censar las diferentes piezas que llegan de la estación cargador y si dichas piezas no cumplen con el peso requerido del SPM-V1ZR deben ser desalojadas mediante la manipulación de un cilindro de simple efecto. La fuente de aire comprimido proviene del compresor alimentador del SPM-V1ZR con su respectivo depósito de almacenamiento y la unidad de mantenimiento.

La figura 76 y la tabla 20 muestran los elementos neumáticos a utilizar.

**Fig 76. Circuito de Potencia Neumático de la estación de pesado**



**Fuente: Propia**

**Tabla 20. Elementos neumáticos de la estación de pesado**

<b>Numeración</b>	<b>Elemento</b>
1	Compresor con deposito
2	Unidad de Mantenimiento ( filtro, regulador, manómetro)
3	Válvula 3/2 con accionamiento eléctrico
4	Cilindro de simple efecto

**Fuente: Propia**

### **3.2.3.5 Selección del Actuador lineal Neumático**

La selección se realizó en base a los mismos fundamentos de la sección 3.2.2.7, en la cual se ha seleccionado un cilindro de simple efecto MCMI-1-16-50. El actuador neumático B al igual que el A basa su construcción en función de la norma ISO 6432.

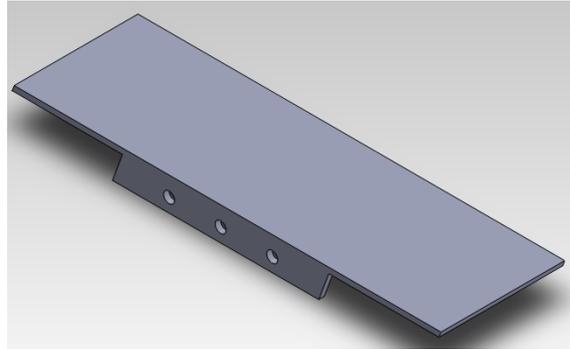
Para fijar el cilindro a la bancada y ser integrado a la estación de pesado se ha diseñado un soporte similar al de la figura 63 (VER ANEXO A).

### **3.2.3.6 Diseño CAD de la Rampa de Desalojo**

La Rampa de desalojo es donde van a terminar las piezas que no cumplen con los requisitos de peso del SPM-V1ZR, dichas piezas van a ser sacadas del sistema por el actuador neumático B.

La rampa de desalojo de la estación de pesado está constituida por tres partes, las mismas que se encuentran a continuación:

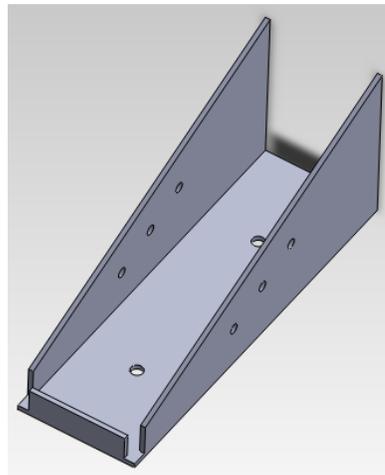
- Rampa: es por donde la pieza desalojada va a caer para salir del sistema. En la figura 77, se muestra la rampa.

**Fig 77. Rampa**

**Fuente: Propia**

- Base: es donde la rampa se va a colocar para tener una buena fijación.

En la figura 78, se muestra la base.

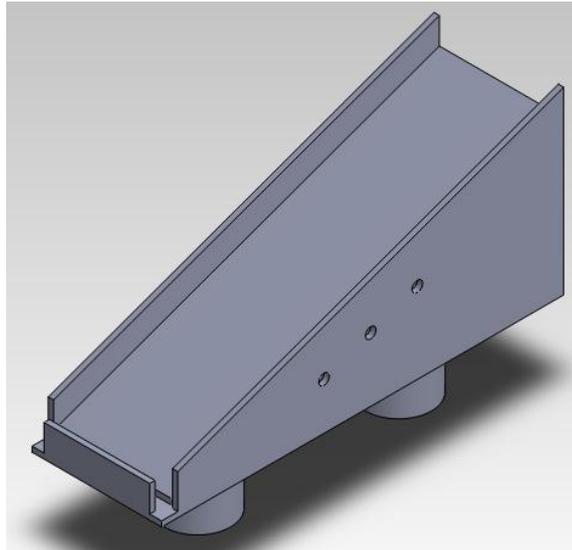
**Fig 78. Base**

**Fuente: Propia**

- Alzas: se decidió poner alzas en la rampa para que las piezas que son desalojadas del sistema no caigan una distancia excesiva que pueda llegar dañar la rampa.

En la figura 79, se muestra la rampa de salida ensamblada para su posterior manufactura.

**Fig 79. Rampa de Desalojo**



**Fuente: Propia**

### **3.2.3.7 Construcción de la Rampa de Desalojo**

En el Anexo A se muestran los planos de las diferentes partes que conforman la rampa de desalojo, así como el plano de la rampa de desalojo en conjunto. En la figura 80, se puede observar la rampa de desalojo.

**Fig 79. Rampa de Desalojo****Fuente Propia**

### **3.2.4 Estación pick & place**

La estación pick & place es la encargada de trasladar las piezas de una estación a otra, en este caso, desde la estación de pesado hacia la banda transportadora.

#### **3.2.4.1 Introducción**

En cualquier equipo automático de montaje hay que trasladar, orientar y montar piezas. Estas tareas están a cargo de sistemas de manipulación automática de piezas. Los más conocidos y eficientes son los robots industriales. En muchos casos es suficiente utilizar equipos de manipulación más sencillos para solucionar tareas de manipulación para el montaje de piezas.

Las características de todos los sistemas de manipulación se definen según los siguientes criterios de cantidad de ejes, velocidad, precisión y espacio de trabajo.

Una de las partes más importantes de un equipo de manipulación son las pinzas o gripper, que se encargan de sujetar las piezas. Existen varios tipos de pinzas:

- Pinzas mecánicas con dos o tres dedos, que sujetan la pieza de modo parecido que una mano humana. Pero como estas pinzas no son tan versátiles y flexibles como los dedos de una mano real, es necesario adaptarlas a las piezas que deben sujetar.
- Los conjuntos de aspiración sujetan las piezas mediante vacío. Los conjuntos de aspiración son especialmente apropiados para sujetar piezas de superficies planas y lisas, y no lo son para piezas porosas, ya que no permiten generar el nivel de vacío necesario.
- Las pinzas magnéticas son apropiadas para sujetar piezas imantadas.
- Las pinzas de sujeción por adhesión tienen una cinta adhesiva para fijar las piezas. Este tipo de pinzas no se utilizan con mucha frecuencia, ya que son muy sensibles a la suciedad.

Considerando que las tareas de manipulación más frecuente que realizan los equipos automáticos de dos ejes consiste en recoger (pick) una pieza de un cargador y colocarla (place) o montarla en otro lugar, estos equipos se llaman de pick & place.

### 3.2.4.2 Diseño del sistema

El sistema de pick & place consta básicamente de dos elementos, el primero para sujetar la pieza en una estación y soltarla en la siguiente, y el segundo para trasladar ese elemento entre estaciones.

En la tabla 21 se realiza una matriz de decisión para seleccionar el tipo de manipulación.

**Tabla 21. Matriz de decisión manipulador.**

Factor	Factor de ponderación	Pinza Mecánica	Sistema de aspiración por vacío	Pinza magnética
<b>Sujeción Plástico</b>	3	9	9	1
		2.7	2.7	0.3
<b>Sujeción metal</b>	3	9	7	9
		2.7	2.1	2.7
<b>Fuerza</b>	2	9	9	10
		1.8	1.8	2
<b>Costo</b>	1	8	6	7
		0.8	0.6	0.7
<b>Didáctico</b>	1	8	8	8
		0.8	0.8	0.8
<b>TOTAL</b>	10	<b>8.8</b>	8	6.5

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores de la matriz se ha tomado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable al sistema y 10 muy favorable.

Los factores con mayor grado de ponderación son la capacidad para sujetar piezas plásticas y de metal que son las utilizadas en el SPM-V1ZR, por tanto se

ha seleccionado como método de manipulación la utilización de una pinza mecánica neumática.

Para el sistema de traslación de las piezas se realiza una matriz de decisión como se muestra en la tabla 22, para seleccionar el tipo de actuador que permitirá mover la pieza de una estación a otra.

**Tabla 22. Matriz de decisión del tipo de actuador.**

Factor	Factor de ponderación	Mecanismo piñón cremallera	Actuador Giratorio Neumático	Motor a pasos.
<b>Costo</b>	2	8	8	9
		2.4	2.4	2.7
<b>Torque</b>	2	9	9	7
		2.7	2.7	2.1
<b>Dificultad de Control</b>	3	7	9	7
		1.4	1.8	1.4
<b>Velocidad</b>	2	7	8	8
		0.7	0.8	0.8
<b>Didáctico</b>	1	9	9	9
		0.9	0.9	0.9
<b>TOTAL</b>	10	8.1	<b>8.6</b>	7.9

**Fuente: Propia**

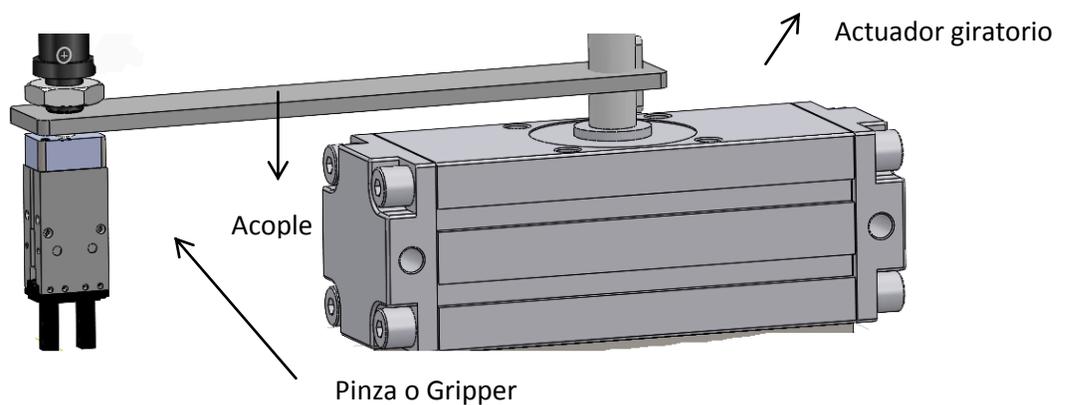
Para evaluar los factores de la matriz se ha tomado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable al sistema y 10 muy favorable.

El factor de mayor ponderación es la dificultad de control del elemento, es por esto que se ha seleccionado un actuador giratorio neumático en el cual el ángulo de giro viene preestablecido o es variable, y el control del elemento se lo puede realizar fácilmente mediante electroválvulas, al contrario de un motor a

pasos, el cual necesita un algoritmo de control electrónico para posicionar el motor en la posición deseada, y un mecanismo piñón - cremallera construido artesanalmente que no brinda garantías. Cabe recalcar que un actuador giratorio neumático contiene un mecanismo de las características antes descritas pero que ha sido producido en serie con altos niveles de calidad.

De acuerdo a la selección realizada el diseño de la estación pick & place se muestra en la figura 80, donde se observa la disposición del actuador unido a la pinza o gripper mediante un acople o brazo.

**Fig 80. Diseño de estación pick & place**



**Fuente: Propia**

### 3.2.4.3 Selección de la pinza o gripper.

Para la selección de una pinza o gripper es necesario conocer el tipo de aplicación que tendrá, para nuestro caso, se realizara una matriz de decisión en la tabla 23 entre un gripper angular y paralelo.

**Tabla 23. Matriz de decisión tipo de pinza.**

Factor	Factor de ponderación	Pinza paralela	Pinza angular
<b>Costo</b>	5	6	9
		3	4.5
<b>Funcionalidad</b>	3	9	9
		2.7	2.7
<b>Disponibilidad</b>	2	6	9
		1.2	1.8
<b>TOTAL</b>	10	6.9	<b>9</b>

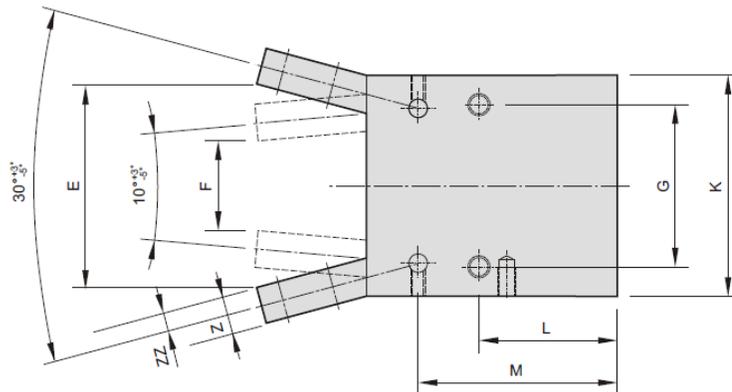
**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores de la matriz se ha tomado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable al sistema y 10 muy favorable.

En este caso, el factor de mayor ponderación es el costo, ya que en el mercado el costo de una pinza paralela supera en una relación de 3 a 1 al costo de la angular, después la funcionalidad en el SPM-V1ZR es la misma por tratarse de piezas cilíndricas, es decir, cualquiera de los dos tipos de pinzas son útiles para esta aplicación, pero el costo es un factor determinante, es por esto, que se utilizara una pinza angular.

Una pinza neumática al igual que un cilindro, posee como especificación diámetro del embolo y carrera, pero en este caso, es necesario seleccionar la pinza neumática en función de la longitud de cierre y apertura de la misma como se observa en la figura 81.

**Fig 81. Diagrama de una pinza angular**



**Fuente: Catálogo de grippers de Mindman, 2012.**

Como se observa en la figura 82 la longitud entre brazos de la pinza al cierre (sujeta elemento) es F, y en la apertura (suelta elemento) es E, en base a estos dos factores se realizara la selección de la misma, considerando que la longitud F debe ser como máximo de 40 [mm], es decir el diámetro de las piezas a manipular.

A continuación en la tabla 23 se ha seleccionado el gripper MCHA 32 del catálogo de la empresa Mindman en función de la longitud de los brazos en la apertura y cierre.

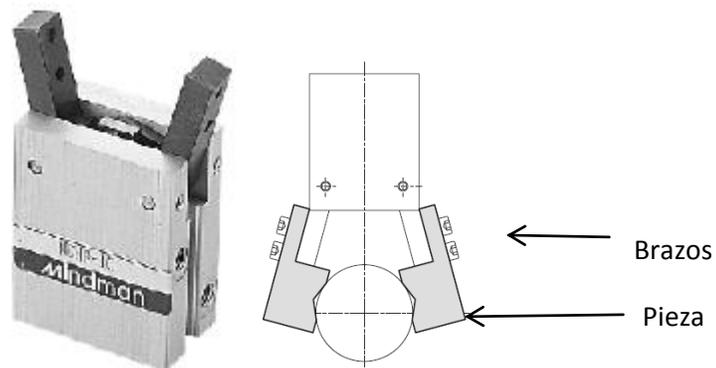
**Tabla 24. Selección de la pinza neumática.**

Code Tube I.D.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
12	15.4	3	6	7	26.3	9	20	7.5	10.2	23.5	28	20	32.9
16	17.5	3	8	9	31.1	14	24	7.5	12	22	34	22.5	35
20	22	4	10	12	40.1	18	30	8	13	25	45	25	39.5
25	26	5	12	14	47.9	21	36	8.5	18	28	52	28.5	45.5
32	30	6	14	18	55.1	24	44	10.5	24	34	60	37.5	54

**Fuente: Catálogo de grippers de Mindman, 2012.**

Se tiene una longitud al cierre de 24 [mm] y una longitud de apertura de 55.1 [mm], suficientes para realizar las tareas de pick & place. En la figura 82 se muestra la forma en que la pinza sujetara las piezas a manipular.

**Fig 82. Sujeción de piezas**



**Fuente: Catálogo de grippers de Mindman, 2012.**

En la figura 83 se muestran las especificaciones técnicas de los modelos de pinzas neumáticas MCHA, que para nuestro caso es la MCHA 32.

**Fig 83 Especificaciones técnicas MCHA 32**

Model	MCHA					
Acting type	Double acting					
Tube I.D. (mm)	12	16	20	25	32	
Port size	M3×0.5	M5×0.8				
Medium	Air					
Operating pressure range	1.5~7 kgf/cm <sup>2</sup> (0.15~0.7 MPa)					
Ambient temperature	-5~+60°C (No freezing)					
Max frequency	180 Cycles/min					
Lubrication	Cylinder	Not required				
	Lever	Grease				
Max arm length (L) ※	30	40	60	70	85	
Clamp / Release angle	-10~30°					
Theorem moment (M) ※	Closed	0.4×P	0.9×P	1.7×P	3.4×P	6.1×P
	Open	0.5×P	1.2×P	2.3×P	4.4×P	8.1×P
Clamping force (F) ※	F = M / L × 0.85					
Sensor switch	RCE, RCE1					
Weight (g)	53	103	193	327	525	

※ L : Arm length (mm), M : Theorem moment (kgf-cm),  
F : Clamping force (kgf), P : Operating pressure (kgf/cm<sup>2</sup>).

**Fuente: Catálogo de grippers de Mindman, 2012.**

Como se observa en la figura 84 la pinza neumática seleccionada es de doble efecto, tiene un rango permisible de presión de alimentación de hasta 7 [bar], y frecuencia de 180 [ciclos/min].

#### 3.2.4.4 Selección del actuador giratorio

El actuador giratorio neumático es el componente encargado de transportar la estación pick & place entre la estación pesado y la estación banda transportadora del SPM-V1ZR, es decir, mediante la acción del giro permite que la pinza o gripper cumpla su función de sujetar y soltar las piezas.

En la tabla 25 se realiza una matriz de decisión para seleccionar el tipo de actuador que se utilizara en función del ángulo de giro.

**Tabla 25. Matriz de decisión tipo de actuador giratorio**

Factor	Factor de ponderación	Actuador 90°	Actuador 180° regulable.
<b>Costo</b>	3	8	6
		2.4	1.8
<b>Funcionalidad</b>	5	9	9
		4.5	4.5
<b>Disponibilidad</b>	2	8	7
		1.6	1.4
<b>TOTAL</b>	10	<b>8.5</b>	<b>7.7</b>

**Fuente: Propio**

Para evaluar los factores de la matriz se ha tomado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable al sistema y 10 muy favorable.

Como se muestra en la tabla 24 el factor de mayor ponderación es la funcionalidad, en lo que respecta a la aplicación que va cumplir el actuador giratorio dentro del SPM-V1ZR, ya que con 90° de giro es suficiente para trasladarse entre estaciones. Los actuadores neumáticos son empleados en su mayoría para realizar tareas de control en la apertura o cierre de válvulas, y todavía más los actuadores regulables que son utilizados para control proporcional. De esta manera si se selecciona un regulable se estaría desperdiciando sus prestaciones. El costo también es un factor decisivo ya que el de un actuador regulable es superior al de un actuador con ángulo de giro fijo.

La aplicación del actuador giratorio en el SPM-V1ZR es netamente didáctica, y considerando que los cálculos de diseño se basan en establecer el

torque de giro necesario para romper la inercia por la presión que ejerce el fluido sobre la compuerta de la válvula, se decide realizar la selección en base al ángulo de giro, tamaño y peso.

En la tabla 26 se muestra la selección del actuador.

**Tabla 26. Selección del actuador neumático**

Model	Air Source Pressure						
	2	3	4	5	6	7	8
GTD40	3.9	5.8	7.7	9.6	11.5	13.3	15.2
GTD52	8.32	12.48	16.64	20.8	24.96	29.1	33.2
GTD63	12.2	18.3	24.4	30.5	36.3	42.8	48.9
GTD83	29.6	44.4	59.2	74	88.8	103.6	118.4
GTD110	74.5	111.7	149	186.2	223.5	260.5	298
GTD127	119	178.5	238	297.9	357	416.5	476.5
GTD160	236	354.6	472	591	709	827	945
GTD190	444	667	889	1111	1334	1556	1778
GTD210	488	733	977	1222	1466	1710	1955
GTD255	1081	1621	2162	2702	3243	3783	4324
GTD300	1662	2493	3326	4156	4987	5818	6650
GTD350	2640	3960	5280	6600	7920	9240	10560

**Fuente: Sitio web, Jimai automatic machinery, 2012.**

El actuador neumático GTD63 (VER ANEXO C) es un actuador giratorio de doble efecto con diámetro del embolo de 63 [mm] y ángulo de giro 90° y para

seleccionarlo se ha considerado su disponibilidad inmediata en el mercado nacional, así como su precio, que en relación a otras marcas es mucho más conveniente. El torque de salida con una presión de mínima de alimentación de 3 [bar] es 18.3 [N.m], lo que resulta un valor elevado, que será controlado mediante una válvula reguladora anti retorno para impedir que el giro de toda la estación sea brusca.

En la figura 84 se muestra el actuador neumático seleccionado.

**Fig 84. Actuador Jimai GTD63**



**Fuente: Sitio web, Jimai automatic machinery, 2012.**

Entre las características del El GTD63 están:

- Posee una estructura de engranajes compactados de doble pistón y bastidor para efectuar el acoplamiento.
- El cilindro es de aleación de aluminio extruido con tratamiento de anodizado duro que brinda excepcional resistencia al desgaste.

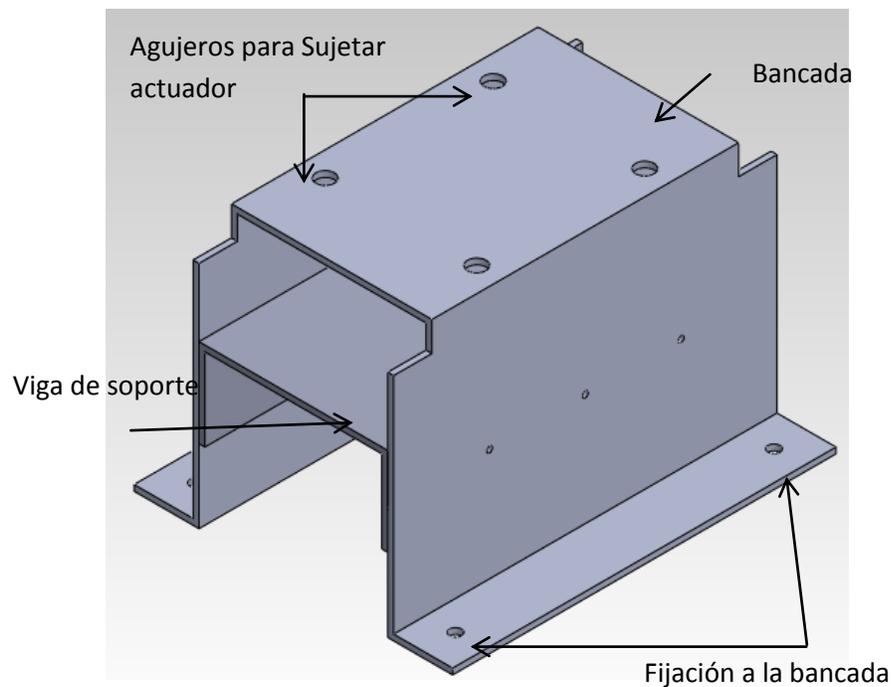
- Las partes móviles del pistón y el eje de salida están dotadas de resistente al desgaste para evitar el contacto directo de metal a metal y para reducir la abrasión y la fricción.

### 3.2.4.5 Diseño CAD bancada actuador neumático.

Para montar el actuador neumático a la mesa de sujeción del SPM-V1ZR es necesario realizar el diseño CAD de la bancada que cumplirá la función de soporte del elemento, que permite el movimiento de traslación de la estación pick & place.

En la figura 85 se muestra el diseño CAD de la bancada del actuador giratorio neumático.

**Fig 85. Diseño CAD bancada actuador neumático**



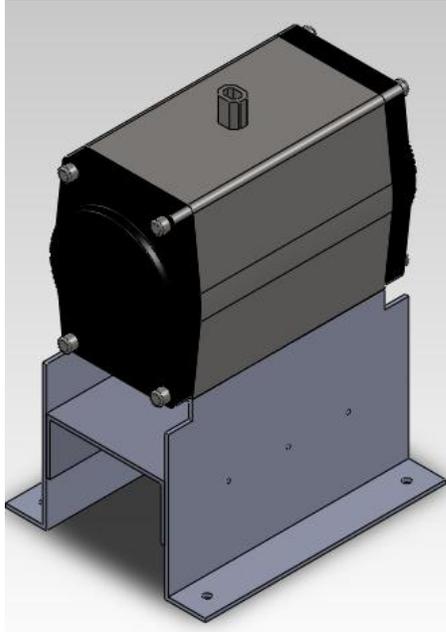
Fijación a la bancada

Principal.

**Fuente: Propia**

En la figura 86 se muestra el actuador neumático ensamblado en la bancada o soporte.

**Fig 86. Actuador con bancada**



**Fuente: Propia**

#### **3.2.4.6 Construcción bancada actuador neumático.**

Para los planos de las diferentes partes que conforman bancada del actuador (VER ANEXO A). En la figura 87, se puede observar la construcción de la bancada para el actuador.

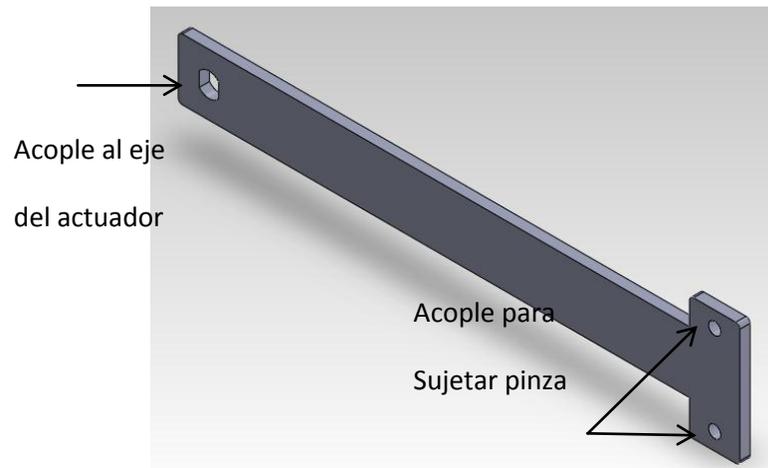
**Fig 87. Bancada manufacturada**



**Fuente: Propia**

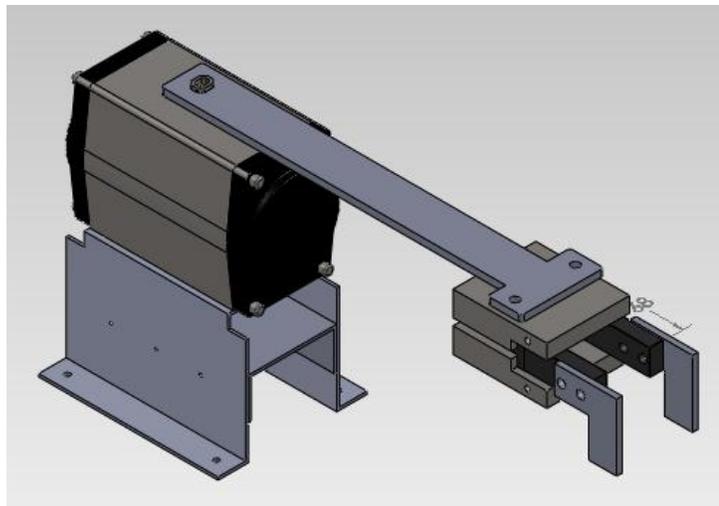
#### **3.2.4.7 Diseño CAD brazo de giro.**

El brazo de giro de la estación pick & place es el encargado de unir el actuador neumático giratorio con la pinza, de tal manera debe ser diseñado para acoplar el eje de giro del actuador con los agujeros de sujeción del gripper. En la figura 88 se muestra el diseño CAD del brazo de giro.

**Fig 88 Diseño CAD brazo de giro**

**Fuente: propia**

En la figura 89 se muestra el diseño CAD final de la estación Pick & Place.

**Fig 89. Diseño CAD estación Pick & Place**

**Fuente: Propia**

### 3.2.4.8 Construcción brazo de giro

Para los planos de las diferentes partes que conforman el brazo de giro (VER ANEXO A). En la figura 90, se puede observar el brazo de giro uniendo la pinza con el actuador neumático.

**Fig 90. Brazo de giro con pinza y actuador**



**Fuente: Propia**

### 3.2.4.9 Circuito de potencia neumático

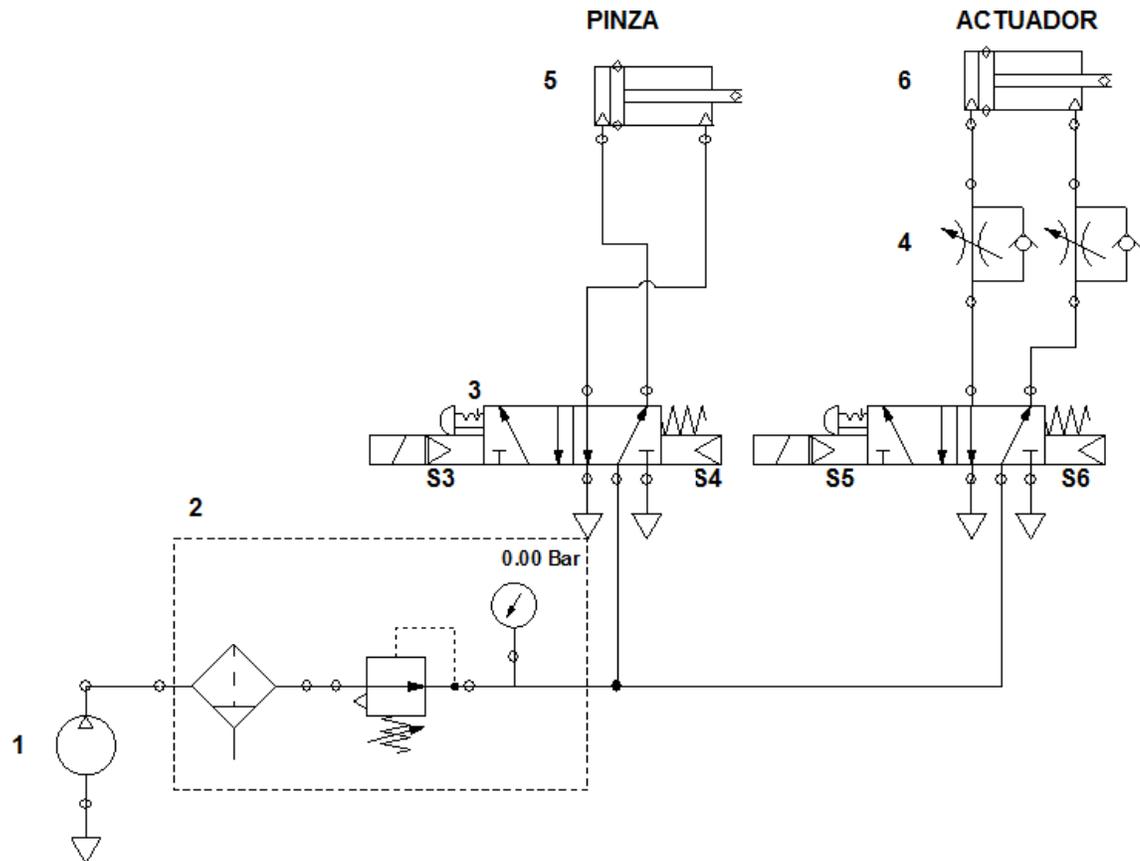
El diseño de potencia neumático es importante pues así se determinan los componentes necesarios para la instalación que permite el correcto funcionamiento de la estación pick & place.

La función del gripper es sujetar y soltar las piezas entre la estación de pesado y banda transportadora del SPM-V1ZR a través del actuador giratorio neumático que permite trasladarlo entre estación y estación. Para realizar el diagrama de potencia se considera a la pinza como un cilindro neumático de

doble efecto N.A y al actuador giratorio de igual manera pero N.C. La fuente de aire comprimido proviene del compresor alimentador del SPM-V1ZR con su respectivo depósito de almacenamiento y la unidad de mantenimiento.

La figura 91 y la tabla 27 muestran los elementos neumáticos a utilizar.

**Fig 91. Circuito de Potencia Neumático de la estación pick & place**



**Fuente: Propia**

**Tabla 27. Elementos neumáticos de la estación de pesado**

<b>Numeración</b>	<b>Elemento</b>
1	Compresor con depósito.
2	Unidad de Mantenimiento ( filtro, regulador, manómetro)
3	2 Válvulas 5/2 N.C, con accionamiento eléctrico, doble piloto interno, control manual con muelle de recuperación.
4	2 válvulas reguladoras anti retorno.
5	Pinza MCHA 32
6	Actuador neumático GTD63

**Fuente: Propia**

### 3.2.4.10 Estudio CAE de la estación.

Para asegurar el buen funcionamiento de la estación pick & place es imprescindible comprobar que el fenómeno de deformación no se presente en el brazo de giro, pues al existir una distancia entre el actuador neumático y la pinza existe la posibilidad de deformación debido a la flexión a la que está expuesto el brazo en el extremo donde sujeta la pinza y la pieza. El objetivo de esta sección es evitar que el brazo se flexione verticalmente generando una distorsión en el funcionamiento del SPM-V1ZR. Para realizar un análisis de deformación se recurrirá al análisis por elementos finitos CAE del software Solidworks, en el cual simularemos la carga vertical generada por el peso de la pinza y las piezas.

Para determinar la carga ejercida sobre el extremo del brazo que sujeta la pinza y las piezas basta con aplicar la ecuación 13.

$$F_c = mg = (m_{pinza} + m_{Pieza\ metalica})g$$

Dónde:

$$F_C = \text{Fuerza extremo brazo de giro [N]}$$

$$m_{pinza} = \text{Masa total de la pinza [Kg]}$$

$$m_{pieza\ metalica} = \text{Masa total pieza metalica [Kg]}$$

$$g = \text{gravedad} \approx 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

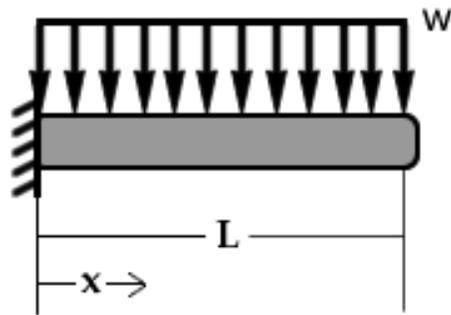
Se ha considerado realizar el estudio con la pieza metálica debido a que es la más pesada que transportara la estación.

El valor total de la masa de la pinza neumática es 0.525 [Kg] según la figura 83, y de la pieza metálica 0.18 [Kg], de tal manera la masa final es 0.705 [Kg].

Al reemplazar los datos descritos en la ecuación 13 se obtiene un valor de  $F_C = 6.9 [N]$ , el cual será utilizado para análisis estático de deformación.

Para calcular la deformación máxima del soporte con los datos mencionados se considera una viga en voladizo con la aplicación de una fuerza en el extremo como se observa en la figura 92 dónde W (Peso) y L (Longitud)

Fig 92. Viga en Voladizo



Fuente: Norton, 2008.

Para calcular desplazamientos cortos se recurre a siguiente ecuación, la cual ha sido deducida de la fórmula de Euler- Bernoulli que relaciona el momento flector con el radio de curvatura generado por la aplicación de la fuerza.

$$Y_{max} = \frac{F_c L^3}{3EI}$$

EC 14

Dónde:

$F_c =$  Fuerza extremo brazo de giro [N]

$Y_{max} =$  Deformación máxima [mm]

$L =$  Longitud de la viga [mm]

$E =$  Módulo de elasticidad  $\left[ \frac{N}{m^2} \right]$

$I = \text{Inercia de la sección transversal de la viga [mm}^4\text{]}$

Para calcular la inercia se utiliza la ecuación 15 correspondiente a secciones rectangulares.

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

EC 15

Dónde:

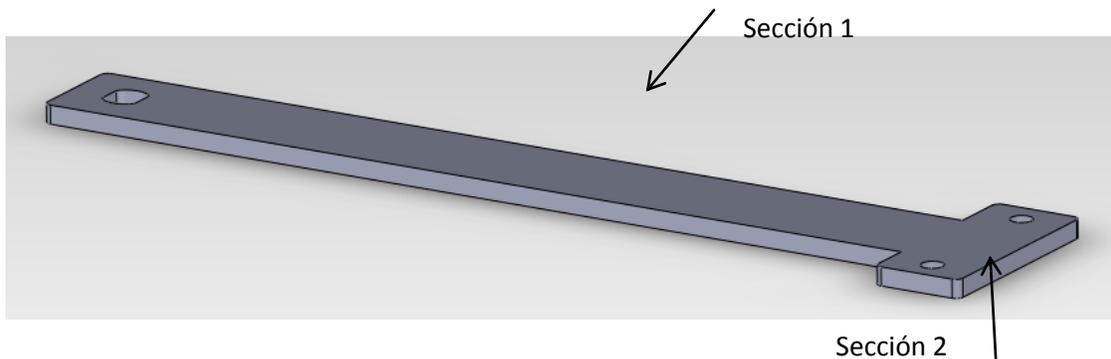
$I = \text{Inercia de la sección Transversal [mm}^4\text{]}$

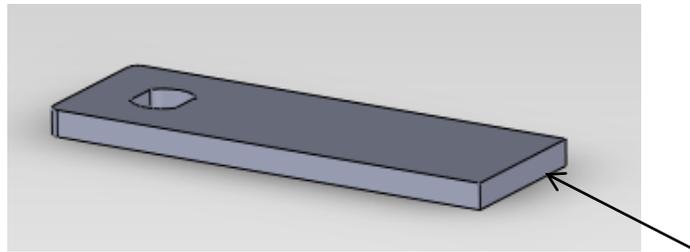
$b = \text{base paralela al eje de flexión [mm]}$

$h = \text{Altura de la sección transversal [mm]}$

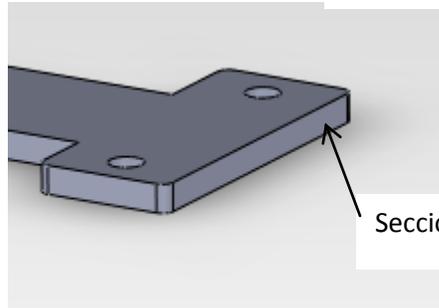
Para calcular la inercia de la sección transversal de la pieza en cuestión es necesario dividirla en 2 secciones como se muestra en la figura 93.

**Fig 3.57 Secciones Transversales Acople.**





Sección Transversal 1



Sección Transversal 2

### Fuente: Propia

Para la sección transversal 1 el valor de  $b = 30[mm]$  y  $h = 5[mm]$ , para la sección transversal 2 el valor de  $b = 56.5[mm]$  y  $h = 5[mm]$ . Reemplazando estos valores en la ecuación 15 se obtiene un valor de inercia  $I = 901[mm^4]$ .

Conociendo los valores de  $F_s = 6,9 [N]$ ;  $L = 260[mm]$ ;  $E = 2 \times 10^{-11} \left[ \frac{N}{m^2} \right]$  y reemplazándolos en la ecuación 14 se obtiene un valor de desplazamiento máximo de  $Y_{max} = 0,2243 [mm]$

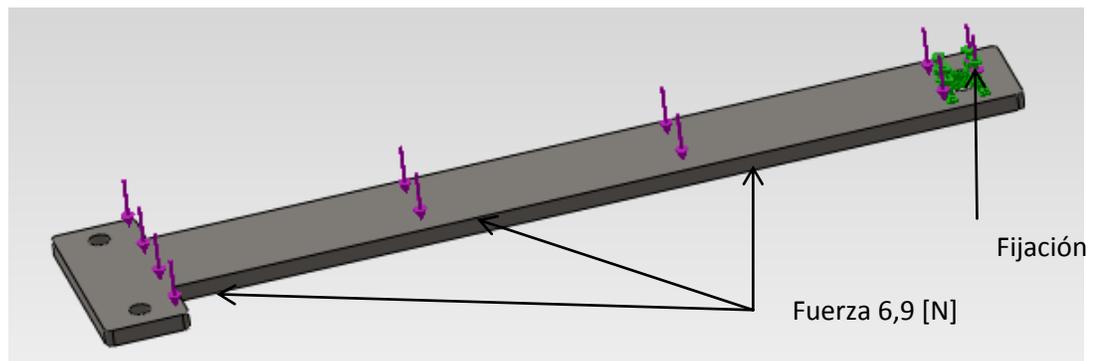
Para realizar el estudio CAE del fenómeno, se han aplicado las siguientes consideraciones a los elementos, mostrados en la tabla 28.

**Tabla 28. Parámetros estudio de deformación.**

Componente	Material	Fijación	Fuerza [N]
Brazo de giro	Acero A 36	actuador	Pinza 6,9

**Fuente: Propia**

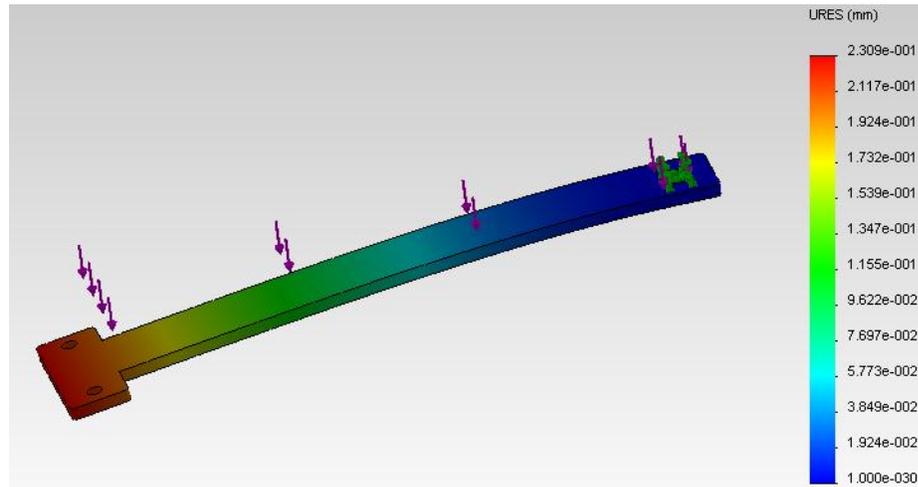
En la figura 94 se muestra el estudio estático donde la fijación es aplicada en el eje del actuador neumático giratorio y la fuerza vertical que es ejercida sobre el extremo del brazo que sujeta la pinza con la pieza, y que se distribuye a lo largo del mismo.

**Fig 94. Aplicación de cargas del cilindro**

**Fuente: Propia**

El informe de resultados (VER ANEXO B) del diseño CAE, ofrece un valor máximo de desplazamiento por deformación del brazo de giro de la estación pick & place  $\Delta_{max} = 0.23[mm]$ , como se observa en la figura 95, el cual es despreciable y no afecta al sistema.

**Fig 95. Desplazamiento del vástago por pandeo.**



**Fuente: Propia**

Para comprobar que los resultados del software de modelamiento CAE son correctos se compara los valores obtenidos analíticamente mediante el cálculo de la deformación máxima de la ecuación 14  $Y_{max} = 0,2243 [mm]$  y los resultados del software  $Y_{max} = 0,23 [mm]$  obteniendo un error del 2.67%, el mismo que es aceptable.

### 3.2.5 Banda Transportadora

Para determinar qué tipo de banda transportadora se va a manufacturar, en la tabla 29, se muestra la matriz de decisión dependiendo del tipo de bandas que existen y se pueden manufacturar en el mercado local.

**Tabla 29. Matriz de decisión Banda Transportadora a ser manufacturada**

Factor	Factor de ponderación	Banda de dos rodillos	Banda accionada por gravedad	Banda de múltiples rodillos
<b>Costo</b>	3	9	9	7
		2,7	2,7	2,1
<b>Manufactura</b>	3	9	8	7
		2,7	2,4	2,1
<b>Velocidad</b>	2	9	5	7
		1,8	1	1,4
<b>Espacio</b>	2	9	9	5
		1,8	1,8	1
<b>TOTAL</b>	10	<b>9</b>	7,9	6,6

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores de decisión se tomara un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. Según los diferentes factores la mejor opción de banda transportadora para ser manufacturada es la de Banda de dos rodillos.

Dicha banda es muy útil para el transporte de materiales livianos como madera y plástico, en el sistema SPM-V1ZR los elementos a ser transportados no sobrepasan los 300 [gr] y la distancia entre ejes no es superior a 60 [cm] lo que representa una banda corta.

### 3.2.5.1 Dimensionamiento Analítico de la Banda

Para el diseño de las medidas de la banda se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Dimensión de las piezas utilizadas en el SPM-V1ZR.

- Rango de espacio para la activación de los actuadores dependiendo de la detección de los sensores.
- La banda va ser montada en la bancada por lo que se debe tomar en cuenta el espacio existente.

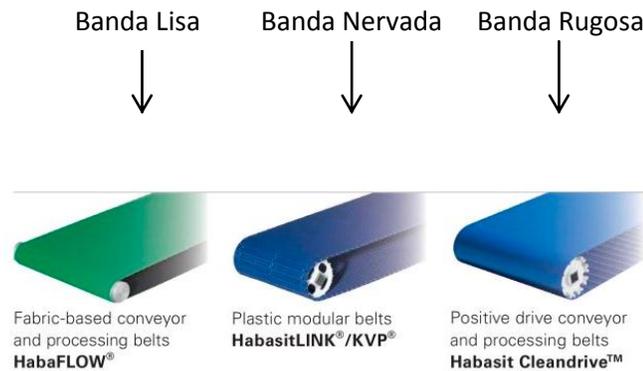
Después de tomar en cuenta los parámetros antes mencionados se llegó a la conclusión de que la banda transportadora debe tener las siguientes dimensiones: ancho de 46 [mm] y largo de 550 [mm].

### **3.2.5.2 Dimensionamiento de la Cinta**

Para el dimensionamiento de la cinta se debe tomar en cuenta que existen tres tipos de cintas horizontales, que son las siguientes y se pueden observar en la figura 96:

- Cinta Lisa: esta cinta es ocupada para transporte horizontal y de poca inclinación.
- Cinta Nervada: esta cinta es ocupada en instalaciones que contienen un elevado ángulo de transporte.
- Cinta Rugosa: esta cinta es ocupada en casos que se necesita un elevado coeficiente de rozamiento para transporte horizontal e inclinado por lo general de productos manufacturados.

**Fig 96. Tipos de Cintas Horizontales**



**Fuente: Sitio web de Habasit 2013**

Para el presente proyecto la cinta seleccionada es la cinta horizontal lisa ya que no se posee una inclinación y la distancia es corta, además se decidió utilizar la técnica de colocación llamada cinta transportadora sin fin, donde se toman las medidas deseadas, se corta la cinta y en la colocación se calientan sus lados con una prensa, que une los extremos deseados sin dejar marcas que pueden interrumpir o interferir en el proceso.

Se decidió colocar la cinta en la empresa Reprinter, ya que esta empresa trabaja con las cintas Habasit y utiliza la técnica de colocación de cinta transportadora sin fin.

La cinta seleccionada es la F-2EQWT, viene con un ancho de fábrica de 07 [mm], en el mercado este tipo de cintas son utilizadas para el transporte de productos alimenticios (galletas, pan, queso, confitería), además de alimentos sin empacar y procesamiento de carne, este tipo de banda se corta y acopla a

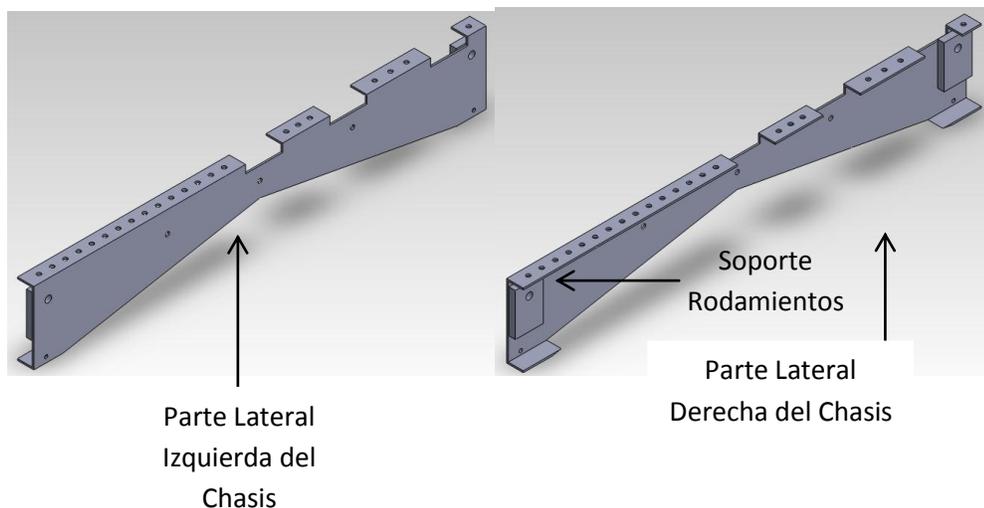
las medidas deseadas por lo que la longitud de la banda ensamblada es de 1105.4 [mm].

### 3.2.5.3 Diseño CAD de la Estructura de la Banda Transportadora

Como se mencionó en la sección 3.2.5, se va a diseñar una banda transportadora de dos rodillos, la cual por motivos de tamaño se decidió diseñarla sin templadores, la banda transportadora consta de varias partes.

La parte principal de la banda transportadora es el cuerpo o chasis, aquí es donde van sujetas los rodamientos con sus respectivos soportes, así como por apoyo didáctico y facilidad de manejo en el chasis se decidió colocar orificios en la parte superior del chasis para que posteriormente se puedan colocar implementos como sensores, en la figura 97, se muestra las piezas que componen el chasis

**Fig 97. Partes del Chasis**

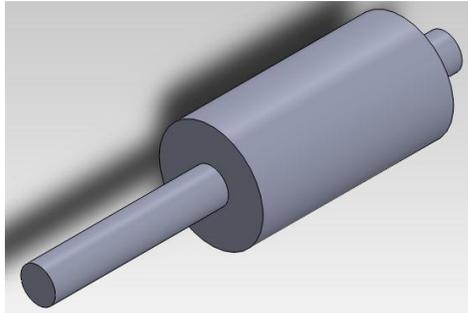


**Fuente: Propia**

La banda transportadora posee dos tambores que son:

- Tambor motriz: es al que se sujeta el acople del motor o el motor para el movimiento de la cinta transportadora. En la figura 98, se muestra el tambor motriz.

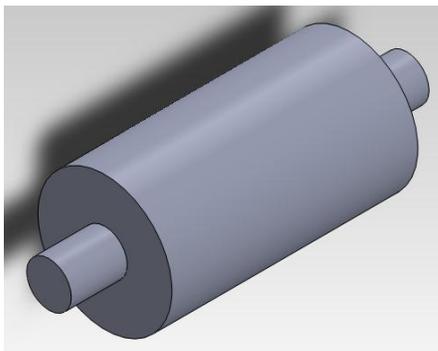
**Fig 98. Tambor Motriz**



**Fuente: Propia**

- Tambor de cola: es el asignado o encargado de realizar la función de cambio de trayectoria de la banda. En la figura 99, se muestra el tambor de cola.

**Fig 99. Tambor de Cola**

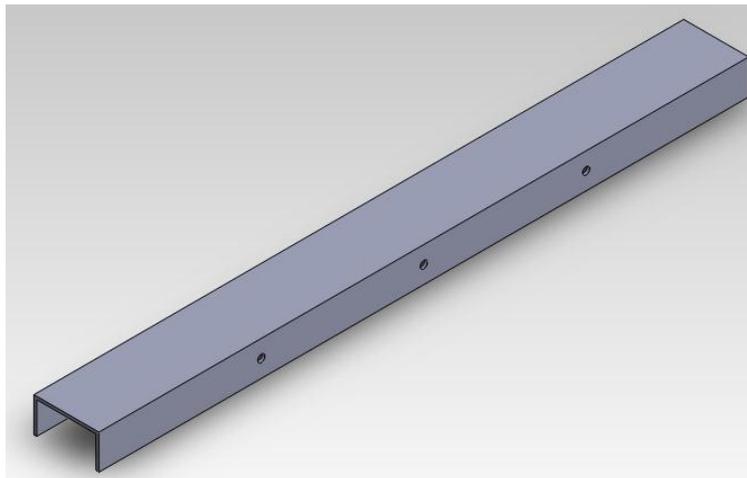


**Fuente: Propia**

La diferencia existente entre ambos tambores es la dimensiones de uno de los ejes laterales del tambor motriz ya que este es el que ayudara a la conexión con el acople o con el motor para el movimiento de la cinta transportadora.

La banda transportadora posee una mesa de apoyo para la cinta, esta mesa de apoyo mantiene a la cinta tensionada, este soporte se encuentra en la parte central del chasis de la banda, a una distancia de 20.5 [mm] de los tambores para que exista un correcto funcionamiento de la cinta y que no se genere un desgaste excesivo de la cinta. En la figura 100, se muestra la mesa soporte de la cinta.

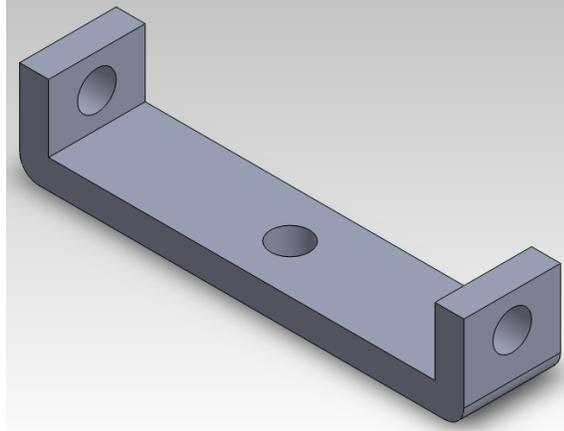
**Fig 100. Mesa soporte de la Cinta**



**Fuente: Propia**

Para la sujeción de la banda transportadora a la bancada se decidió crear unos componentes, que van ubicados en la parte inferior de la misma. Dichos componentes se muestran en la figura 101.

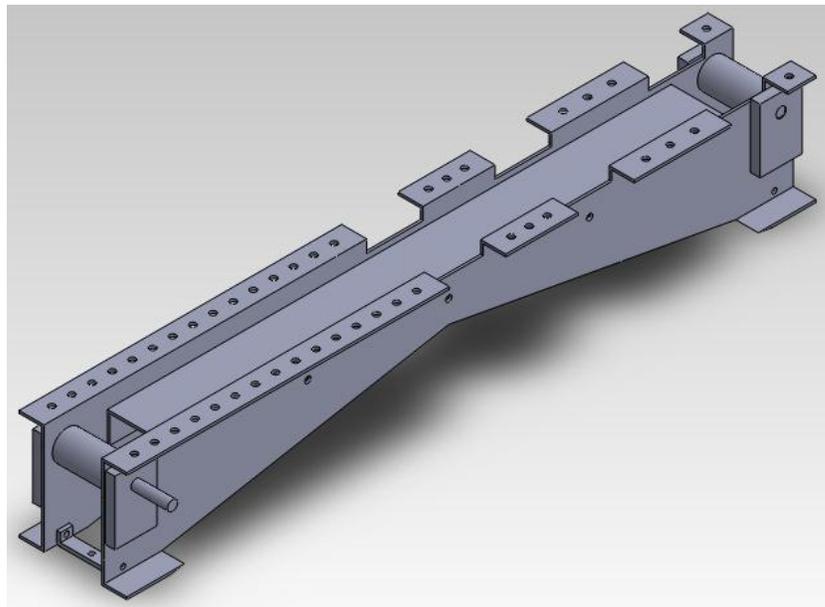
**Fig 101. Sujeción Banda Transportadora-Bancada**



**Fuente: Propia**

En la figura 102, se muestra el ensamble de toda estructura de la banda transportadora.

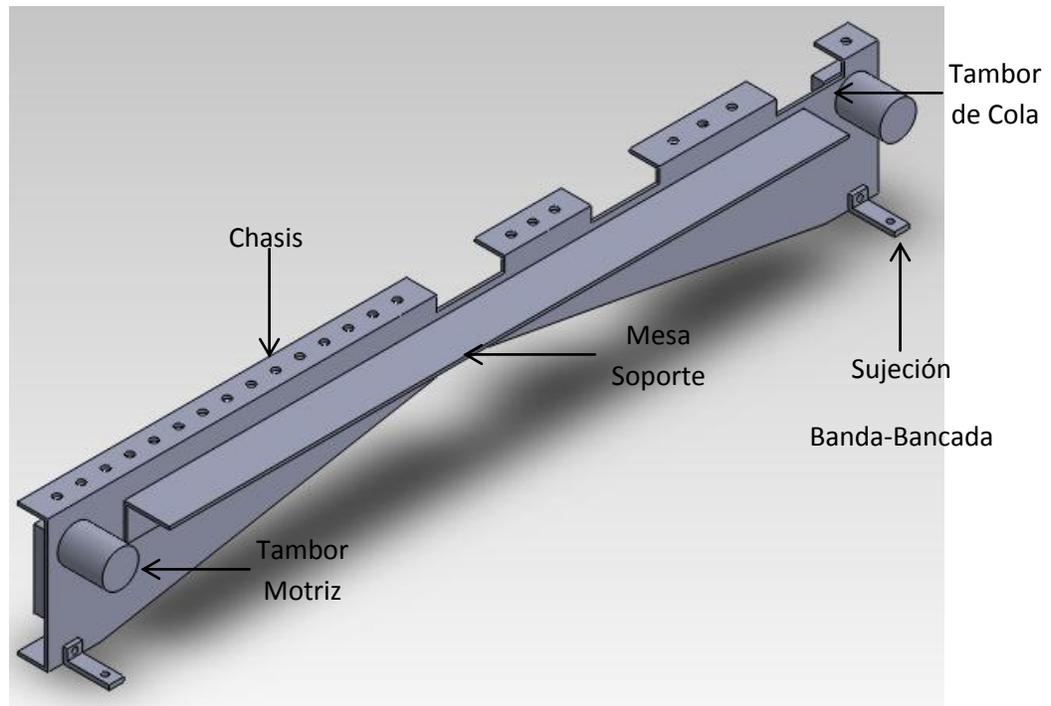
**Fig 102. Ensamble Estructura de la Banda Transportadora**



**Fuente: Propia**

En la figura 103, se muestra un corte del ensamble en el cual se pueden observar las diferentes partes constitutivas de la estructura de la banda transportadora.

**Fig 103. Ensamble estructura con partes constitutivas**



**Fuente: Propia**

#### **3.2.5.4 Selección del Rodamiento**

Los cuatro rodamientos adquiridos son de la marca NSK con un diámetro interno de 8 [mm] para que cumplan con un correcto funcionamiento. En la figura 104, se muestra el rodamiento adquirido.

**Fig 104. Rodamiento NSK**

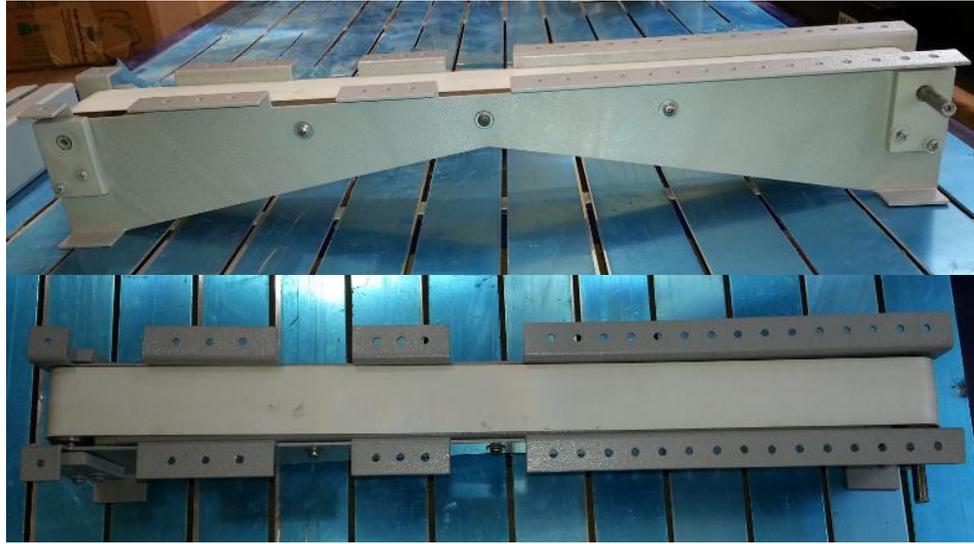
**Fuente: Propia**

### **3.2.5.5 Construcción de la Banda Transportadora**

La manufactura de las piezas se realizó en aleación de aluminio AISI 1020 y pintado al horno, mientras que los tambores fueron torneados en Acero A36.

La cinta transportadora con se explica en la sección 3.2.5.2, se realizó en la empresa Reprinter bajo las especificaciones de la estructura de la banda transportadora manufacturada.

En la figura 105, se muestra la banda transportadora en conjunto con la cinta transportadora finalizada.

**Fig 105. Banda Transportadora**

**Fuente: Propia**

Los planos de las partes constitutivas de la estructura de la banda transportadora, así como de la cinta transportadora se encuentran en el ANEXO A.

### **3.2.5.6 Selección del Motor**

El principal requisito de la banda transportadora es tener solo un sentido de giro (horario).

De acuerdo con las especificaciones técnicas de la cinta transportadora (VER ANEXO C) el coeficiente de fricción con la mesa de soporte va a ser de 0.20. La masa de la cinta es 0.75 [kg] por metro cuadrado de banda. Estos datos van ayudar a obtener valores de fuerzas que posteriormente ayudaran en la selección del motor.

Para el diseño se consideró una capacidad de carga máxima donde todo el juego de piezas van a estar sobre la banda transportadora simultáneamente, dándonos un total de peso de 2.05 [Kg], a este valor hay que sumarle el peso de la cinta transportadora.

La fuerza total que va a ser ejercida sobre el motor es la resultante de la suma de la masa total de la banda y la masa del juego de piezas por la gravedad, como se indica en la ecuación 16.

$$F_T = (m_{cinta} g) + (m_{piezas} g)$$

Ec 16

Dónde:

$$F_T = \text{fuerza total}$$

$$m_{cinta} = \text{masa de la banda}$$

$$m_{piezas} = \text{masa del juego de piezas}$$

$$g = \text{gravedad} \left( 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \right)$$

Al remplazar los datos de  $m_{cinta} = 0.00058$  [Kg] y  $m_{piezas} = 2.05$  [Kg] se obtiene que la  $F_T = 20.1$  [N].

La fuerza de rozamiento se calcula con la ecuación 17.

$$f_r = \mu N_{max}$$

Ec 17

Dónde:

$f_r$  = fuerza de rozamiento

$\mu$  = coeficiente de fricción

$N_{max}$  = fuerza normal maxima ejercida

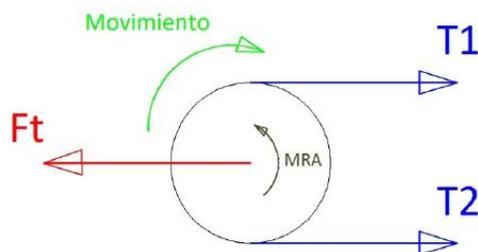
Al reemplazar los datos de  $\mu = 0.20$  y  $N_{max}$ , teniendo en cuenta que la  $N_{max}$  es la fuerza total ejercida ( $F_T = 20.1 [N]$ ), se obtiene un valor de  $f_r = 4.02 [N]$ .

Para obtener la fuerza de tensión de la cinta transportadora hay que tomar en cuenta que tanto el tambor motriz como el tambor de cola generan una fuerza de tensión. Considerando que la fuerza de tensión generada por los tambores es la adecuada para el correcto funcionamiento de la banda transportadora sin superar el máximo admisible.

Para obtener la fuerza de tensión se va a trabajar con los cuerpos libres de cada tambor.

### 3.2.5.6.1 Diagrama de Cuerpo libre del Tambor Motriz

Fig 106. DCL del Tambor Motriz



Fuente: Propia

Con la ayuda de la figura 106, se obtiene las siguientes ecuaciones.

$$F_t = T_1 + T_2$$

Ec 18

$$M_{RA} = (T_2 r) - (T_1 r)$$

Ec 19

Dónde:

$F_t$  = Fuerza de Tension

$T_1$  = Tension ejercida por la parte superior de la cinta

$T_2$  = Tension ejercida por la parte inferior de la cinta

$r$  = radio del tambor movil 12[mm]

A continuación se expresa la ecuación para el coeficiente en los rodamientos.

$$\mu_R = \frac{2M_{RA}}{F_t d}$$

Ec 20

Dónde:

$M_{RA}$  = Friccion producida en el Rodamiento

$d$  = diametro interno del rodamiento 8[mm]

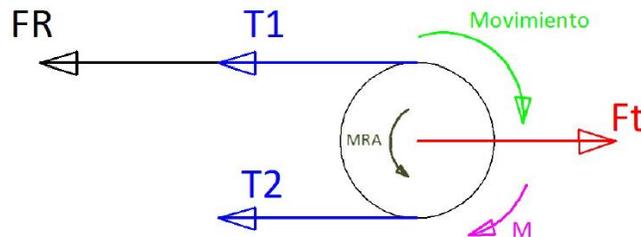
$\mu_R$  = Coeficiente de friccion rodamiento  $1.5 \times 10^{-3}$  (rodamientos de bolas)

Despejando  $M_{RA}$  de la ecuación 20 y remplazándola en la ecuación 18, y sabiendo que  $T_1$  va a ser la tensión admisible por la cinta transportadora  $\left(6 \left[\frac{N}{mm}\right]\right)$ , el valor real de  $T_1$  será de  $240[N]$  y de  $T_2 = 239.76 [N]$ .

Con los datos obtenidos anteriormente se puede conocer que el valor de  $M_{RA} = 2.88 [Nmm]$

### 3.2.5.6.2 Diagrama de Cuerpo libre del Tambor de cola.

Fig 107 DCL del Tambor de Cola



Fuente: Propia

Con la ayuda de la figura 107, se obtiene la ecuación para el momento del tambor.

$$M = (F_t r) + M_{RB}$$

Ec 21

Dónde:

$M =$  momento o torque requerido para el movimiento

$F_t =$  fuerza de tensión resultando de la  $\sum F (T_1 + f_r - T_2)$

$$r = \text{radio del tambor movil } 12[\text{mm}]$$

$$M_{RB} = \text{fricción producida en el rodamiento}$$

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación 19, y sabiendo que  $M_{RB} = M_{RA}$ , el valor del momento requerido para el movimiento es  $M = 55.92 [\text{Nmm}]$ .

Luego de obtener el valor de torque mínimo que se necesita para el motor, en la tabla 30 se realiza la matriz de decisión para seleccionar el tipo de motor.

**Tabla 30. Matriz de Decisión tipo de Motor**

Factor	Factor de ponderación	Servomotor (24 VDC)	Motor DC con reducción	Motor AC
<b>Costo</b>	1	8	8	9
		0,8	0,8	0,9
<b>Disponibilidad</b>	3	5	6	6
		1,5	1,8	1,8
<b>Tamaño</b>	2	9	9	5
		1,8	1,8	1
<b>Especificaciones</b>	2	7	8	6
		1,4	1,6	1,2
<b>Funcionalidad</b>	2	6	8	7
		1,2	1,6	1,4
<b>TOTAL</b>	10	6,7	<b>7,6</b>	6,3

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores se ha tomado un rango entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable para el sistema y 10 un valor muy favorable. Como se puede observar en la tabla 30, el motor más adecuado para el trabajo en el SPM-V1ZR es un motor DC con reducción, el factor más importante tomado en

cuenta es la disponibilidad del mismo, seguido por los factores de tamaño, especificaciones y funcionalidad.

Dentro de la Industria Ecuatoriana, existen motores del tipo seleccionado pero con la particularidad de que estos motores no son nuevos, tienen ya una vida de uso y por este motivo no se encontraba las especificaciones necesarias para la compra del motor, por lo que se decidió importar un motor del extranjero (EEUU).

De tal manera se escogió el motor Wondermotor con reducción, velocidad variable hasta 50 [RPM] y un torque de 11.5 [Nm], siendo mayor al deseado, lo que asegura el correcto funcionamiento de la banda. En la figura 108, se muestra el motor seleccionado.

**Fig 108. Motor Wondermotor**



**Fuente: Propia**

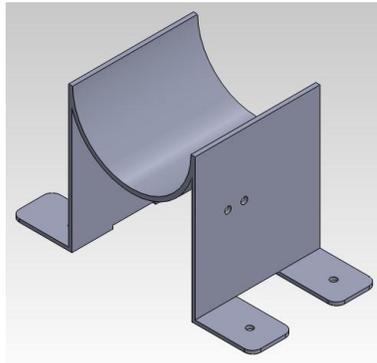
### 3.2.5.7 Diseño CAD del Soporte del Motor

El soporte para el motor debe cumplir con dos características, impedir que el motor este en movimiento fuera de posición, y sujetar el motor a la bancada o mesa de sujeción.

El soporte del motor está conformado de dos partes, una base en la cual se va a asentar el motor y con la cual se va a sujetar el soporte a la bancada, y un encapsulado que va a ayudar a que el motor se fije y no posea movimiento alguno.

En la figura 109, se muestra el diseño del soporte para la base del motor.

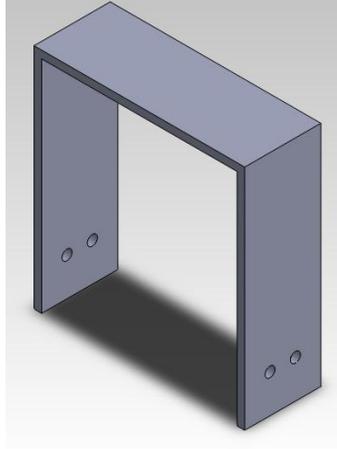
**Fig 109. Diseño CAD base del Soporte del Motor**



**Fuente: Propia**

En la figura 110, se muestra el diseño CAD del encapsulado que fija el motor al soporte.

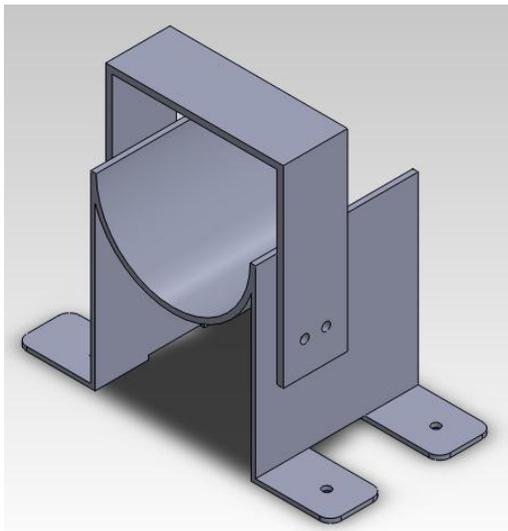
**Fig 110. Diseño CAD del encapsulado del Motor**



**Fuente: Propia**

En la figura 111, se muestra un ensamble del diseño CAD de ambas piezas.

**Fig 111. Diseño CAD del Soporte del Motor**



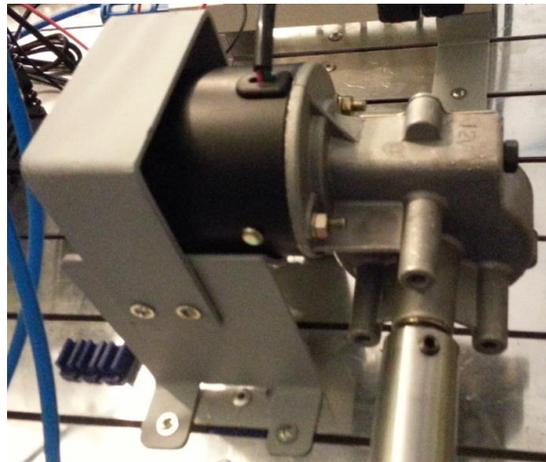
**Fuente: Propia**

### 3.2.5.8 Construcción del Soporte del Motor

El soporte del motor esta manufacturado en acero A 36 debido al peso del motor que tiene que resistir y pintado al horno. Los planos se pueden observar en el ANEXO A.

En la figura 112, se observa el soporte manufacturado y ensamblado con el motor.

**Fig 112. Construcción del Soporte para Motor**



**Fuente: Propia**

### 3.2.5.9 Diseño CAD acople del motor.

El diseño del acople para el motor es importante debido a que mediante él, se integran la banda transportadora con el actuador, permitiendo que las piezas viajen a los largo de la cinta.

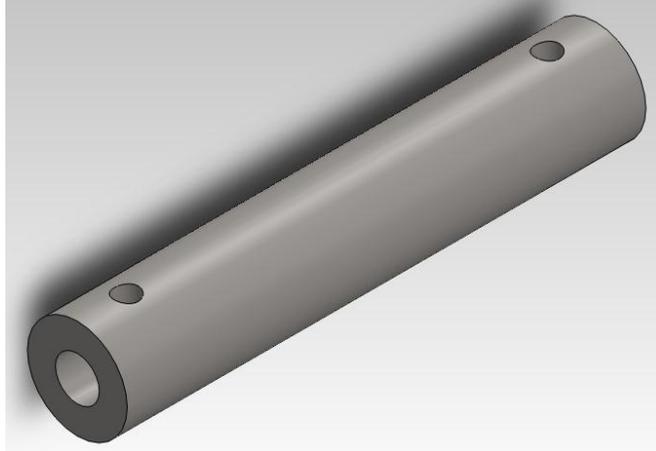
Para el diseño del acople se debe cumplir con las siguientes especificaciones:

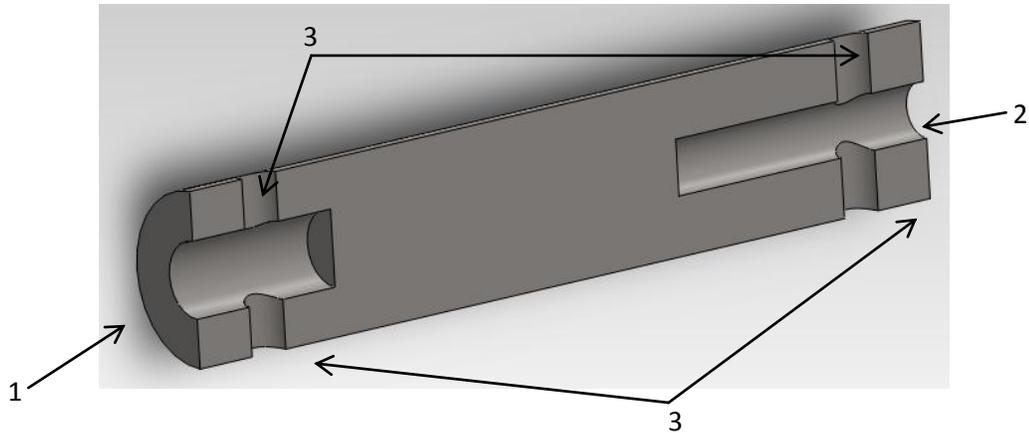
- Diámetro del Tambor Motriz para conexión con acople 8 [mm]

- Diámetro del Eje del motor para la conexión con acople 11 [mm]
- Largo del acople debe permitir el paso del brazo de giro sin interrumpir en el proceso.

Para el diseño CAD del acople del motor se ha considerado utilizar prisioneros para sujetar los respectivos ejes de la banda-motor, otorgar una distancia del eje lo suficientemente amplia para que no interrumpa el proceso de la estación pick & place en su ángulo de trabajo de 90°, y diámetro externo adecuado para poder sujetar el acople a los diferentes ejes, como se muestra en la figura 113, donde se va a poder observar con claridad las diferentes especificaciones.

**Fig 113. Diseño CAD Acople Motor-Banda Transportadora**





**Fuente: Propia**

Dónde:

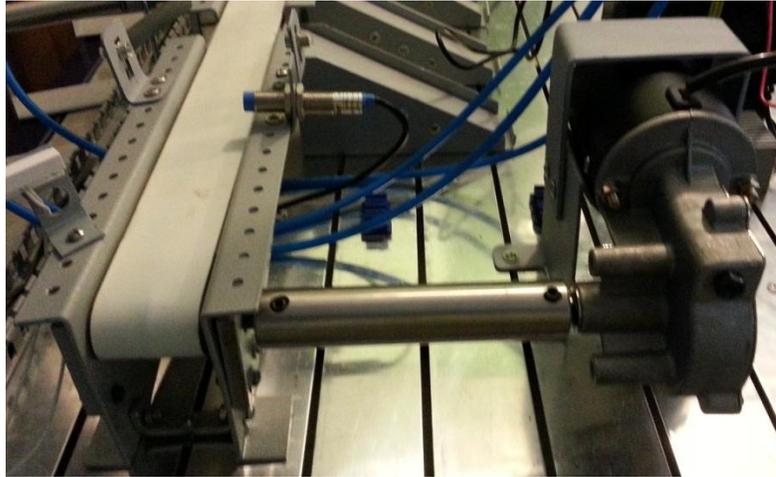
- 1: Orificio lateral para el acople del eje del motor.
- 2: Orificio lateral para el acople del eje del tambor motriz.
- 3: Orificios para prisioneros.

### **3.2.5.10 Construcción Acople Motor**

La manufactura del acople se realizó en la empresa MIRLO S.A. basándose en el diseño CAD expuesto en la sección 3.2.5.9.

El material seleccionado para su manufactura es acero inoxidable AISI 304, ya que brinda buena resistencia al desgaste, soporta grandes cargas y es anticorrosivo.

En la figura 114 se muestra el acople manufacturado, ensamblado con el eje del tambor motriz de la banda transportadora y el eje del motor.

**Fig 114. Acople Manufacturado**

**Fuente: Propia**

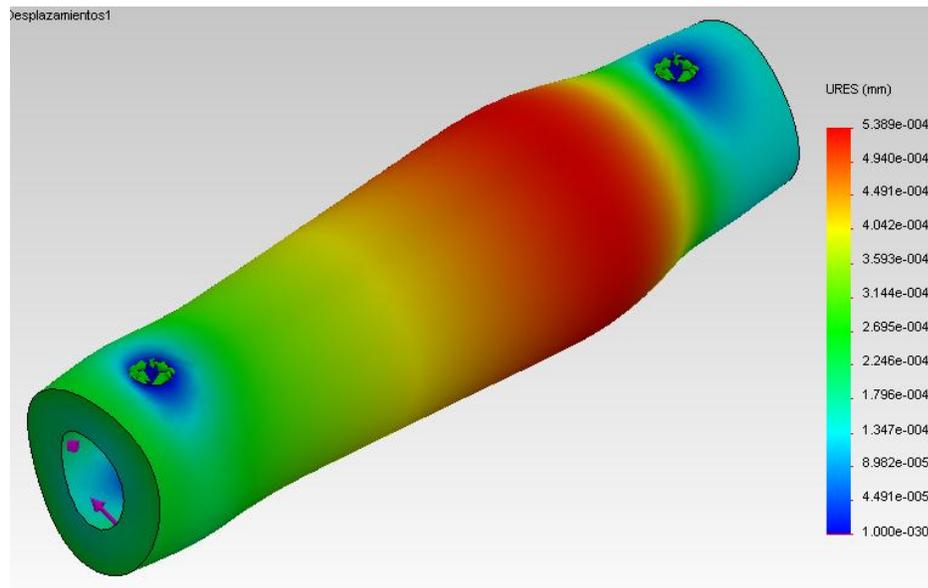
### **3.2.5.11 Estudio CAE acople del motor**

Para el estudio de torsión estático que soporta el acople se utilizó el software Solidworks en el cual se aplicó los siguientes parámetros:

- Material del acople Acero Inoxidable AISI 304
- Sujeción del acople en los orificio para los prisioneros
- El torque máximo del motor seleccionado de 11.5 [N.m] aplicado en los orificios destinados para cada eje.

Con estos parámetros se obtiene que el desplazamiento máximo del acople va a ser de  $5.389 e^{-4}$  [mm], lo que indica que el diseño es óptimo para la aplicación. En la figura 115 se muestra el estudio CAE de desplazamiento. Para mayor información del informe VER ANEXO B.

**Fig 115. Estudio desplazamiento CAE acople del motor**



**Fuente: Propia**

### **3.2.5.12 Actuadores Neumáticos.**

En la banda transportadora se utilizarán tres cilindros neumáticos denominados C, D, E, utilizados para clasificar las piezas según su característica. Para seleccionar los mismos se consideran todos los parámetros analizados en la sección 3.2.2.5, ya que el factor primordial es la carrera del cilindro que para este caso es la misma que el actuador neumático A y B.

### **3.2.5.13 Selección de actuadores neumáticos**

La selección se realizó en base a los mismos fundamentos de la sección 3.2.2.7, en la cual se ha seleccionado un cilindro de simple efecto MCFI-1-16-50.

Los actuadores lineales neumáticos C, D, E, al igual que el A basa su construcción en función de la norma ISO 6432.

Para fijar el cilindro a la bancada y ser integrado Al proceso de la banda transportadora se ha diseñado un soporte similar al de la figura 63 (VER ANEXO A).

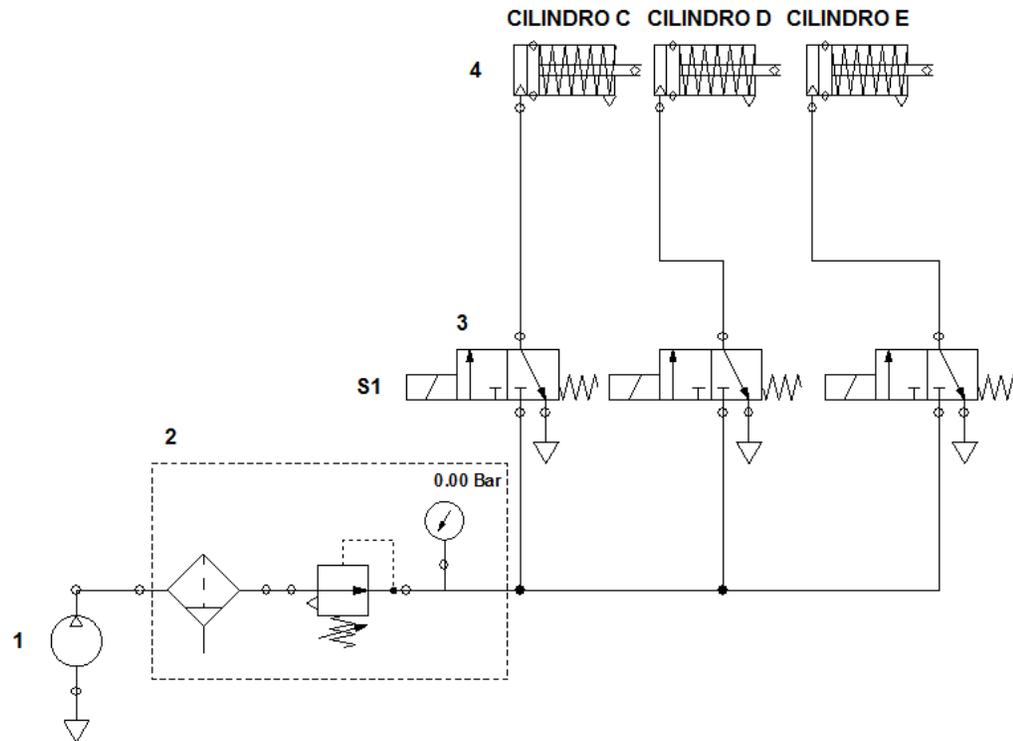
#### **3.2.5.14 Circuito de potencia neumático**

El diseño de potencia neumático es importante pues así se determinan los componentes necesarios para la instalación que permite el correcto funcionamiento de los actuadores neumáticos.

El proceso que se realiza en la banda transportadora consiste en analizar características físicas de las diferentes piezas que llegan de la estación pick & place, para ser clasificadas mediante la manipulación de los tres cilindros de simple efecto. La fuente de aire comprimido proviene del compresor del SPM-V1ZR con su respectivo depósito de almacenamiento y la unidad de mantenimiento.

La figura 116 y la tabla 31 muestran los elementos neumáticos a utilizar.

**Fig 116. Circuito de Potencia Neumático de la estación banda transportadora**



**Fuente: Propia**

**Tabla 31. Elementos neumáticos de la estación banda transportadora**

Numeración	Elemento
1	Compresor con deposito
2	Unidad de Mantenimiento ( filtro, regulador, manómetro)
3	Válvulas 3/2 con accionamiento eléctrico
4	Cilindros de simple efecto C, D, E

**Fuente: Propia**

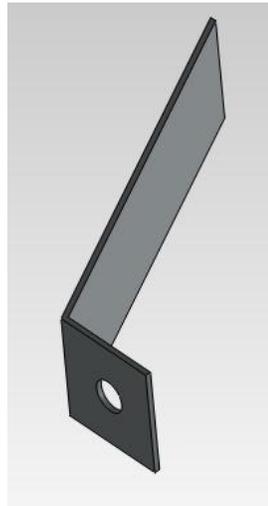
### 3.2.5.15 Diseño CAD de Clasificadores

Los clasificadores son las piezas que se van acoplar a los cilindro C, D, E, y van ayudar a desalojar las piezas cilíndricas de la banda transportadora, las

mismas que han sido diseñadas de forma compacta para que no interrumpen con el correcto funcionamiento de los cilindros.

A continuación, en la figura 117, se muestra el diseño CAD de las piezas para su posterior manufactura.

**Fig 117. Diseño CAD de Clasificador**



**Fuente: Propia**

### **3.2.5.16 Construcción de los Clasificadores**

Los clasificadores al igual que las otras piezas construidas para el módulo fueron manufacturadas en la empresa MIRLO S.A., en aleación de aluminio AISI 1020 con un espesor de 1 [mm]. En la figura 118, se muestra el clasificador ensamblado en su respectivo cilindro. Para dimensiones y planos VER ANEXO A.

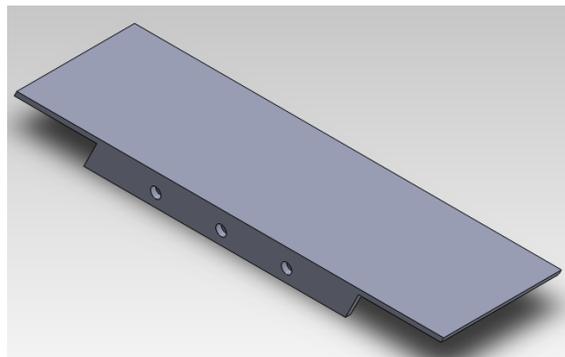
**Fig 118. Clasificadores Manufacturados**

**Fuente: Propia**

### **3.2.5.17 Diseño CAD de la Rampa de Clasificación**

La rampa de clasificación es donde se almacenan las piezas según las características de cada una de ellas, dichas piezas van a ser desalojadas de la banda por los actuadores neumáticos C, D, E. Está constituida por dos partes:

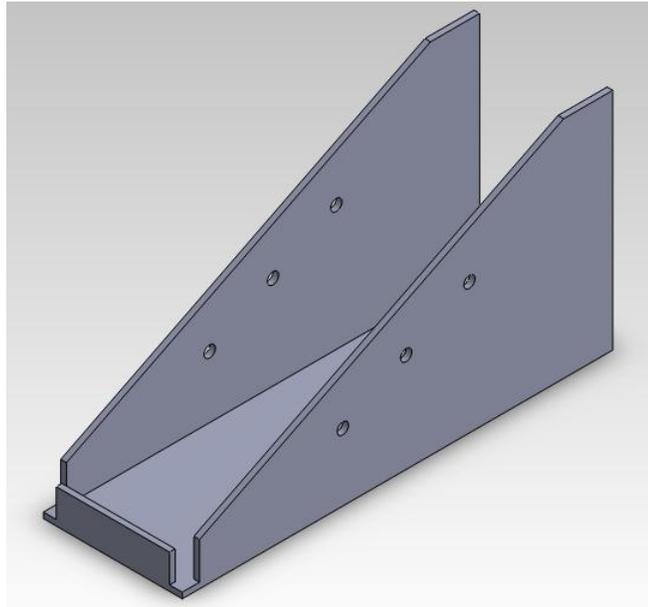
- Rampa: es por donde la pieza clasificada va resbalar para su respectivo almacenamiento y conteo, en la figura 119, se muestra la rampa.

**Fig 119. Diseño CAD de la Rampa**

**Fuente: Propia**

- Base: es el soporte fijo de la rampa que la mantiene de forma inclinada, en la figura 120, se muestra la base.

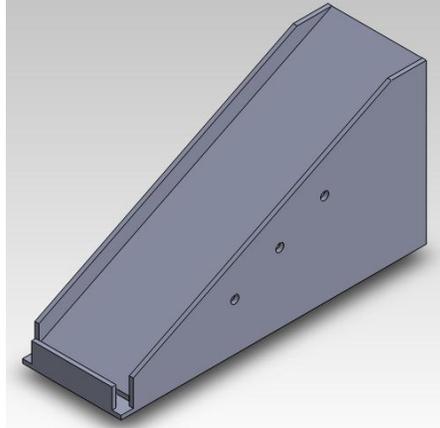
**Fig 120. Diseño CAD de la Base**



**Fuente: Propia**

En la figura 121, se muestra la rampa de salida ensamblada para su posterior manufactura.

**Fig 121. Diseño CAD Rampa de Clasificación**



**Fuente: Propia**

### **3.2.5.18 Construcción de la Rampa de Clasificación**

La manufactura de la rampa de clasificación se la adjudicó a la empresa MIRLO S.A. Para dimensiones de las piezas y planos VER ANEXO A. En la figura 122, se puede observar la rampa de clasificación completamente culminada y entregada por la empresa mencionada.

**Fig 122. Manufactura rampas de clasificación**



**Fuente: Propia**

### 3.2.5.19 Diseño CAD del Soporte para cámara.

El soporte para la cámara, es una estructura que va a soportar el elemento con el que se va a contar las piezas que se encuentran en las rampas clasificadoras mediante un sistema de visión artificial.

Lo único que se consideró para el diseño del soporte, es que exista suficiente altura para ubicar la cámara y pueda captar todas las rampas clasificadoras en una sola toma.

En la figura 123, se muestra el soporte para el conteo de piezas.

**Fig 123. Diseño CAD Soporte cámara.**



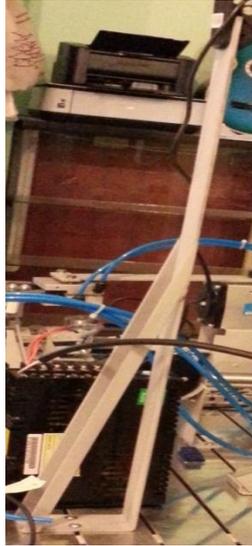
**Fuente: Propia**

### 3.2.5.20 Construcción del Soporte para cámara.

La manufactura del soporte para el conteo de piezas, se la adjudicó a la empresa MIRLO S.A. Para dimensiones y planos VER ANEXO A. En la figura

124 se muestra el soporte completamente culminado y entregado por la empresa mencionada.

**Fig 124. Soporte del Conteo de Piezas**



**Fuente: Propia**

### **3.2.6 Estación de distribución de aire comprimido**

El SPM-V1ZR cuenta con actuadores neumáticos en todas sus estaciones y para su funcionamiento es necesario diseñar una estación que se encargue de distribuir y controlar el aire comprimido hacia cada uno de ellos, considerando que más adelante se realizara el diseño de la red de distribución de aire comprimido del laboratorio de AIM.

### 3.2.6.1 Selección de Electroválvulas.

Los actuadores neumáticos del SPM-V1ZR deben ser accionados mediante un elemento que a su vez sea manipulado por el controlador principal, este componente, se denomina electroválvula.

Una electroválvula es un componente electro neumático que restringe la alimentación de aire hacia un componente neumático mediante el accionamiento eléctrico también llamado solenoides. El accionamiento eléctrico será detallado con mayor precisión en el correspondiente apartado eléctrico/electrónico del SPM-V1ZR.

El objetivo de esta sección es seleccionar el número y tipo de electroválvulas que será utilizado en el módulo dependiendo del número de vías y el número de efectos de cada actuador neumático.

En la tabla 32 se muestra el número de actuadores neumáticos con su respectivo número de efectos del SPM-V1ZR.

**Tabla 32. Lista de componentes neumáticos.**

<b>N°</b>	<b>Actuador Neumático</b>	<b>Estación</b>	<b>Efecto</b>	<b>N° electroválvulas</b>
1	Cilindro 16 x 50	Cargador	Simple	1
2	Cilindro 16 x 50	Pesado	Simple	1
3	Pinza MCHA 32	Pick & Place	Doble	1
4	Actuador GTD63	Pick & Place	Doble	1
5	Cilindro 16 x 50	Banda	Simple	1
6	Cilindro 16 x 50	Banda	Simple	1
7	Cilindro 16 x 50	Banda	Simple	1

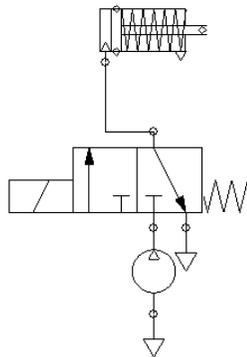
**Fuente: Propia**

Como se observa en la tabla 31 se requiere un total de 7 electroválvulas que permitirán manipular los actuadores neumáticos, para ello, es necesario dividir al módulo en dos grupos de actuadores según su número de efectos, teniendo que seleccionar un tipo de electroválvula para los actuadores de simple efecto y otro para los de doble efecto.

### 3.2.6.1.1 Selección de electroválvula actuadores de simple efecto.

Es común utilizar para el accionamiento de actuadores neumáticos de simple efecto válvulas de 3 vías y 2 posiciones, como se muestra en la figura 125. Resulta ineficiente realizar una matriz de decisión para comparar varias alternativas cuando en el mercado nacional se comercializa en gran cantidad este tipo de válvulas.

**Fig 125. Válvula de 3 vías y 2 posiciones**



**Fuente: Propia.**

Como se muestra en la figura 125, la válvula 3/2 es NC (normalmente cerrada), accionamiento eléctrico, con muelle de recuperación y funciona de tal manera que cuando la solenoide es activada, ingresa el aire comprimido por la

cámara del cilindro provocando su salida, y cuando la solenoide es desactivada el cilindro vuelve a su posición inicial por medio del resorte.

Por todas las razones antes mencionadas se ha seleccionado la electroválvula 3/2 de marca AIRTAC, que se muestra en la figura 126.

**Fig 126. Electroválvula AirTAC 3/2**



**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

En la tabla 33, se muestra las especificaciones técnicas.

**Tabla 33. Especificaciones técnicas neumáticas electroválvula 3/2**

Modelo	3V110-M5	3V120-M5	3V110-06	3V120-06
Medio	Aire (que se filtra por el elemento 40µm de filtro)			
Tipo de acción	Piloto interno			
Tamaño del puerto	M5		1/8"	
Área efectiva de la sección transversal	5.5mm <sup>2</sup> (Cv=0.31)		12.0mm <sup>2</sup> (Cv=0.67)	
Tipo de válvula	3 puertos de 2 posiciones			
Lubricación	No requiere lubricación			
Presión de trabajo	0.15~0.8MPa(21~114Psi)			
Presión de prueba	1.5MPa(215Psi)			
Temperatura °C	-20~70			
Material del cuerpo	Aleación de aluminio			

**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

La electroválvula 3/2 AirTAC como se muestra en la tabla 33 tiene una presión de trabajo máximo de 8 [bar], suficiente para el SPM-V1ZR que mantiene una presión de trabajo máximo de 4 [bar]. De tal manera, se requieren 5 electroválvulas de las características mencionadas para los actuadores de simple efecto del módulo.

### 3.2.6.1.2 Selección de electroválvula actuadores de doble efecto.

Para seleccionar la electroválvula capaz de controlar los actuadores de doble efecto del SPM-V1ZXR es necesario realizar una matriz de decisión como se muestra en la tabla 34.

**Tabla 34. Matriz de decisión electroválvula actuadores doble efecto**

Factor	Factor de ponderación	EV 5/2	EV 4/2	EV5/3
<b>Económico</b>	2	9	8	8
		1.8	1.6	1.6
<b>Disponibilidad</b>	2	9	6	7
		1.8	1.2	1.4
<b>Espacio</b>	1	10	10	10
		1	1	1
<b>Instalación</b>	1	10	10	10
		1	1	1
<b>Comercial</b>	4	9	8	8
		3.6	3.2	3.2
<b>TOTAL</b>	10	<b>9.2</b>	8	8.2

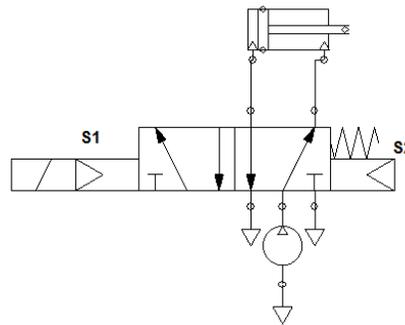
**Fuente: Propia**

Para analizar los factores de decisión se ha tomado valores entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. El factor de mayor ponderación es la disponibilidad comercial del elemento, y el costo.

De tal manera, se seleccionara una electroválvula 5/2 para los elementos de doble efecto del SPM-V1ZR.

En la figura 127 se muestra el símbolo y la conexión de una electroválvula 5/2 con una actuador de doble efecto.

**Fig 127. Válvula de 5 vías y 2 posiciones**



**Fuente: Propia.**

Como se muestra en la figura 127, la válvula 5/2 es NC (normalmente cerrada), doble piloto interno con accionamiento eléctrico, control manual con muelle de recuperación y funciona de tal manera que cuando la solenoide S1 es activada, ingresa el aire comprimido por la cámara del cilindro provocando su salida, y cuando la solenoide S2 es activada el cilindro vuelve a su posición inicial.

Por todas las razones antes mencionadas se ha seleccionado la electroválvula 5/2 de marca AIRTAC, que se muestra en la figura 128.

**Fig 128. Electroválvula AirTAC 5/2**

**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

En la tabla 35, se muestra las especificaciones técnica y símbolo de la electroválvula seleccionada.

**Tabla 35. Especificaciones técnicas neumáticas electroválvula 5/2**

Modelo	4V410-15	4V420-15	4V430C-15	4V430E-15	4V430P-15
Medio	Aire (que se filtra por el elemento 40µm de filtro)				
Tipo de acción	Piloto				
Tamaño del puerto	Entrada = Salida = Escape = 1/2"				
Área efectiva de la sección transversal	50.0mm <sup>2</sup> (Cv=2.79)		30.0mm <sup>2</sup> (Cv=1.88)		
Tipo de válvula	5/2 vías		5/3 vías		
Presión de trabajo	0.15~0.8MPa(21~114Psi)				
Presión de prueba	1.5MPa(215Psi)				
Temperatura °C	-20~70				
Material del cuerpo	Aleación de aluminio				
Lubricación	No requiere lubricación				
Max. Frecuencia ①	3 ciclos / seg				
Peso	590g	720g	770g		

**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

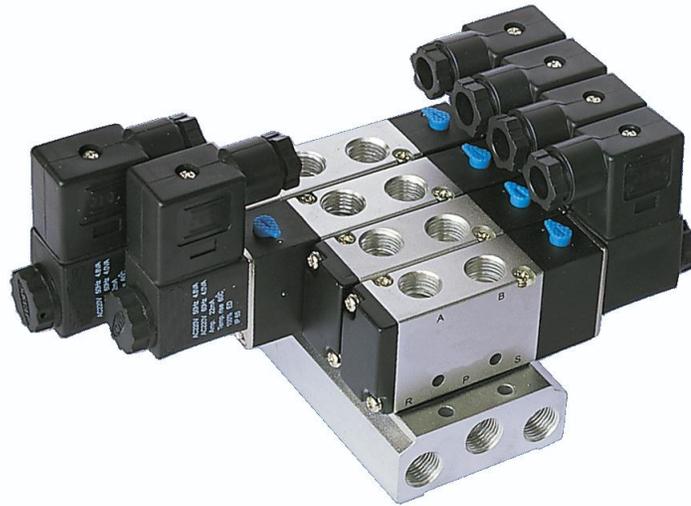
La electroválvula 5/2 AirTAC como se muestra en la tabla 35 tiene una presión de trabajo máximo de 8 [bar], suficiente para el SPM-V1ZR que

mantiene una presión de trabajo máximo de 4 [bar]. De tal manera, se requieren 2 electroválvulas biestable de las características mencionadas para los actuadores de doble efecto del módulo.

### **3.2.6.2 Sistema de alimentación de aire comprimido**

Las electroválvulas del SPM-V1ZR requieren una fuente de alimentación de aire comprimido (compresor), y al tener un número de siete electroválvulas (5 monoestables y 2 biestables) el proceso de conexión de alimentación de aire comprimido resulta complicado y tedioso por medio de mangueras, accesorios en T, codos, etc. Por tal motivo, es conveniente seleccionar una estación de distribución de aire comprimido o Manifold.

Un manifold es una estación de montaje de electroválvulas, que posee una entrada (ingreso de aire comprimido) mediante la cual, se distribuye la alimentación a todas las electroválvulas montadas sobre el mismo, logrando ahorrar espacio, excelente eficiencia de distribución, y agrupación de elementos electro neumáticos en una zona en específico. En la figura 129 se muestra un manifold con capacidad para cuatro estaciones (electroválvulas) FESTO.

**Figura 129. Manifold FESTO**

**Fuente: Sitio web, FESTO, 2012.**

#### **3.2.6.2.1 Selección manifold**

Una vez explicado todas las ventajas que brinda un manifold, es necesario realizar la selección del mismo en función del número de electroválvulas del SPM-V1ZR, de tal manera, se necesita un manifold para 7 estaciones.

En la figura 130 se muestra el manifold AIRTAC seleccionado para 8 estaciones, quedando una estación libre para futuras aplicaciones. Es necesario indicar, que para montar las estaciones sobre el manifold es necesario instalar previamente los sellos de caucho que impiden fugas de aire comprimido del sistema.

**Fig 130. Manifold AirTAC 8 estaciones**



**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

En la tabla 36 se muestra las especificaciones técnicas del manifold.

**Tabla 36. Especificaciones técnicas manifold**

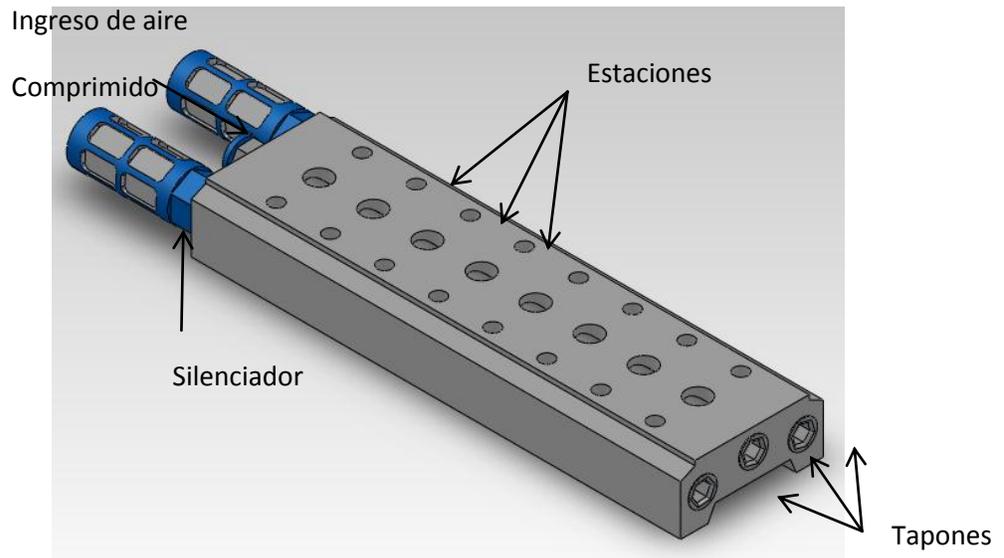
Item\Manifold model	7MV100M	7MV200M
Fluid	Air(to be filtered by 40 $\mu$ m filter element)	
Temperature $^{\circ}$ C	-20~70	
Adaptable valve's series	7MV100 Series	7MV200 Series

**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

Por motivos de diseño CAD del SPM-V1ZR se ha decidido realizar un diseño CAD del manifold y las electroválvulas seleccionadas.

En la figura 131 se muestra el diseño CAD del manifold.

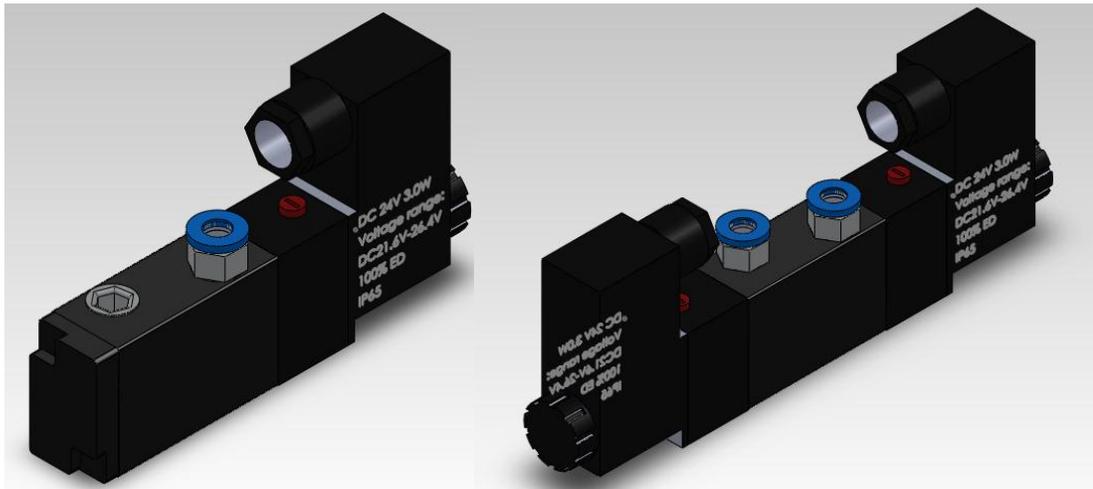
**Fig 131. Diseño CAD manifold.**



**Fuente: Propia**

En la figura 132 se muestra el diseño CAD de las electroválvulas.

**Fig 132. Diseño CAD electroválvulas.**

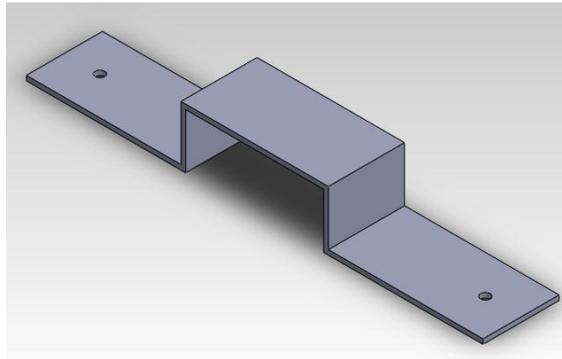


**Fuente: Propia.**

### 3.2.6.2.2 Diseño CAD del soporte manifold

Para montar el manifold con las electroválvulas a la bancada o mesa de sujeción es necesario realizar el diseño CAD de los respectivos soportes que servirán de sujeción, como se muestra en la figura 133.

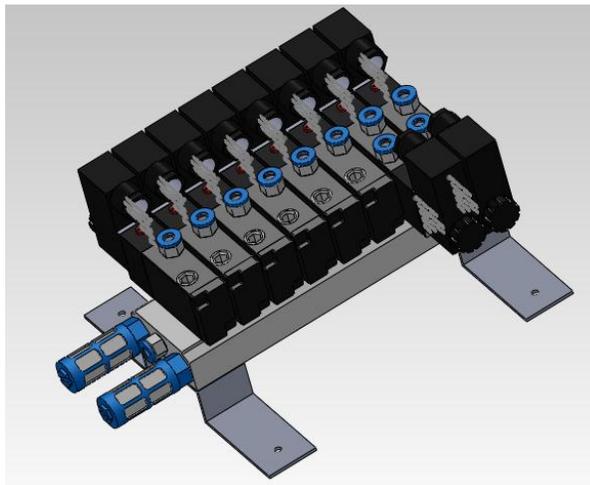
**Fig 133. Diseño CAD soportes manifold**



**Fuente: Propia**

En la figura 134 al manifold con sus respectivos soportes y estaciones.

**Fig 134. Diseño CAD Manifold con estaciones**



**Fuente: Propia**

### 3.2.6.2.3 Construcción soportes manifold

El soporte del manifold tiene agujeros M4 para fijar en la bancada del SPM-V1ZR, utilizando como material para su manufactura aluminio AISI 1020. Para las dimensiones y planos del soporte VER ANEXO A. En la figura 135 se muestra los soportes manufacturados con el manifold y las estaciones.

**Fig 135. Soportes manifold manufacturados.**



**Fuente: Propia**

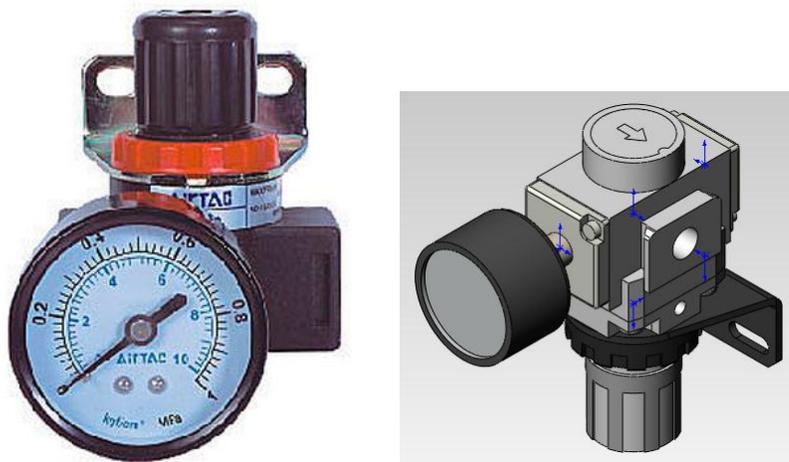
### 3.2.6.3 Selección regulador de presión y válvula manual.

La presión de ingreso del aire comprimido desde el compresor hacia la estación SPM-V1ZR debe ser controlada a través de un regulador de presión, que por lo general, se lo encuentra comercialmente con manómetro en el rango de 0-10 [bar]. A pesar que una línea de servicio de la red de aire comprimido

también posee un regulador de presión, es necesario implementar dicho componente.

Por tal motivo en la figura 136 se muestra el regulador de presión seleccionado de la marca AirTAC considerando que no es necesario realizar una matriz de decisión para el caso debido a que no existen muchas alternativas.

**Fig 136. Regulador de presión 0-10 bar.**



**Fuente: Propia**

También es necesario restringir o permitir el ingreso de aire comprimido hacia el manifold, brindando seguridad al operador del módulo y protegiendo al compresor en el caso que el SPM-V1ZR este fuera de servicio.

Por lo general, esta acción se la realiza mediante una válvula manual 3/2 sencilla que permite bloquear el paso de aire comprimido y descargar el aire, tal como se muestra en la figura 137, que al igual que el regulador de presión es de la marca AirTAC.

**Fig 137. Válvula manual 3/2**

**Fuente: Sitio web, AirTAC, 2012**

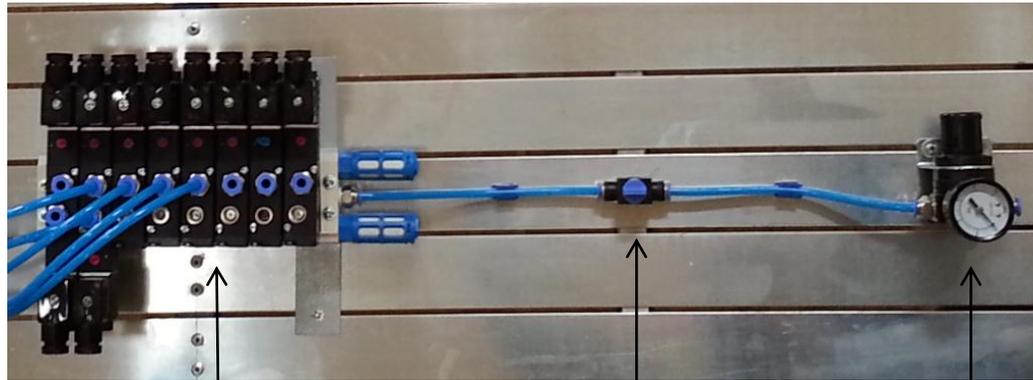
Para conectar los distintos componentes neumáticos del SPM-V1ZR se utilizara manguera neumática de poliuretano de  $\varnothing = 6mm$  como se muestra en la figura 138.

**Fig 138. Tubo de Poliuretano de 6 [mm]**

**Fuente: Sitio web, Mindman, 2012.**

Finalmente, en la figura 139 se muestra la estación de distribución de aire comprimido del SPM-V1ZR.

**Fig 139. Estación de distribución de aire comprimido.**



Manifold con  
Electroválvulas

Válvula manual 3/2

Regulador de  
Presión 10 [bar]

**Fuente: Propia**

### **3.3 Diseño de la red de aire comprimido**

El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión, compuesto en un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y en un 1% de otros gases (especialmente argón), y junto con la corriente eléctrica, es la fuente de energía más importante en plantas industriales, talleres, laboratorios, etc.

Para dimensionar eficientemente la red de aire comprimido para el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica debe tenerse en cuenta que el compresor debe suministrar tanto aire como las estaciones consuman de forma simultánea e intermitente, esto quiere decir, que el diseño debe ser concebido desde el punto de vista que todos los módulos están operando al mismo tiempo y de manera intermitente.

Lo normal es que cada elemento de los módulos de laboratorio tenga tiempos muertos, pues su secuencia de trabajo depende de la lógica de programación y funcionamiento. De esta manera, el compresor tendrá tiempo de cargar a presión el depósito o la red de aire comprimido.

### **3.3.1 Laboratorio de automatización industrial Mecatrónica.**

El Sistema de Producción Modular Didáctico SMP-ZRV1, tiene como principal objetivo dotar de un nuevo equipo de enseñanza- aprendizaje al laboratorio de AIM, es por esto, que se requiere diseñar la red de aire comprimido de todo el laboratorio para proporcionar este fluido de trabajo mecánico a todas las estaciones que contengan dispositivos neumáticos, incluyendo el presente proyecto.

Al presente se encuentra en construcción 7 estaciones didácticas similares al SPM-V1ZR, que persiguen la misma finalidad didáctica, y es por eso, que deben ser tomadas en cuenta para realizar el correcto diseño de la red de aire comprimido.

En la tabla 37 se muestra las estaciones existentes y futuras con las que contará El Laboratorio AIM.

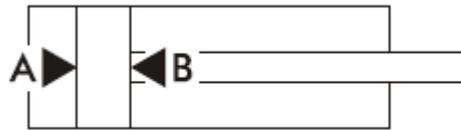
Tabla 37. Estaciones del laboratorio de AIM

Ítems	MÓDULOS	ELEMENTOS NEUMÁTICOS
<b>MECLAB</b>		
2	Estación Cargador	-1 Cilindro S.E -1 Cilindro D.E
2	Cinta Transportadora	Ninguno
2	Estación de Manipulación	-2 Cilindros Guiados D.E -1 Gripper Paralelo
<b>SMP-V1ZR</b>		
1	Estación Cargador	-1 Cilindro S.E
	Estación de Validación de Peso	-1 Cilindro S.E
	Estación Pick & Place	-1 Actuador Giratorio -1 Gripper Angular
	Estación Cinta Transportadora	-3 Cilindros S.E
	Estación Contador de Piezas	Ninguno
7	Estaciones en construcción	Similares al SMP-V1ZR

Fuente: Propia

### 3.3.2 Consumo de aire de las estaciones.

Para Calcular el consumo de Aire de cada elemento neumático existen varios métodos, que para el caso será la ecuación 22. <sup>[19]</sup>



$$Q_n = (Aa + Ab) L \frac{P + 0.101}{0.101} n e^{-6}$$

Ec. 22

Dónde:

$$Q_n = \text{Consumo de Aire Comprimido} \left[ \frac{l}{min.} \right]$$

$Aa = \text{Area de Pistón de A [mm}^2\text{]}$

$Ab = \text{Area de Pistón de B [mm}^2\text{]}$

$L = \text{Carrera del Cilindro [mm]}$

$P = \text{Presión de Aire [MPa]}$

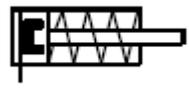
$n = \text{Ciclos de Operación } \left[\frac{\text{Ciclos}}{\text{min}}\right]$

### 3.3.2.1 Consumo de aire MecLab

#### 3.3.2.1.1 Estación Cargador.

La estación Cargador MecLab es una de las tres estaciones incluidas en este paquete que contiene dos cilindros neumáticos para realizar sus actividades de alimentación y estampado de piezas, los cuales se muestran en la tabla 38.

**Tabla 38. Cilindros Estación Cargador MecLab**

Imagen del Componente	Símbolo	Descripción
		$Aa = 113\text{mm}^2; Ab = 85\text{mm}^2;$ $l = 50\text{mm}.$
		$Aa = 113\text{mm}^2; Ab = 85\text{mm}^2;$ $l = 50\text{mm}.$

Fuente: Enseñar con MecLab, FESTO 2007

Es importante mencionar que para las estaciones MecLab no deberá superarse la presión de alimentación máxima admisible de 400 KPa (4bar).<sup>[20]</sup>

Se ha considerado un número de ciclos  $n=10$  [ciclos/min] para ambos cilindros, ya que el ciclo de alimentar y estampar piezas es de modo continuo y repetitivo.

Cuando el cilindro es de doble efecto se debe multiplicar la ecuación 22 por un factor de 2 que representa el número de efectos del cilindro. De esta manera, reemplazando los datos de la tabla 38 en la ecuación 22 se obtienen los siguientes resultados mostrados en la tabla 39.

**Tabla 39. Consumo de la estación cargador MecLab.**

<b>Elemento</b>	<b>Consumo U. [l/min]</b>	<b>Número de Cilindros</b>	<b>Consumo Total [l/min]</b>
Cilindro S.E	0.98	2	1.96
Cilindro D.E	0.49	2	0.98
TOTAL			2.94

**Fuente: Propia**

### 3.3.2.1.2 Estación Manipulador

La estación manipulador cuenta con dos cilindros de doble efecto guiados y una pinza paralela neumática para realizar tareas de pick and place (recoger y montar en otro lugar), cuyas especificaciones se muestran en la tabla 40.

Por no encontrarse datos de área, diámetro del embolo y carrera de los elementos neumáticos en el manual de la estación manipulador se considera

los datos expuestos en el manual y catálogo de los cilindros Mindman utilizados en el presente proyecto como se observa en la tabla 40.

**Tabla 40. Tabla de áreas y consumos de aire de cilindros Mindman.**

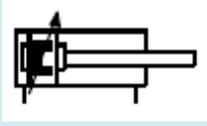
Bore (mm)		12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	150	200
Rod (mm)		6	6	8	10	12	16	20	20	25	25	35	40	50
Area (mm <sup>2</sup> )	A	113	201	314	491	804	1257	1963	3117	5027	7854	12271	17671	31416
	B	85	173	264	412	691	1056	1649	2803	4536	7363	11309	16415	29452
Operating pressure (MPa)	0,1	0,040	0,075	0,116	0,181	0,299	0,462	0,722	1,183	1,912	3,042	4,714	6,814	12,168
	0,2	0,059	0,112	0,173	0,271	0,448	0,693	1,083	1,775	2,867	4,563	7,071	10,221	18,252
	0,3	0,079	0,150	0,231	0,361	0,598	0,924	1,444	2,367	3,823	6,084	9,428	13,628	24,336
	0,4	0,099	0,187	0,289	0,451	0,747	1,156	1,805	2,959	4,779	7,605	11,785	17,035	30,420
	0,5	0,119	0,224	0,347	0,542	0,897	1,387	2,167	3,550	5,734	9,126	14,142	20,441	36,502
	0,6	0,138	0,262	0,405	0,632	1,046	1,618	2,528	4,142	6,690	10,647	16,499	23,848	42,586
	0,7	0,158	0,299	0,463	0,722	1,196	1,849	2,889	4,734	7,646	12,168	18,856	27,255	48,670
	0,8	0,178	0,336	0,520	0,812	1,345	2,080	3,250	5,325	8,602	13,689	21,213	30,662	54,754
	0,9	0,198	0,374	0,578	0,903	1,495	2,311	3,611	5,917	9,557	15,209	23,570	34,069	60,838
	1,0	0,218	0,411	0,636	0,993	1,644	2,542	3,972	6,509	10,513	16,927	25,927	37,476	66,922

● The table is for a complete cycle with 100mm stroke in one minute.

**Fuente: Catalogo cilindros Mindman. 2012.**

Para el gripper se han considerado las dimensiones de un micro cilindro  $\varnothing = 12mm$ , y para el cilindro guiado de doble efecto las dimensiones de un cilindro  $\varnothing = 25mm$ . Es necesario calcular el consumo de aire aplicando la Ecuación 22 ya que los valores de consumo citados en la tabla 41 han sido calculados en una carrera de 100 [mm] y 1 ciclo de trabajo.

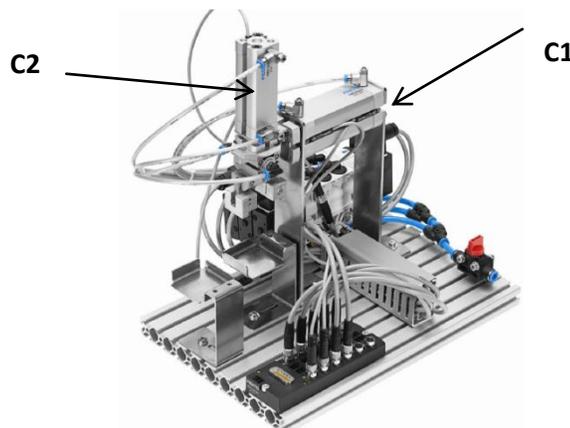
Tabla 41. Elementos estación manipulador.

Imagen del Componente	Símbolo	Descripción
		$Aa = 113mm^2;$ $Ab = 85mm^2;$ $l = 10mm$
		$Aa = 491mm^2;$ $Ab = 412mm^2;$ $l = 100mm$

Fuente: Enseñar Meclab (FESTO 2007) y cilindros Mindman 2012

Se ha considerado un numero de ciclos  $n=2$  [ciclos/min] para el cilindro C1,  $n=4$  [ciclos/min] para el cilindro C2, y  $n=4$  [ciclos/min] para el gripper como se observa en la figura 140, considerando una secuencia de funcionamiento lenta del módulo, en base al aprendizaje del alumno, ya que debe identificar los movimientos de cada parte del proceso.

Fig 140. Estación Manipulador.



Fuente: Enseñar con MecLab, FESTO 2007

El consumo de aire de la estación manipulador se encuentra en la tabla 42.

**Tabla 42. Consumo de la estación manipulador**

<b>Elemento</b>	<b>Consumo U. [l/min]</b>	<b># de Cilindros</b>	<b>Consumo Total [l/min]</b>
Gripper	0.08	1	0.08
Cilindro C1	1.8	2	3.6
Cilindro C2	3.6	2	7.2
<b>TOTAL</b>			<b>10.9</b>

**Fuente: Propia**

### 3.3.2.2 Consumo de aire SPM-V1ZR

El Sistema de Producción Modular consta en su mayoría de actuadores neumáticos, tales como: micro cilindros de simple efecto, gripper angular, actuador giratorio, etc.

La alimentación de presión está en el rango de [2-4 bares], y para el caso que nos ocupa tomaremos el valor más alto para los cálculos de consumo.

#### 3.3.2.2.1 Consumo de aire micro cilindros

Para calcular el consumo de aire del SPM-V1ZR se han totalizado el número de micro cilindros, grippers y actuadores neumáticos para optimizar el proceso de cálculo. Las especificaciones de los micros cilindros se muestran en la tabla 43.

**Tabla 43. Especificaciones micro cilindros**

Micro Cilindro Mindman MCMI 16X50	
Marca	Mindman
Modelo	MCMI 16X50
Carrera	50mm
Diámetro	16mm
Aa	201mm
Ab	173mm
Número de cilindros	5
Efecto	SIMPLE

Fuente: Technical Data, Standard Cylinders, Mindman 2012

A continuación, en la tabla 44 se muestra el factor n de cada cilindro

**Tabla 43 Factor n de cilindros**

Cilindro	Estación	n [ciclos/min]
$C_A$	Cargador	3
$C_B$	Pick & Place	1
$C_C, C_D, C_E$	Cinta Transportadora	2

Fuente: Propia

Reemplazando los datos en la Ecuación 22, se obtienen los siguientes resultados de consumo de aire mostrados en la tabla 45.

**Tabla 45. Consumo de micro cilindros**

Elemento	Consumo U. [l/min]	# de Cilindros	Consumo Total [l/min]
$C_A$	0.276	1	0.276
$C_B$	0.092	1	0.092
$C_C, C_D, C_E$	1.87	3	5.61
<b>TOTAL</b>			5.98

Fuente: Propia

### 3.3.2.2.2 Consumo de aire del Gripper

Para realizar el cálculo del consumo de aire comprimido en el gripper angular de la estación pick & place se recurre a las especificaciones que se muestran en la tabla 46.

**Tabla 46. Especificaciones Gripper**

Gripper MCHA-32	
	
Marca	Mindman
Modelo	MCHA-32
Carrera	31.1mm
Diámetro	32mm
Área	804.25mm <sup>2</sup>
Número de cilindros	1
Efectos	DOBLE
CICLOS	10 [ciclos/min]

Fuente: Technical Data, MCHA Series-Grippers, Mindman 2012

Reemplazando los datos de la tabla 46 en la Ecuación 22, se obtiene un consumo de aire de  $2.48 \frac{l}{min}$ .

### 3.3.2.2.3 Cálculo de consumo del Actuador Giratorio

Para calcular el consumo de aire comprimido del actuador giratorio de la estación pick & place se muestra sus respectivas especificaciones en la tabla 47.

**Tabla 47. Especificaciones Actuador Giratorio**

Actuador Giratorio GTD-63	
Marca	Jimai
Modelo	GTD-63
Carrera	50mm
Diámetro	63mm
Área	$3117.24mm^2$
Número de cilindros	1
Efectos	DOBLE
Ciclos	10 [ciclos/min]

**Fuente: Technical Data, GT Series-valve actuator, Jimai 2012**

Reemplazando los datos de la tabla 47 en la Ecuación 17, se obtiene un consumo de aire de  $13.3 \left[ \frac{l}{min} \right]$

#### 3.3.2.2.4 Consumo Total SMP-ZRV1

El consumo total del sistema de producción modular es de  $22.13 \left[ \frac{l}{min} \right]$

#### 3.3.2.3 Consumo de aire de estaciones en construcción

Al momento, se encuentran en construcción siete estaciones más con características similares al SPM-V1ZR, y para el diseño de la red de aire comprimido del laboratorio es necesario incluirlas. Para lo cual, se ha considerado que tendrán el mismo consumo del SPM-V1ZR, es decir  $22.13 \left[ \frac{l}{min} \right]$ .

#### 3.3.2.4 Consumo de aire total

Al realizar la sumatoria del consumo de aire comprimido de todas las estaciones del Laboratorio, obtenemos los siguientes resultados:

$$Q_T = Q_{CARGADOR} + Q_{MANIPULACION} + Q_{SPM-ZRV1} + (7Q_{SPM-ZRV1})$$

$$Q_T = 190.88 \left[ \frac{l}{min} \right]$$

### 3.3.3 Factores de diseño

Para el correcto diseño de una red de aire comprimido es necesario aplicar factores de diseño que permitan sobredimensionar la red dependiendo del uso de las estaciones, la simultaneidad de operación, futuras instalaciones, etc.

#### 3.3.3.1 Factor de Uso ( $f_u$ )

El tiempo en que la máquina está consumiendo aire, es decir la duración de la conexión se denomina factor de uso, que es propio de tipo de máquina y que

está determinado por la forma en que esta trabaja. Estos coeficientes se han determinado mediante cronometraje a diversos trabajos realizados en varias fábricas.

En la tabla 48 se detallan algunos valores referenciales para diversas unidades consumidoras

**Tabla 48. Factores de uso referenciales**

<b>Unidad Consumidora</b>	<b>Duración de conexión</b>
Taladradora	30%
Lijadora	40%
Martillo cincelador	30%
Mortero	15%
Moldeadora	20%
Pistola neumática	10%
Máquina para alimentar piezas	80%

**Fuente: Solé, neumática e hidráulica, 2007**

### 3.3.3.2 Factor de Simultaneidad (fs)

El factor de simultaneidad es también un valor empírico. Las máquinas que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todas funcionan al mismo tiempo.

A continuación en la tabla 49 se muestra los factores que se pueden aplicar.

**Tabla 49. Factores de simultaneidad**

Cantidad de unidades consumidoras	Factor de simultaneidad	Cantidad de unidades consumidoras	Factor de simultaneidad
1	1	9	0,73
2	0,94	10	0,71
3	0,89	11	0,69
4	0,86	12	0,68
5	0,83	13	0,67
6	0,80	14	0,67
7	0,77	15	0,65
8	0,75	100	0,20

**Fuente: Solé, neumática e hidráulica, 2007**

### 3.3.3.3 Factor de reserva para posibles ampliaciones posteriores ( $f_r$ )

Hay que considerar que las redes de aire comprimido pueden ser usadas durante periodos de tiempo considerablemente largos por lo que se recomienda prever el montaje posterior de unidades consumidoras adicionales y disponer de las correspondientes reservas de aire .

Es típico determinar la reserva para posibles ampliaciones en un valor de 35% lo que representa numéricamente un valor para este factor de 1,35.

### 3.3.3.4 Factor de consideración de posibles fugas.

Las fugas en una red neumática están relacionadas directamente con la calidad del montaje de la instalación y el mantenimiento que se realice sobre la red. Para cuantificar un montaje de instalación y mantenimiento de alta calidad se supone un factor de consideración de posibles fugas de 1,1.

### 3.3.3.5 Factor de compensación de los picos de consumo ( $f_{pc}$ )

Usualmente para compensar los picos de consumo (que superan el consumo medio) éste factor toma el valor de 2 (duplican el caudal de consumo)

pues por experiencia se sabe que el consumo medio de aire es entre un 20 y un 60 por ciento del consumo máximo de aire.

### 3.3.4 Cálculo del consumo de la red neumática.

Para determinar el consumo de la red neumática se aplicarán dos factores que han sido determinados empíricamente por las industrias: factor de uso y factor de simultaneidad, ambas involucradas en la ecuación 23.

$$Q_c = \sum_{i=1}^n \left( a Q_i \frac{f_u}{100} f_s \right)$$

Ec 23

Dónde:

$a$  = Número de unidades de consumo

$Q_i$  = Consumo por cada unidad neumática en  $\left[ \frac{l}{min} \right]$

$f_u$  = Factor de uso en [%]

$f_s$  = Factor de simultaneidad [U]

En base a la Tabla 3.41 supondremos un factor de uso del 30% pensando en condiciones de trabajo no muy exigentes, debido a que las estaciones no son de uso industrial (24horas), al contrario, son utilizadas para fines educativos que no sobrepasan las 8 horas continuas. Y un factor de simultaneidad variable dependiendo de los elementos que utiliza cada estación de laboratorio.

De esta manera, procedemos al cálculo del consumo de la red de aire comprimido aplicando la Ecuación 23.

$$Q_C = Q_{CARGADOR} + Q_{MANIPULACION} + Q_{SPM-ZRV1} + (7Q_{SPM-ZRV1})$$

$$Q_C = \sum_{i=1}^3 \left( a Q_i \frac{f_u}{100} f_s \right)$$

$$Q_C = \sum_{i=1}^3 \left\{ \left[ ((2)(2)) \left( 2.94 \frac{l}{min} \right) \frac{30\%}{100} 0.86 \right] + \left[ ((3)(2)) \left( 10.90 \frac{l}{min} \right) \frac{30\%}{100} 0.80 \right] \right. \\ \left. + \left[ (7) \left( 22.13 \frac{l}{min} \right) \frac{30\%}{100} 0.77 \right] + 7 \left[ (7) \left( 22.13 \frac{l}{min} \right) \frac{30\%}{100} 0.77 \right] \right\}$$

$$Q_C = 304 \left[ \frac{l}{min} \right]$$

### 3.3.5 Cálculo del consumo de aire corregido.

El valor obtenido  $Q_C$  debe ser corregido mediante tres factores más que predicen posibles ampliaciones, compensan fugas y picos de consumo. Para determinar el consumo final de aire comprimido utilizaremos la ecuación 24.

$$Q_F = f_r f_f f_{pc} Q_C$$

Ec 24.

Dónde:

$f_r$ : factor de reserva para posibles ampliaciones.

$f_f$ : factor de consideración de posibles fugas.

$f_{pc}$ : factor de compensación de los picos de consumo.

Para el cálculo del consumo se tomarán las siguientes consideraciones de diseño:

$$f_r = 1.35 \text{ Futuras ampliaciones.}$$

$f_f = 1.1$  Montaje de instalación y mantenimiento de alta calidad, por lo que la pérdida por caída de presión no supera los 0.1 bar.

$f_{pc} = 2$  Criterio de diseño conservador, se pretende evitar desabastecimientos de aire en la red.

$$Q_c = 304 \left[ \frac{l}{min} \right] \text{ Consumo calculado en la sección 3.3.4.}$$

Remplazando  $f_r$ ,  $f_f$ ,  $f_{pc}$  y  $Q_c$  en la Ecuación 24 obtenemos el consumo corregido de aire comprimido.

$$Q_F = 902.88 \left[ \frac{l}{min} \right]$$

### 3.3.6 Depósito de aire comprimido

Son varias las funciones que un depósito de almacenamiento de aire comprimido debe cumplir, el más trascendental es suministrar aire a la presión deseada de manera inmediata sin tener que poner en marcha el compresor. Otra de sus funciones es abastecer las necesidades de aire en los picos de consumo de la red y amortiguar las pulsaciones que usualmente se producen en los compresores.

#### 3.3.6.1 Cálculo del depósito en función de la frecuencia de conexión

Para compresores que no funcionen de modo continuo, es decir, que se pone en marcha solo cuando la presión del depósito disminuye hasta un nivel de presión previamente definido, entonces debe tenerse en cuenta la cantidad

de operaciones de conexión y desconexión del motor. Para evitar un desgaste prematuro el motor sólo debe ponerse en marcha entre 6 y 10 veces por hora.

Para calcular el volumen del depósito, deberá aplicarse la ecuación 25.

$$V_{DEP} = \frac{15 Q_F P_{ATM}}{Z_S \Delta P}$$

Ec 25.

Dónde:

$Q_F$ : Consumo corregido de aire  $\left[\frac{l}{min}\right]$

$P_{ATM}$ : Presión atmosférica del entorno [bar]

$Z_S$ : Frecuencia de conexión [ $h^{-1}$ ]

$\Delta P$ : Diferencia de la presión en conexión [bar]

Los cambios en las condiciones ambientales también deben tenerse en cuenta a la hora de dimensionar una red neumática. Tanto la presión del entorno como la temperatura disminuyen con la altitud sobre el nivel del mar. Esta presión de entrada más baja afecta la relación de presiones tanto para los compresores como a las unidades de consumo lo que en la práctica refleja un significativo impacto en el consumo de aire y energía. A mayor altitud la potencia de los motores eléctricos y de combustión interna también se ve afectada.

En la tabla 50 se muestra la variación de la presión atmosférica en función de la altitud.

**Tabla 50. Presión atmosférica en relación a la altura sobre el nivel del mar**

Height below/above sea level	Pressure bar(a)	Temperature °C
-1000	1.138	21.5
-800	1.109	20.2
-600	1.080	18.9
-400	1.062	17.6
-200	1.038	16.3
0	1.013	15.0
200	0.989	13.7
400	0.966	12.4
600	0.943	11.1
800	0.921	9.8
1000	0.899	8.5
1200	0.877	7.2
1400	0.856	5.9
1600	0.835	4.6
1800	0.815	3.3
2000	0.795	2.0
2200	0.775	0.7
2400	0.756	-0.6
2600	0.737	-1.9
2800	0.719	-3.2
3000	0.701	-4.5
3200	0.683	-5.8
3400	0.666	-7.1
3600	0.649	-8.4
3800	0.633	-9.7
4000	0.616	-11.0
5000	0.540	-17.5
6000	0.472	-24.0
7000	0.411	-30.5
8000	0.356	-37.0

**Fuente: Atlas, manual de aire comprimido, 2012.**

Como se observa en la tabla 50, la ciudad de Quito se encuentra a una altitud de 2800 m.s.n.m, por lo que, se tiene una presión atmosférica de 0.719 [bar].

### 3.3.6.1.1 Cálculo del volumen del depósito de almacenamiento.

Para el cálculo del volumen del depósito de almacenamiento de aire comprimido se dispone de los datos establecidos en la tabla 51.

**Tabla 51. Datos para cálculo del depósito de almacenamiento**

Parámetro	Valor	Justificación
$Q_F$	902.88 $\left[\frac{l}{\text{min}}\right]$	Valor calculado en la sección 3.3.6
$P_{ATM}$	0.719 [bar]	Patm a 2800 m.s.n.m
$Z_S$	8	Valor dentro del rango recomendado.
$\Delta P$	3	Presión de alimentación de la red es 7 [bar] aproximadamente, y la de operación de los módulos 4[bar], por lo que se maneja un rango permisible de 3 [bar], sin permitir que llegue al valor mínimo.

**Fuente: Propia**

Reemplazando los datos mencionados en la tabla 51 se obtiene como resultado que el volumen necesario para el depósito de aire comprimido es

$$V_{DEP} = 406.3[l]$$

### 3.3.6.1.2 Cálculo de la potencia del compresor

El dimensionamiento del Compresor se lo realizará aplicando el análisis de un ciclo de aire de estándar cuyo comportamiento es análogo a un ciclo de Carnot, en el cual se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- El fluido de trabajo es aire y siempre se comporta como un gas ideal.
- El aire tiene calores específicos constantes cuyos valores se determinan a temperatura ambiente (25°C).

- Cambios de energía potencial y cinética despreciables.

El *Ciclo de Carnot (Isentrópico)* comprende las siguientes etapas:

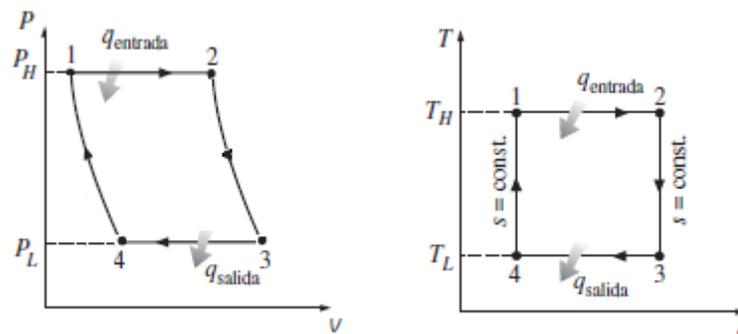
1-2. Expansión Isoterma

2-3. Expansión adiabática

3-4. Compresión Isoterma

4-1. Compresión Adiabática

**Fig 141. Etapas de un ciclo de Carnot**



**Fuente: Cengel, 2012**

Los Requerimientos para operación de los módulos del laboratorio son presión mínima de trabajo constante a 4bar (400 Kpa) y caudal estable.

$$P_H = 600 \text{ Kpa}; P_L = 400 \text{ KPa}; T_L = 300 \text{ K}$$

Las Propiedades del Aire como gas ideal (25°C) son:

$$R = 0.287 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} \right]; c_p = 1.005 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} \right]; c_v = 0.718 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} \right]; k = 1.4$$

**Análisis Termodinámico:**

$$T_H = T1 = T2 \quad P_H = P2 = P3$$

EC 26

$$T_L = T3 = T4 \quad P_L = P1 = P4$$

EC 27

**Temperatura 2 (T2):**

$$T2 = T3 \left( \frac{P1}{P3} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

EC 28

Al reemplazar los valores presión y propiedades del aire en la ecuación 23 se obtiene un valor  $T2 = 500.55 \text{ K}$ .

**Eficiencia Térmica ( $\eta_T$ ):**

$$\eta_T = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad \text{EC29}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación 29 se obtiene un valor  $\eta_T = 40.1 \%$

**Calor de Salida ( $q_{out}$ ):**

$$q_{out} = C_v (T2 - T3)$$

EC 30

Al reemplazar los valores en la ecuación 30 se obtiene un valor  $q_{out} = 144 \text{ KJ/Kg}$

**Calor de Entrada ( $q_{in}$ ):**

$$\eta_T = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$

EC 32

Al despejar  $q_{in}$  y reemplazar los valores en la ecuación 31 se obtiene un valor  $q_{in} = 240.26 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]$

**Trabajo Neto ( $w_{neto}$ ):**

$$w_{neto} = \eta_T q_{in}$$

EC 32

Al reemplazar los valores en la ecuación 32 se obtiene un valor  $w_{neto} = 96.26 \text{ KJ/Kg}$ .

**Densidad del Aire ( $\rho_{Aire, T2}$ ):**

Para calcular la densidad del aire a  $T_2 = 505K = 227^\circ C$  es necesario realizar la interpolación entre los valores más cercanos como se muestra en la tabla 51.

**Tabla 51. Cálculo de la densidad del aire**

200	0,7461
227	$\rho$
250	0,6748

**Fuente: Termotecnia, 2012**

$$\rho_{Aire,T2} = 0.71 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

### **Flujo Másico ( $\dot{m}$ ):**

$$\dot{m} = Q_{Real} \rho_{Aire,T2}$$

EC 33

Para calcular el flujo másico se tiene un valor de  $Q_{real} = 902,88 \left[ \frac{l}{min} \right] = 0,015 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$  obteniendo  $\dot{m} = 0.011 \left[ \frac{kg}{s} \right]$

### **Potencia ( $P_{Carnot}$ ):**

$$P_{Carnot} = \dot{m} w_{neto}$$

EC 34

Reemplazando los valores de flujo másico y trabajo neto se obtiene que la potencia es  $P_{Carnot} = 1.06 \left[ \frac{kJ}{s} \right]; P_{Carnot} = 1.4 [Hp]$

Una vez realizado el análisis termodinámico mediante un Ciclo de Carnot, la potencia mínima requerida del compresor es de 1.4 [Hp].

### **3.3.7 Selección por catálogo del compresor**

A continuación, en la tabla 52 se presentan los requerimientos del compresor para la red de aire comprimido del laboratorio de AIM.

**Tabla 52. Requerimientos del compresor**

<b>Especificación Técnica</b>		<b>Valor</b>
Volumen del Depósito [l]		406.3
Presión [bar]		6
Consumo [cfm]	902.88 [l/min] = 31.88 [cfm]	
Potencia [Hp]		1.4

**Fuente: propia**

De acuerdo, a las especificaciones del compresor brindadas en la tabla 3.46, y considerando la tarea de diseño, no se ha realizado una matriz de selección, pero entre los diferentes catálogos de compresores consultados de las marcas LG, porten, sun compressors, Campbell y powermade se ha procedido a seleccionar el compresor cuyas especificaciones son las que más similitud guardan con las calculadas en este estudio.

De este modo se ha seleccionado el compresor de pistón de la marca sun compressor de la serie LG, presión de operación máxima de 12 [bar] cuyas especificaciones se muestran en la tabla 53.

**Tabla 53. Especificaciones técnicas del Compresor Seleccionado**

Model	Piston Displacement		Free Air Delivery*		Motor Power		Compressor rpm	Tank Capacity Litres	Overall Dimensions (LxBxH) mm	Net Weight kg
	lpm	cfm	lpm	cfm	HP	kW				
SUN 1000 TS	997	35.2	850	30.0	10.0	7.5	925	420L	1650X875X1315	380

**Fuente: Sitio web, sun compressor, 2013**

Como se observa en la tabla 53, el compresor seleccionado tiene un desplazamiento del pistón del motor de 35,2 [cfm] superior al calculado de

31.88 [cfm], de igual manera, tiene capacidad del tanque de 420 [L], mientras el calculado es de 406.3 [L], cumpliendo todas las especificaciones de diseño. También tiene una potencia de 10 [HP] y pesa 380 [Kg]. En la figura 142 se muestra el compresor seleccionado

**Fig 142. Compresor seleccionado**



**Fuente: Sitio web, sun compressor, 2013**

### **3.3.8 Determinación del diámetro de la tubería.**

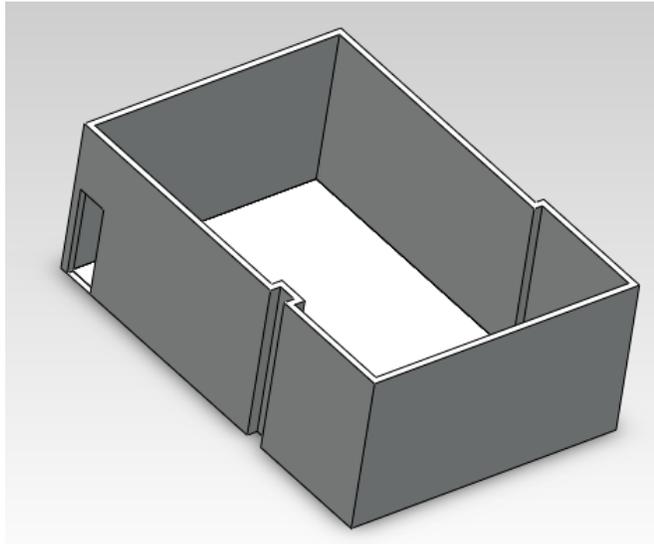
Para el cálculo del diámetro de la tubería de la red de distribución de aire comprimido se empleara el nomograma, en el cual, mediante datos de longitud equivalente de la tubería, caudal, perdidas de presión, y presión de funcionamiento se obtiene el diámetro óptimo de la tubería para la red.

#### **3.3.8.1 Dimensiones del laboratorio de AIM**

Para el cálculo de la longitud equivalente de la tubería de la red de aire comprimido es necesario conocer las dimensiones del laboratorio de AIM, el cual cuenta con un área aproximada de 57.24 m<sup>2</sup>.

En la figura 143 se observa un diagrama del interior del Laboratorio (vista superior), por donde ira montada la red de aire comprimido.

**Fig 143. Diagrama Laboratorio AIM**



**Fuente: Propia**

La red que se montara al interior del laboratorio de AIM, tiene una longitud equivalente de 39.2 m, ya que recorre las cuatro paredes internas y tiene una configuración en lazo cerrado.

### **3.3.8.2 Método de cálculo del diámetro de la tubería**

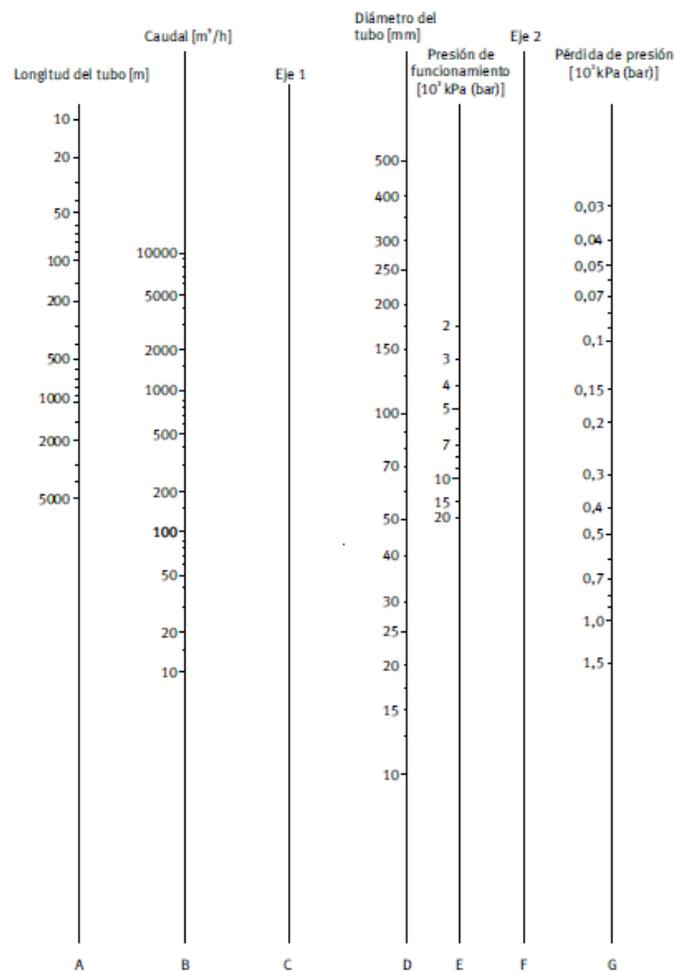
El nomograma como se observa en la figura 144 es una gráfica, la cual representa una fórmula matemática capaz de calcular el diámetro de la tubería

Para usar el nomograma y calcular el diámetro de la tubería, se procede a ejecutar los siguientes pasos:

- Dibujar una recta desde el eje A (longitud del tubo) hasta el eje B (caudal).

- Prolongar la recta hasta que se cruce con el eje 1 (C).
- Dibuje una segunda recta desde el eje E (presión de funcionamiento) hasta el eje G (perdida de presión). Así se obtiene un punto de intersección en el eje 2 (F).
- Dibujando una tercera recta, unir los puntos de intersección de los ejes 1 y 2. Esta tercera recta atraviesa el eje D (diámetro interior del tubo).

**Fig 144. Nomograma**



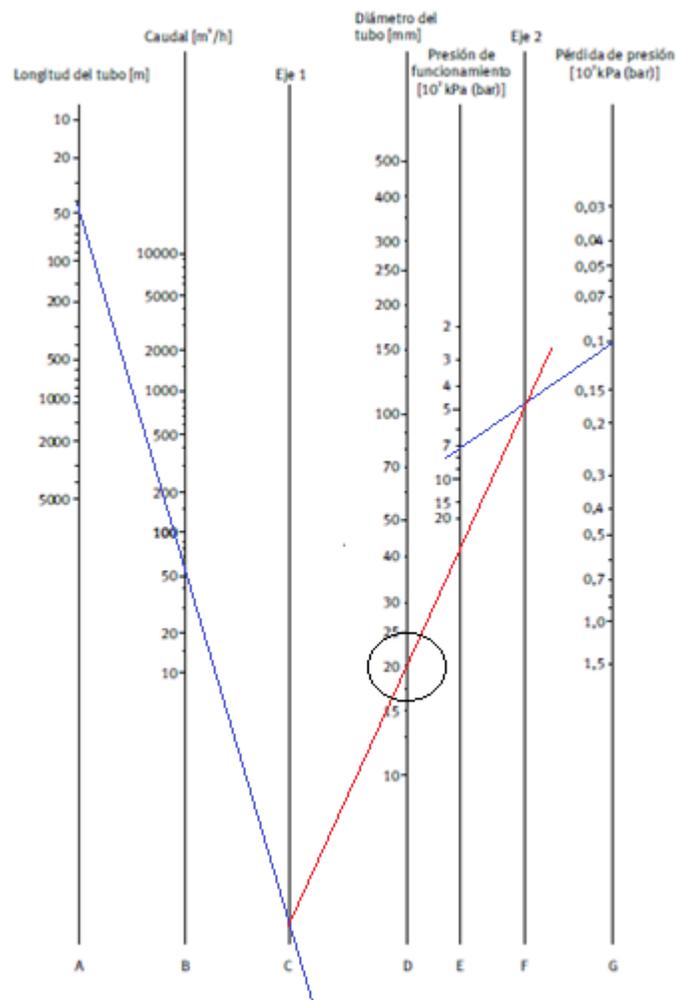
**Fuente: Manual de actuadores neumáticos, FESTO 2008**

### 3.3.8.3 Cálculo del diámetro provisional

Para calcular el diámetro provisional de la tubería se emplean los siguientes datos en el nomograma como se observa en la figura 145.

$$Q_F = 902.88 \left[ \frac{l}{min} \right] = 54.2 \left[ \frac{m^3}{h} \right]; L_{eq} = 39.2[m]; \Delta P = 0.1[m]; P = 7 [bar].$$

**Fig 145. Cálculo diámetro provisional**



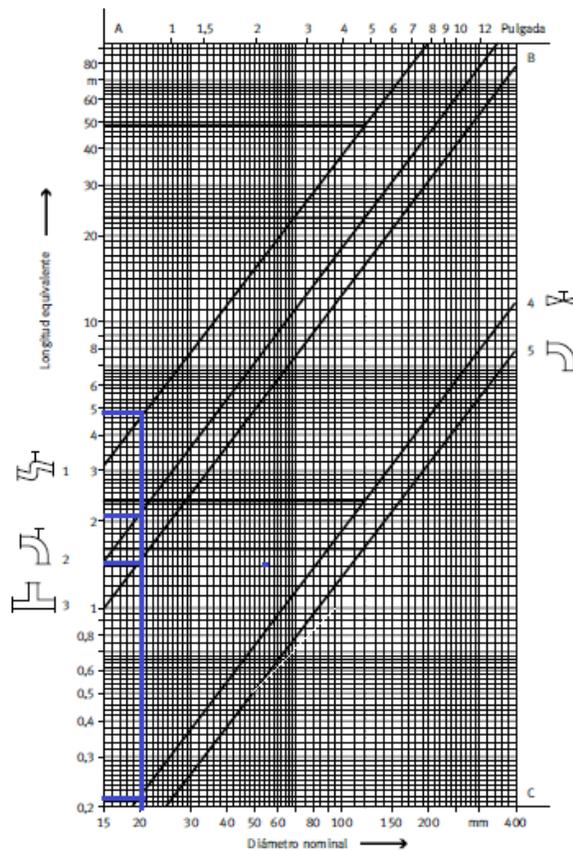
**Fuente: Propia**

Como se observa en la figura 145, el diámetro del tubo provisional es  $\varnothing_{Prov} = 20mm$ .

### 3.3.8.4 Determinación de longitudes sustitutivas

Las resistencias tales como: codos, piezas en T, válvulas, etc. Influyen en el cálculo del diámetro final del tubo, por tanto, es necesario determinar la longitud equivalente de los accesorios recurriendo al nomograma “Determinación de longitudes sustitutivas”, en el cual, se utiliza como valor, el diámetro provisional  $\varnothing_{Prov} = 20mm$ .

Fig 146. Longitudes Sustitutivas



Fuente: Propia

Dónde:

1: Válvula paso; 2: Válvula angular; 3: Pieza en T; 4: Compuerta; 5: Codo normal (90°).

Las longitudes sustitutivas son:

- Codo Normal de (90°)      30 Unidades de 0.2m      = 6m
- Piezas en T                      20 Unidades de 1.5 m      =30m
- Compuertas                      19 Unidades de 0.22m      =4.18m

La Longitud equivalente sustitutiva total por accesorios es  $L_a = 40.2[m]$

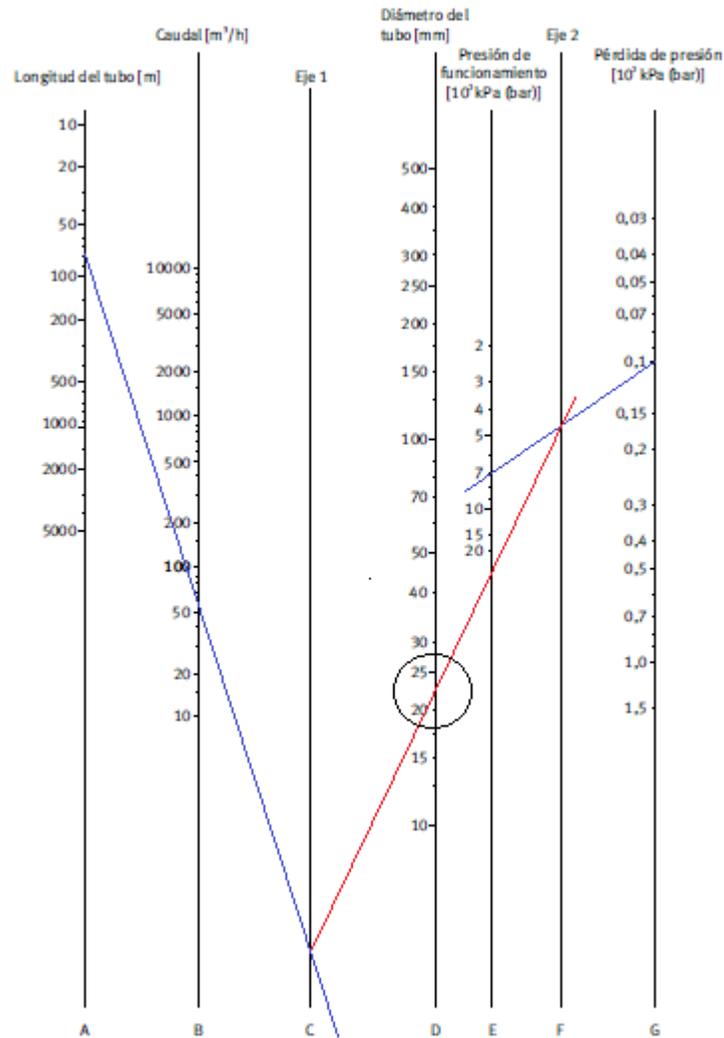
### 3.3.8.5 Determinación del Diámetro del tubo

Para determinar el diámetro final del tubo como se observa en la figura 147 utilizamos de igual manera el nomograma, pero utilizando la longitud total, la cual resulta de la ecuación 30.

$$L_T = L_{eq} + L_a = 39.2 + 40.2 = 79.4 \text{ m}$$

Ec 30

Fig 147. Diámetro Final Tubería.



Fuente: Propia

El diámetro final de la tubería es  $\phi_F = 23\text{mm} \approx [0.75 - 1] [in]$

### 3.3.9 Diseño del red.

Existen dos tipos de configuración para realizar el diseño de una red:

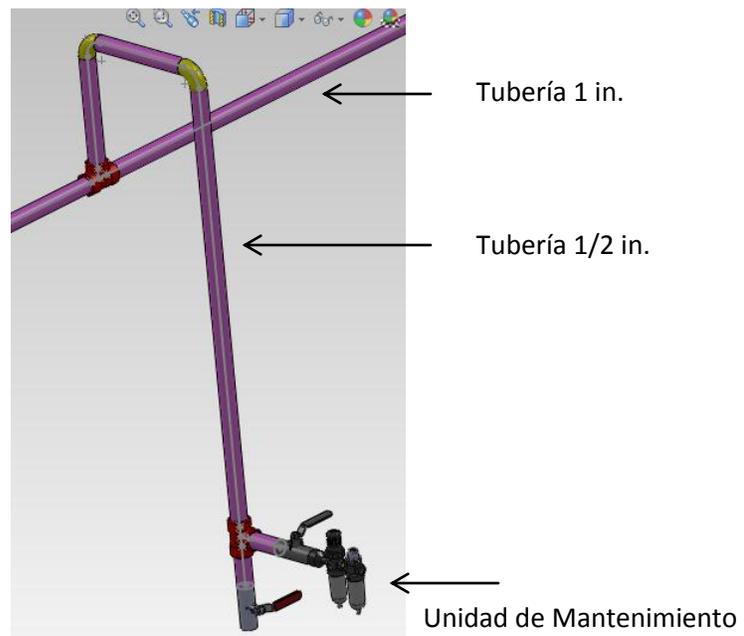
- Lazo Abierto: se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio, poca inversión inicial, facilidad

para extraer el condensado con una inclinación de 0.5%. Su principal desventaja es su mantenimiento.

- Lazo Cerrado: la línea principal constituye un anillo, su inversión es mayor que si fuera abierta, facilidad en mantenimiento (aislamiento de zonas). Dificultad para eliminar el condensado, por lo que el secado del aire se vuelve más estricto.

Por todas las características antes mencionadas se ha dispuesto realizar el diseño de la red en lazo cerrado principalmente por la facilidad del mantenimiento, se instalará una unidad de mantenimiento por toma de servicio.

**Fig 148. Unidad de mantenimiento**



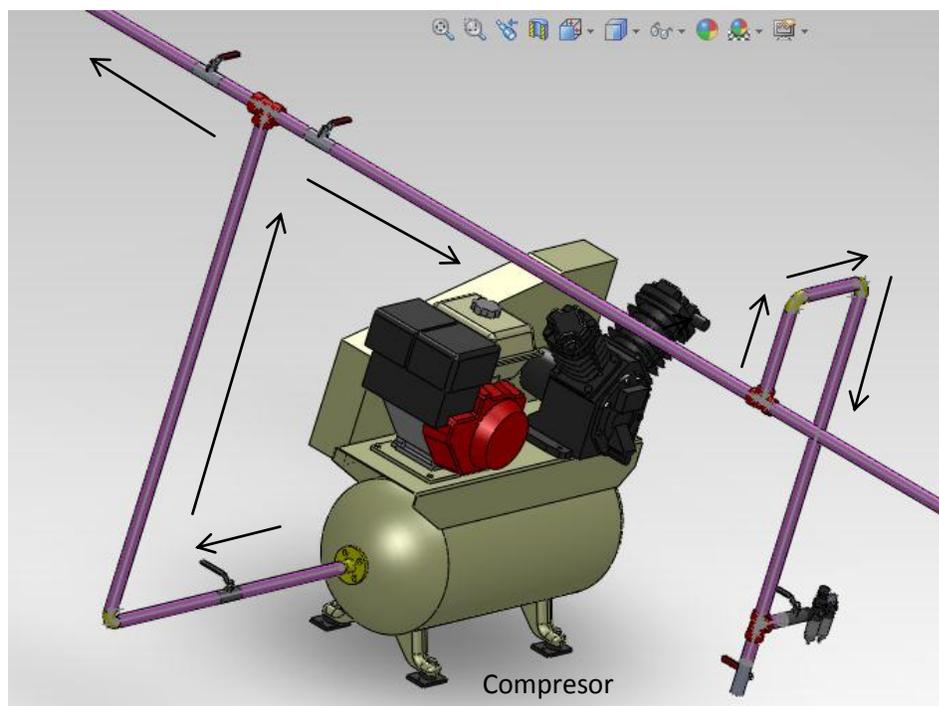
**Fuente: Propia**

El software utilizado para realizar el Piping de la tubería es Solidworks. Según cálculos de diseño del apartado 3.3.9 se ha realizado el Piping con un

diámetro de tubería de 1in en la línea principal y de ½ in en la línea de servicio como se observa en la figura 148.

Para empezar el Piping de la red se empieza desde la fuente de energía (aire comprimido) y se distribuye hacia las diferentes tuberías de servicio como se muestra en la figura 149 indicando el sentido que tendrá el flujo de aire.

**Fig 149. Inicio del Piping**



**Fuente: Propia**

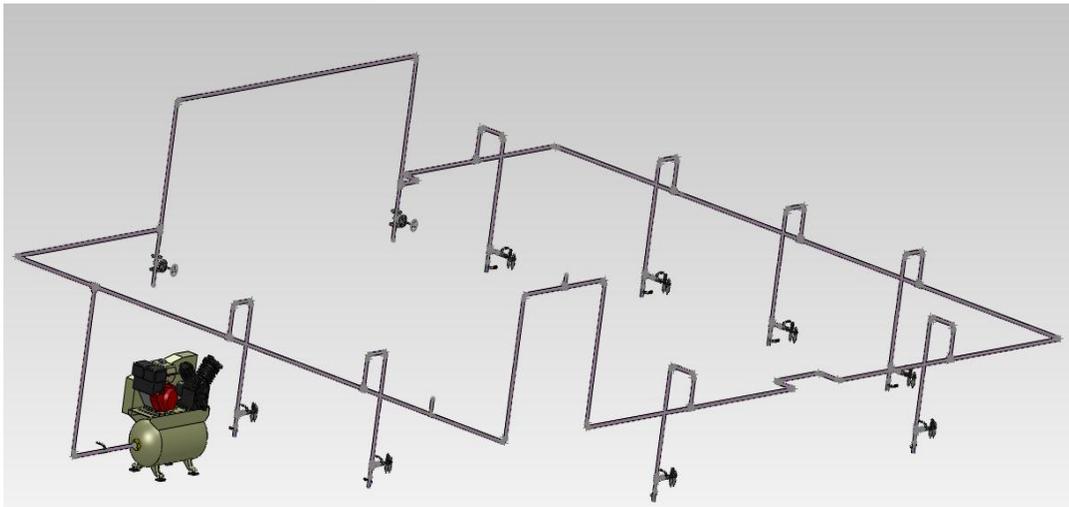
El sistema cuenta con válvulas manuales de bola para evacuar el condensado en la zona de la pizarra, purgas de línea, de paso, de alimentación, piezas en T, codos a 90°, unidades FR+L (filtro, regulador, lubricador).

Un acople en T con tapón ha sido incluido para una futura instalación. La red bordea la pizarra líquida ya que el Director de la carrera desconoce si será removido en un futuro.

Se ha dispuesto realizar un diseño con 8 tomas de servicio para las estaciones neumáticas de trabajo (figura 150), cada una con su respectiva válvula de paso, filtro y regulador de presión, en el cual se deberá calibrar para que la presión de entrada a los módulos sea mínimo 4 [bar].

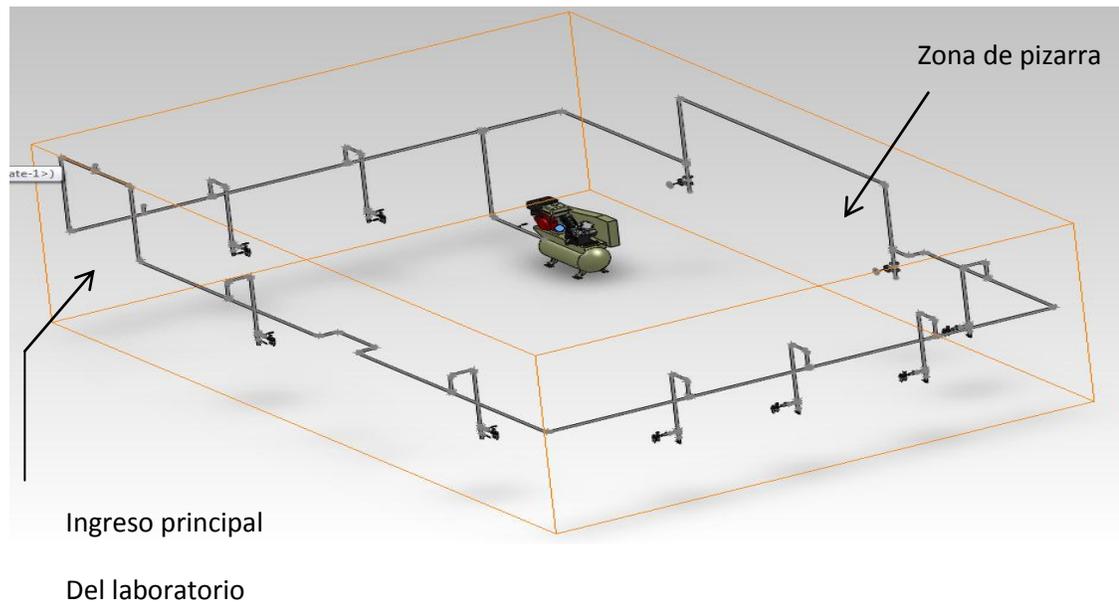
En la futura instalación tendrá que preverse una inclinación de 0.5% de la red para evacuar el condensado que podría generarse en la línea principal.

**Fig 150. Red de aire comprimido**



**Fuente: Propia**

En la figura 151 se muestra una vista de cómo irá la red de aire comprimido al interior del laboratorio.

**Fig 151. Vista de red al interior del laboratorio****Fuente: Propia****3.3.9.1 Selección del material de la tubería**

El material más usado en las tuberías de aire es el acero. Debe evitarse utilizar tuberías soldadas puesto que aumentan la posibilidad de fugas, más bien se recomiendan tuberías estiradas.

La identificación es una parte importante del mantenimiento. Según la norma UNE 1063 las tuberías que conducen aire comprimido deben ser pintadas de azul moderado UNE 48 103.

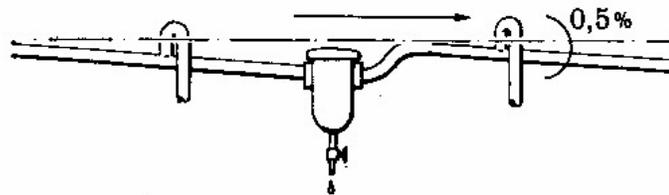
En general la tubería de una red no necesita mantenimiento fuera de la corrección de fugas que se producen más en las conexiones que en la tubería en sí. Se pueden considerar tres tipos de tuberías:

- Tubería principal: línea que sale del depósito de aire comprimido y canaliza la totalidad del caudal del aire.

- Tuberías secundarias: son las que toman el aire de la principal, ramificándose por las zonas de trabajo y de las cuales salen las de servicio.
- Tuberías de servicio: llamadas también bajantes, son las que alimentan a las herramientas o quipos neumáticos en el punto de manipulación. Llevan los acoplamientos de cierre rápido (válvula), mangueras de aire, así como los grupos filtro-regulador-engrasador.

Tanto las líneas secundarias como de distribución deben tener una inclinación mínima de 0.5% en la dirección del flujo como se muestra en la figura 152.

**Fig 152. Inclinación mínima de líneas de distribución**



**Fuente: 11**

Para seleccionar el material de la tubería de aire comprimido se ha buscado en el mercado local, una empresa con garantía que base su producción en base a normas y experimentos, es por esto, que se ha seleccionado los productos de la empresa NOVACERO S. A.

Se ha seleccionado el tubo para cañerías light II fabricado en base a la norma ASTM A53, ISO 65, NTE INEM 2470-08, los cuales son de uso general

en conducción de fluidos, en nuestro caso, aire comprimido. Estos tubos poseen 3 tipos de acabados:

- Negros con acabado de laminación y con protección de aceite inhibidor de la oxidación.
- Galvanizado por inmersión en caliente, interna y externamente.
- Capa promedio de galvanización: ASTM A53: min 550 [gr/m<sup>2</sup>], ISO 65: min 350 [gr/m<sup>2</sup>]

Los tubos fabricados bajo especificaciones ISO contemplados en los catálogos de la empresa seleccionada son validados por medio de un ensayo no destructivo por corriente de Eddy y ensayados por muestreo a una presión de 700 [psi].

Del catálogo se ha seleccionado la tubería requerida para la instalación como se observa en la figura 153.

Fig 153. Selección del diámetro de la tubería.

TUBOS ISO - 65




		ESPESOR	PESO
Denom. (pulg.)	Diám. Ext. (mm.)	e (mm.)	P Kg/6m
1/2	21,30	2,30	6,54
3/4	26,90	2,30	8,34
1	33,70	2,90	13,20
1 1/4	42,40	2,90	16,92
1 1/2	48,30	2,90	19,44

Fuente: Sitio web, NOVACERO S. A, 2013.

Como se calculó en la sección 3.3.9.5 el diámetro seleccionado para la tubería es para la línea principal:  $\varnothing = 1$  [in], con  $\varnothing_e = 33.70$  [mm];  $e = 2.90$  [mm];  $P = 13.20$   $\left[\frac{Kg}{6m}\right]$ , y la secundaria:  $\varnothing = 1/2$  [in], con  $\varnothing_e = 21.30$  [mm];  $e = 2.30$  [mm];  $P = 6.54$   $\left[\frac{Kg}{6m}\right]$ .

### 3.3.9.2 Análisis del costo de la instalación.

Para la futura instalación de la red de aire comprimido se describe en la tabla 54 la lista de materiales necesarios para la instalación.

Tabla 54. Lista de materiales.

Cantidad	Descripción	Imagen
102 m	Tubo ISO 65, 1 y ½ in	
30	Codo 90° ISO 65, 1 y ½ in	
20	Piezas en T ISO 65, 1in, ½ in, 1x1/2 in	
21	Válvula valpres Inoxidable, 1 y ½ in.	
8	Unidades FR+L 1/2 in	
1	Compresor, sección 3.3.8	
1	Kit de accesorios Neumáticos (mangueras, toma rápida, racores, etc.)	

Fuente: Propia

En la tabla 55 se muestra el costo cotizado de cada elemento y el costo total que tendría la instalación sin tomar en cuenta la mano de obra.

**Tabla 55. Costo de materiales para instalación.**

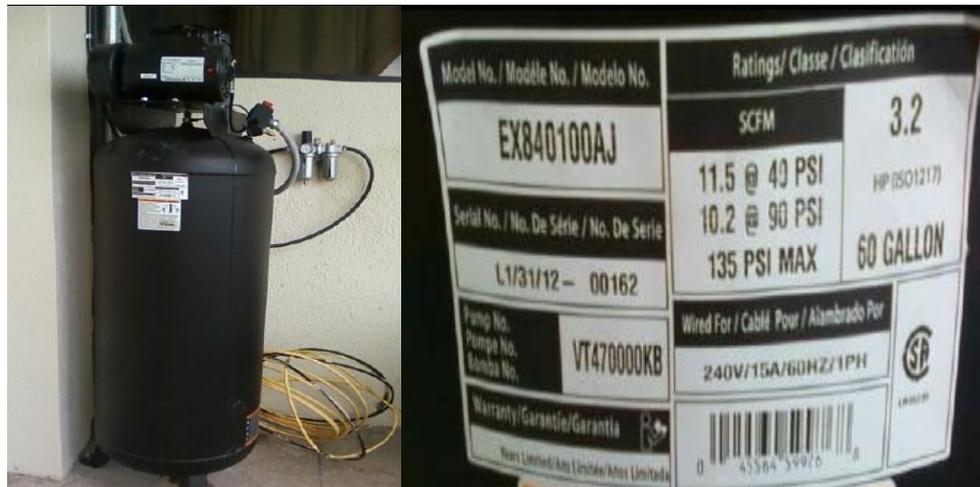
Cantidad	Descripción	Precio unitario	Subtotal
15	Tubo, 1 in x 4m	\$26.23	\$393.45
13	Tubo, 1/2 in x 4m	\$10.71	\$139.23
4	T normal 1 in	\$5.12	\$20.48
8	T reducción 1 in x 1/2 in	\$4.76	\$38.08
8	Accesorio T normal 1/2 in	\$2.79	\$22.32
16	Curva normal 90° 1/2 in	\$1.40	\$22.40
14	Curva normal 90° 1 in	\$2.45	\$34.30
16	válvula de bola 1/2 in	\$5.13	\$82.08
5	válvula de bola 1 in	\$17.23	\$86.15
8	Unidad FRL 1/2 in 10bar	\$109.48	\$875.84
1	Compresor SCHULZ 15HP 220VAC 3F, 175psi, 425Lt	\$3,440.06	\$3,440.06
1	Kit de accesorios neumáticos	\$100.00	\$100.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$5,254.39</b>
<b>IMPUESTOS 12%</b>			<b>\$630.53</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$5,884.92</b>

**Fuente: Unitech S.A, Kubiec-conduit.**

El costo de los materiales para la instalación es relativamente alto tomando en cuenta que se ha cotizado un compresor de marca distinta al seleccionado pero de características similares, considerando que un compresor trabaja al 70% de su eficiencia, es decir no entrega el 100% del caudal mencionado en sus especificaciones, esto debido al recalentamiento del motor que afecta a la vida útil del mismo, es por esto, que se ha cotizado un compresor con mayor potencia al seleccionado, pensando en que todas las estaciones de laboratorio trabajaran de manera intermitente.

Una alternativa para disminuir los costos de la red, sería utilizar el compresor del laboratorio de robótica de capacidad 10 [cfm] y 3.2 HP como se observa en la figura 154, pero restringiendo el uso simultaneo de todas las estaciones.

**Fig 154. Compresor del laboratorio de robótica como alternativa.**

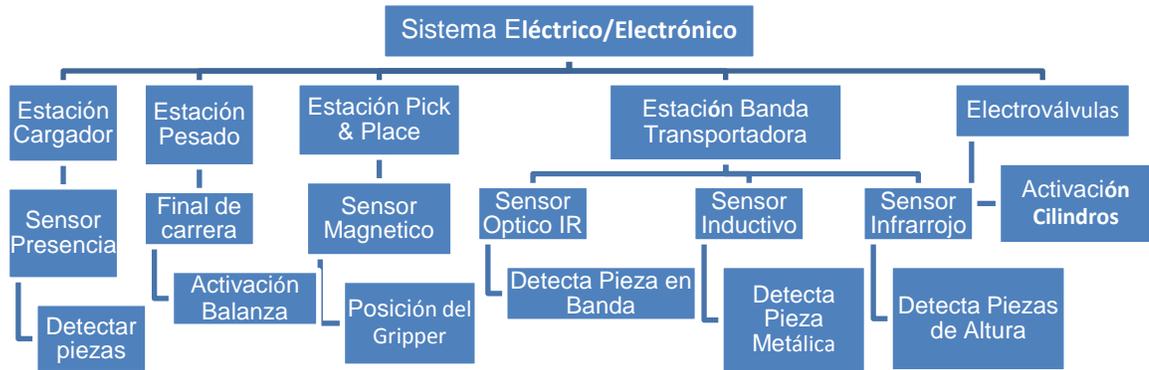


**Fuente: Propia**

### 3.4 Diseño Electrónico, Instrumentación, Automatización y Control.

Una vez finalizado el diseño y selección de elementos mecánicos del SPM-V1ZR, es necesario integrar al módulo elementos eléctricos y electrónicos como sensores y actuadores que permitan automatizar el sistema. En la figura 155 se muestra un diagrama de funciones de los componentes del sistema eléctrico/electrónico.

**Fig 155. Diagrama de función sistema eléctrico/electrónico.**



**Fuente: Propia**

La instrumentación es necesaria desde el punto de vista que se requiere de elementos que ayuden a identificar las características físicas de cada pieza (metal, altura, color), pero también para identificar la presencia de un elemento mecánico en un determinado lugar del módulo (gripper) o inclusive para determinar si una pieza del sistema tiene el peso correcto para poder continuar en el proceso o ser expulsado del módulo (estación de pesado).

Con la determinación de los sensores (instrumentación) a utilizar es necesario también definir la flexibilidad del controlador del equipo y el enlace entre los mismos mediante un panel de control que permita centralizar todos los componentes eléctricos y electrónicos del módulo para ser enlazados a un controlador externo de la elección del usuario. Será entonces importante definir el número total de entradas, salidas y auxiliares para el diseño del panel de control.

El diseño electrónico es la base para el diseño de PCB de los circuitos de acondicionamiento de señales de sensores y panel de control.

También, en la presente sección se realizara el diseño de la red eléctrica del laboratorio de AIM para puntos eléctricos a 110V por cada alimentación de aire comprimido de la red diseñada previamente.

#### **3.4.1 Diseño de la Red Eléctrica del Laboratorio de AIM.**

El laboratorio dispone normalmente de una serie de instalaciones o servicios generales de gas, agua, aire comprimido, vacío, electricidad, etc. de los cuales el responsable del laboratorio debe tener constancia que cumplen las normativas, que se hallen en buen estado y estén sometidas a un mantenimiento adecuado que garantice el funcionamiento de los equipos, como un riesgo nulo o escaso de provocar daños al personal que las utiliza en su trabajo en el laboratorio.

La instalación eléctrica del laboratorio debe estar diseñada en el proyecto de obra y en función de sus líneas de trabajo, del tipo de instrumental utilizado y teniendo en cuenta las futuras necesidades del laboratorio. Este aspecto debe ser contemplado en todas las modificaciones que se realicen. Por otro lado, la incorporación de nuevo instrumental debe tener en cuenta sus requerimientos eléctricos.

Los conductores deben estar protegidos a lo largo de su recorrido y su sección debe ser suficiente para evitar caídas de tensión y calentamientos. Las

tomas de corriente para usos generales deben estar en número suficiente y convenientemente distribuidas con el fin de evitar instalaciones provisionales.

De entre los distintos aparatos que tienen conexión eléctrica, es recomendable disponer de líneas específicas para los equipos de alto consumo.

Los riesgos asociados a la utilización de instrumental eléctrico son:

- Electrocución por contacto directo o indirecto, generado por todo aparato que tenga conexión eléctrica.
- Inflamación o explosión de vapores inflamables por chispas o calentamiento del aparato eléctrico.

En la distribución de la red eléctrica para el laboratorio de AIM se debe tomar en cuenta ciertos valores para cumplir con los requerimientos mínimos de protecciones, abastecimiento, etc.

Los valores que debemos tomar en cuenta son:

- Cantidad de módulos que van a operar en el laboratorio de AIM (se conoce que van a ser 8 módulos, más el compresor seleccionado en la sección 3.3.7).
- La corriente que va a utilizar cada módulo el momento que esté en funcionamiento, tomando en cuenta componentes externos (PLC's, DAQ's, Microcontroladores, compresor, etc).
- Conocer el ambiente del laboratorio, para la calidad de material que se va a utilizar y concurrencia en el mismo.

Teniendo en cuenta estos valores se deduce el número de fusibles con el que debe constar el laboratorio para protección y distribución de dicha red.

Con anterioridad se conoce que el SPM-V1ZR consume aproximadamente 10A, con lo que utilizando dicho modulo como referencia se asume que cada módulo utiliza dicha cantidad de corriente.

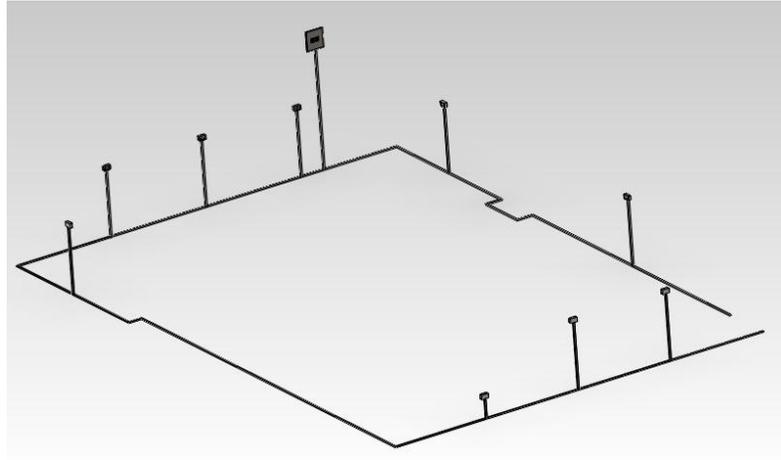
El ambiente del laboratorio es seco por lo que no se necesita que los tomacorrientes con puertillas para protección del mismo.

Se decidió colocar un tomacorriente junto a cada toma de aire comprimido para optimizar el uso del laboratorio y evitar tener cables cruzados por el mismo para poder llegar a un tomacorriente.

Dos tomacorrientes van a estar conectados a un fusible con protección máxima de hasta 25A, para evitar sobrecargar a un solo fusible con muchas conexiones y evitar que este saltando constantemente la protección.

En la figura 156, se observa la distribución de la red eléctrica que se diseñó para el laboratorio, la ubicación de la caja de fusibles y la ubicación de los respectivos tomacorrientes.

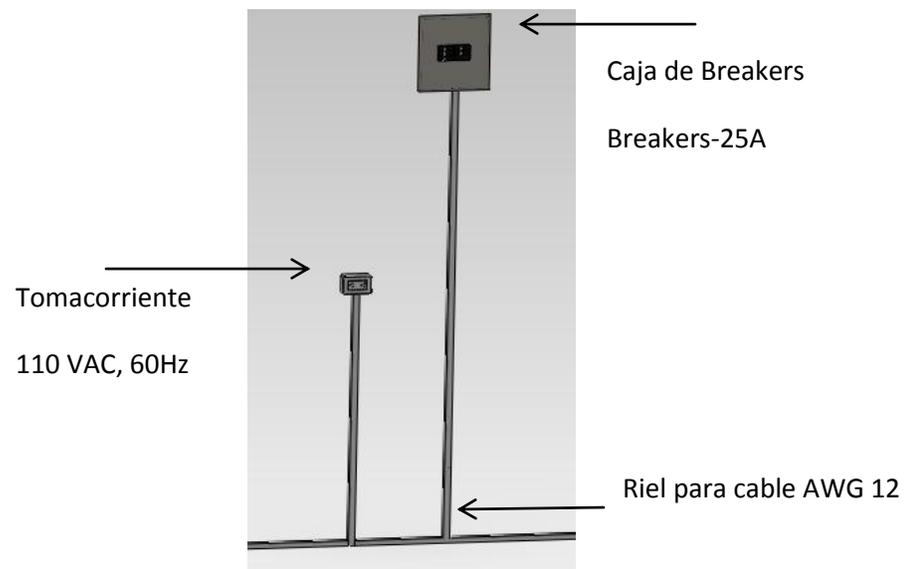
**Fig 156. Distribución de Red Eléctrica en el Laboratorio**



**Fuente: Propia**

En la tabla 157, se muestra los elementos con los que va a constar la red de distribución eléctrica.

**Fig 157. Descripción de los componentes de la red eléctrica**



**Fuente: Propia**

**Tabla 56. Componentes a ser utilizado de La Red de Distribución Eléctrica**

Red de Distribución Eléctrica		
Cantidad	Descripción	Imagen
1	Caja para 6 breakers	
5	Breakers de 25A	
9	Tomacorrientes	
41 m	Riel Eléctrica Plástica	
200 m	Cable Rollos de Cable AWG 12 (Negro, Amarillo)	

**Fuente: Propia**

En la tabla 57 se muestra el costo cotizado de cada elemento y el costo total que tendría la instalación sin tomar en cuenta la mano de obra.

**Tabla 57. Costo de Materiales para Instalación**

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Subtotal</b>
1	Caja para 8 breakers	\$35.19	\$35.19
5	Breaker de 25A	\$4.49	\$22.45
9	Tomacorrientes	\$0.78	\$7.02
2	Rollos de Cable AWG 12 (100m) (negro, amarillo)	\$43.69	\$87.38
21	Riel Eléctrica Plástica (2m)	\$2.09	\$43.89
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$195.93</b>
		<b>IMPUESTOS</b> 12%	<b>\$23.51</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>\$219.44</b>

**Fuente: Propia**

### 3.4.2 Sensores

Para detectar características físicas de las piezas y la presencia de ciertos elementos del módulo SPM-V1ZR se requiere identificar correctamente el tipo de sensores que cumplan con la función descrita en la tabla 58.

**Tabla 58. Función de sensores en SPM-V1ZR**

<b>Cant.</b>	<b>Estación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Función</b>
1	Cargador	Altura/presencia	Detectar presencia de pieza a la salida de la estación Feeder para activar el cierre del gripper.
1	Pesado	Switch	Determinar si la pieza en la balanza tiene o no el peso correcto
1	Pick & Place- Banda Transportadora	Magnético	Detectar la presencia del gripper con la pieza en la banda transportadora
1	Banda Transportadora	Óptico	Reconocer si existe una pieza en la banda transportadora y según el resultado encender o no el motor de la banda
1	Banda Transportadora	Inductivo	Detectar una pieza metálica.
1	Banda Transportadora	Infrarrojo	Detectar una pieza de altura.
1	Banda Transportadora	Cámara	Contar cuantas piezas de diferente característica se van ubicando en cada rampa contenedora.

**Fuente: Propia**

#### **3.4.2.1 Sensor de Altura Estación Cargador y Pesado.**

Cuando una pieza es alimentada desde la estación cargador hacia la de pesado, es importante registrar ese evento mediante un sensor que nos permita reconocer el objeto y enviar la señal eléctrica al controlador para ejecutar una orden de programación.

El sensor de altura debe trabajar en conjunto con el sensor de la estación de pesado, de tal manera, que cuando haya identificado la presencia de la pieza y el sensor de peso no se haya activado, entonces dará paso para que el gripper (pick & place) sostenga la pieza y posteriormente pueda ser trasladada a la estación de banda transportadora.

### 3.4.2.1.1 Selección sensor de altura.

El sensor seleccionado debe permitir reconocer una pieza metálica, de altura o de color en la estación de pesado en un rango de 0 a 30 cm aproximadamente, pero no puede reconocer una pieza de descarte.

Para seleccionar el sensor adecuado para la aplicación se emplea la matriz de decisión mostrada en la tabla 59.

**Tabla 59. Matriz de decisión sensor de altura**

Factor	Factor de ponderación	Sensor SHARP IRED	Sensor CMOS laser KEYENCE
<b>Costo</b>	2	9	6
		2.4	1.8
<b>Funcionalidad</b>	2	9	9
		1.8	1.8
<b>Disponibilidad</b>	1	9	7
		0.9	0.7
<b>Rango</b>	3	9	7
		2.7	2.1
<b>Sensibilidad</b>	2	8	9
		1.6	1.8
<b>TOTAL</b>	10	<b>9.4</b>	8.2

Para evaluar los factores de decisión se ha tomado valores entre 5 y 10, siendo 5 un valor poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. Según la tabla 3.53 el sensor más adecuado para la aplicación es el SHARP IRED de altura, se observa el factor más preponderante fue el rango y la funcionalidad, por otro lado, no se requiere de un sensor laser tan sofisticado que tiene

aplicaciones de precisión en la detección de objetos en la industria. El sensor seleccionado tiene alta disponibilidad en el mercado y su sensibilidad es aceptable para la función de detectar la presencia de las piezas en la estación de pesado.

En la figura 158 se muestra el sensor seleccionado.

**Fig 158. Sensor de altura SHARP IRED.**



**Fuente: Sitio web, GHI electronics, 2013.**

El SHARP GP2Y0A02YK0F es un sensor de medición de distancia compuesto por una combinación integrada de PSD (detección sensible a la posición), IRED (diodo emisor de infrarrojos) y un circuito de procesamiento de señales. La variedad de reflectividad del objeto, la temperatura ambiental y la duración de funcionamiento no influyen fácilmente en la detección del objeto a distancia debido al método de triangulación. Puede ser utilizado como un sensor de proximidad debido a que la salida de tensión analógica del dispositivo

es proporcional a la distancia de detección del objeto. En la tabla 59 se muestran las especificaciones técnicas del sensor.

**Tabla 59. Especificaciones técnicas sensor SHARP.**

Rango	20-150 [cm]
Tipo de salida	Analógica
Tamaño	29,5 x 13 x 21,6 [mm]
Consumo de corriente	33 mA
Alimentación	4,5 a 5,5 VDC

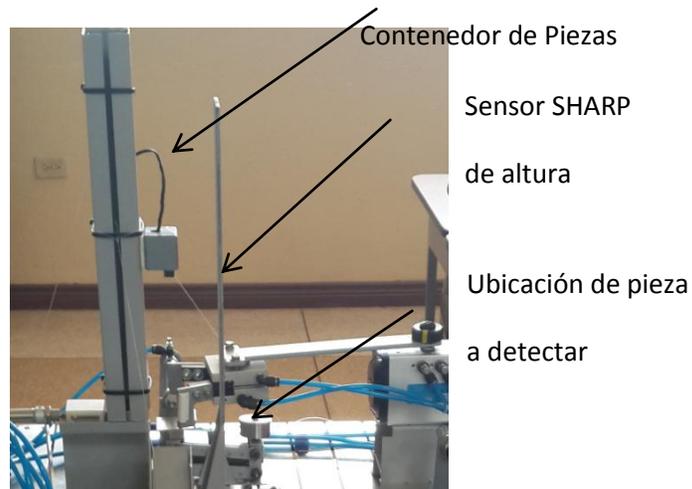
**Fuente: Sitio web, GHI electronics, 2013.**

Para otras características y posibles configuraciones del sensor (VER ANEXO C).

#### **3.4.2.1.2 Instalación sensor de altura SHARP.**

En la figura 159 se muestra la instalación del sensor SHARP de altura justo en una de las paredes del contenedor de piezas con la ubicación del emisor y receptor apuntando a la estación de pesado donde tendrá que detectar la presencia de una pieza de metal, color o altura.

**Fig 159. Instalación sensor SHARP de altura.**

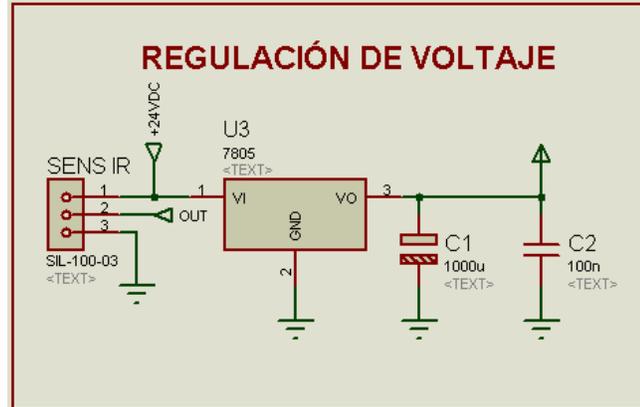


**Fuente: Propia**

#### **3.4.2.1.3 Acondicionamiento de Señal**

Considerando que tanto la alimentación general para todos los elementos eléctricos/electrónicos del módulo será 24 Vdc es necesario realizar un acondicionamiento para la alimentación del sensor, para ello se utiliza el integrado LM7805 que permite cumplir con el objetivo de regular la alimentación de voltaje de 24 Vdc a 5 Vdc como se muestra en la figura 160. El capacitor de 1000 uF es para estabilizar el voltaje, si es que hay caída de voltaje instantánea, y el capacitor cerámico de 100 nF que no posee polaridad, sirve para filtrar ruidos de alta frecuencia.

**Fig 160. Acondicionamiento para alimentación de voltaje.**



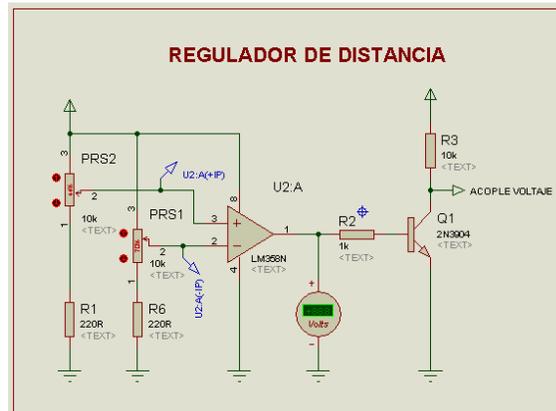
**Fuente: Propia**

En la figura 161 se muestra el circuito de regulación de distancia del sensor en el cual se utiliza el operacional LM358N, que trabaja como comparador.

El potenciómetro regula el voltaje de comparación, y funciona como un set point de la distancia, la resistencia de 15  $\Omega$  sirve para evitar un corto circuito cuando el potenciómetro está en 0 $\Omega$ , y debe ser lo más pequeña para que no afecte la medida del voltaje que ingresa en el pin del operacional.

La resistencia R2 se utiliza para generar el voltaje en la base del transistor Q1. La resistencia R3 trabaja como pull down con un transistor para asegurar un voltaje de 0V.

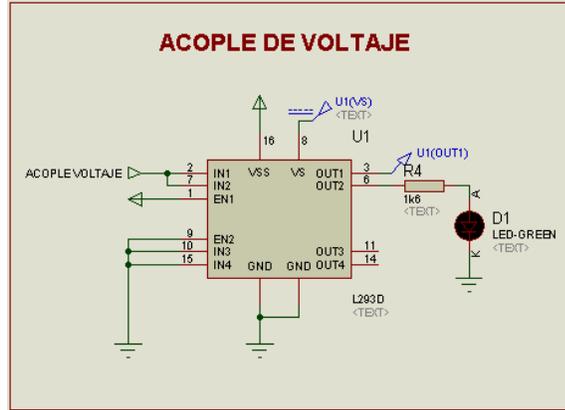
**Fig 161. Acondicionamiento sensor IR y LED indicador**



**Fuente: Propia**

En el caso de utilizar un PLC cuyo voltaje de alimentación para los módulos de entradas y salidas sea 24Vdc se ha realizado el diseño del acople de voltaje para el PLC, para que la salida del sensor sea convertida de 0-5 Vdc a 0-24 Vdc. Para ello se ha utilizado el integrado L293D que trabaja como puente H, es decir, convierte la salida de voltaje del sensor a un rango de salida de voltaje con el cual trabaja un PLC, como se muestra en la figura 162. El puente H trabaja como un relé digital cuyo tiempo de respuesta es superior al de un relé normal.

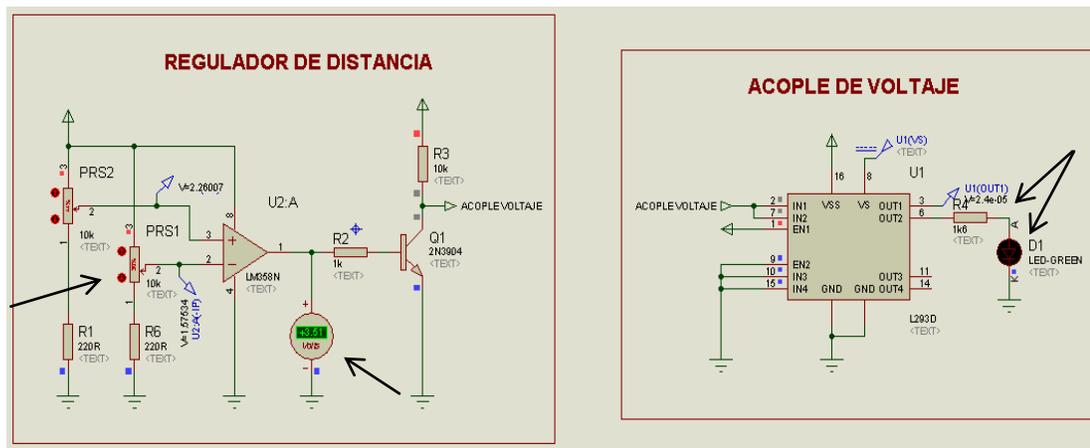
**Fig 162. Acople voltaje PLC**

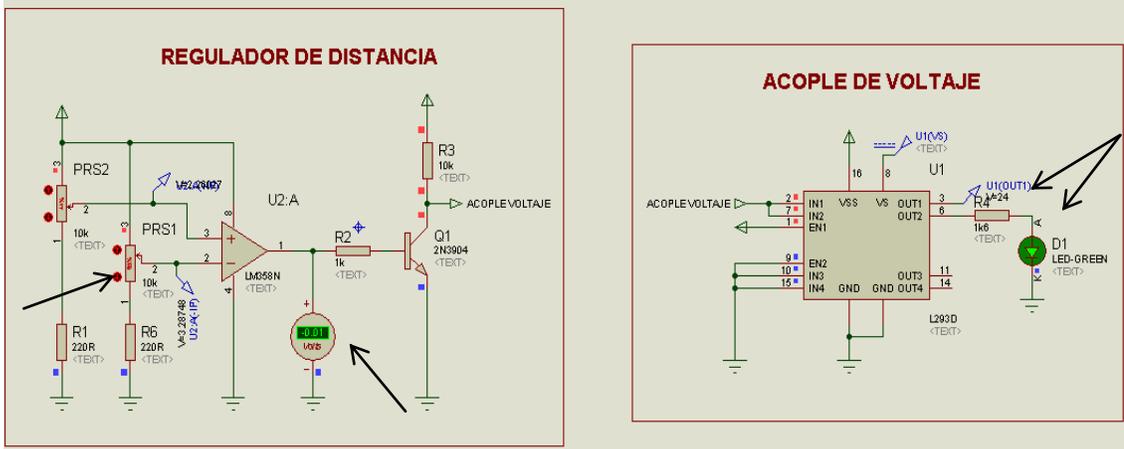


**Fuente: Propia**

De esta manera, con todos los acondicionamientos de las señales del sensor se ha procedido a realizar una simulación de su funcionamiento, donde podremos visualizar como el LED indicador permanece encendido cuando el sensor no ha detectado un objeto en el rango seteado y viceversa cuando detecta el objeto como se muestra en la figura 163.

**Fig 163. Simulación del sensor IR**





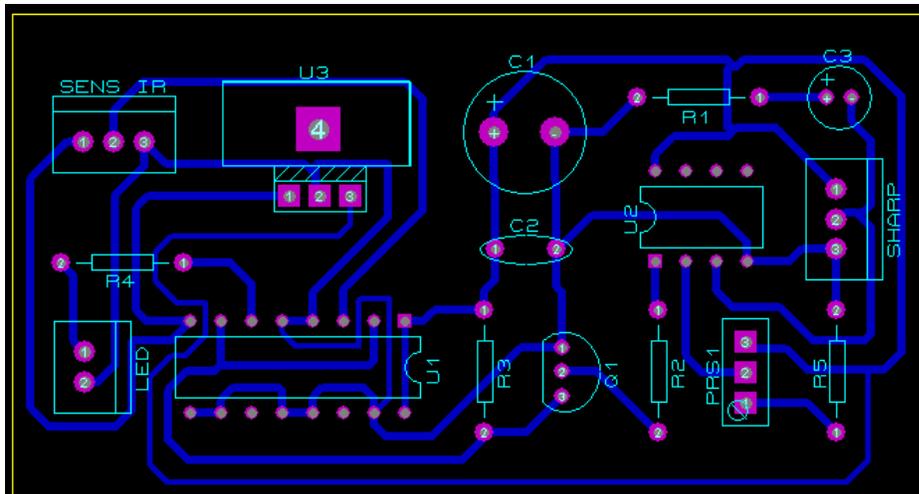
Fuente: Propia

### 3.4.2.1.4 Diseño PCB

Para el diseño de la PCB es necesario un layout del circuito de acondicionamiento del sensor IR, para lo cual se muestra en la figura 164 el diseño en el programa PROTEUS ISIS PROFESIONAL V7.7. Donde tenemos las conexiones para el emisor y receptor del sensor, alimentación al sensor, LED, etc.

Fig 164. Circuito PCB sensor IR





**Fuente: Propia**

En la tabla 60 se muestra la lista de componentes de la PCB del sensor IR de presencia/altura de la estación cargador.

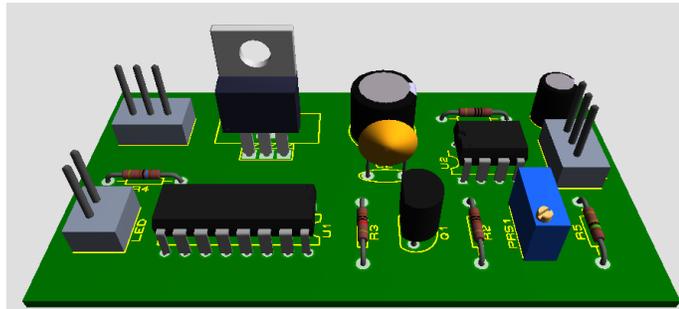
**Tabla 60. Lista de componentes PCB sensor IR estación cargador**

Componentes PCB Sensor IR estación cargador	
Símbolo	Nombre
Sens IR	Sensor SHARP IR GP2Y0A02YK0F
C1	Capacitor de 1000 $\mu$
C2	Capacitor de 100 $\eta$
C3	Capacitor de 1 $\mu$
R1	Resistencia de 100 $\Omega$
R2	Resistencia de 1k
R3	Resistencia de 10k
R4	Resistencia 1k6
R5	Resistencia de 15 $\Omega$
U1	Puente H L293D
U2	Operacional LM358N
U3	Regulador de voltaje 7805
PRS1	Potenciómetro 10k
Q1	Transistor 2N3904
LED	Conector de dos pines para el LED indicador de Encendido

**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 164 el diseño de la PCB se realizó en el software PROTEUS ARES V7.7, donde se procedió hacer el ruteo de las pistas de la placa electrónica para interconectar los elementos. En la figura 165 se muestra la instalación de la PCB del sensor de altura de la estación cargador.

**Fig 165. Instalación PCB sensor de altura**



**Fuente: Propia**

#### **3.4.2.2 Sensor de estación de pesado.**

Cuando una pieza es alimentada desde la estación cargador hacia la de pesado, es importante conocer si la pieza tiene el peso adecuado para continuar en el proceso. Conociendo que la estación de pesado está constituido por una balanza mecánica, es necesario implementar un dispositivo eléctrico/electrónico que permita conocer la posición de la misma, es decir,

cuando se alimente una pieza de peso a la balanza, esta deberá activar un sensor que permita activar el cilindro E mediante una señal del controlador del módulo y expulsar como descarte la pieza que no tiene el peso adecuado. Por lo contrario cuando el sensor no se active, esto significara que la pieza tiene el peso correcto para continuar en el proceso.

El sensor de peso debe trabajar en conjunto con el sensor IR de presencia de la estación cargador, de tal manera, si el sensor de la estación de pesado es activado y el sensor IR no detecta la presencia de ninguna pieza debido a que por efectos físicos de la balanza la pieza salió del rango de detección, entonces se permitirá el accionamiento del cilindro E para expulsar la pieza fuera del proceso.

#### **3.4.2.2.1 Selección sensor de la estación de pesado**

El sensor seleccionado debe permitir reconocer si la pieza tiene el peso adecuado o no, o simplemente reconocer el estado que nos interesa, que en este caso, es reconocer una pieza que no tiene el peso adecuado. Para seleccionar el sensor adecuado para la aplicación se emplea la matriz de decisión mostrada en la tabla 61.

**Tabla 61. Matriz de decisión sensor de pesado.**

Factor	Factor de ponderación	Final de Carrera Microswitch	Final de Carrera Magnético
<b>Costo</b>	4	9	9
		3,6	3,6
<b>Funcionalidad</b>	3	9	7
		2,7	2,1
<b>Disponibilidad</b>	1	9	9
		0.9	0.9
<b>Sensibilidad</b>	2	8	9
		1.6	1.8
<b>TOTAL</b>	10	<b>8,8</b>	8.4

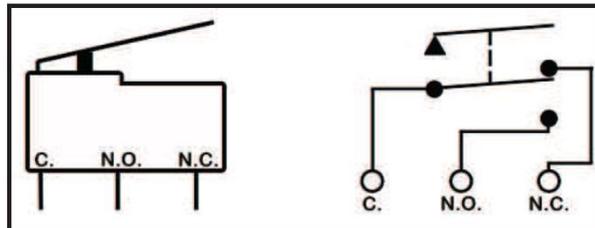
**Fuente: Propia**

Para asignar un valor a cada factor se ha considerado un rango entre 5 y 10, siendo 5 un factor poco favorable al sistema y 10 muy favorable. Según la tabla 3.56 el sensor más adecuado para la aplicación es el microswitch final de carrera, se observa el factor más preponderante fue el costo y la funcionalidad, considerando que el costo es igual se analiza la funcionalidad que en el presente caso sería mejor el del microswitch, ya que se podría aprovechar el movimiento de la balanza para activar o desactivar el mismo. El sensor seleccionado tiene alta disponibilidad en el mercado y su sensibilidad es aceptable para la función de detectar el estado de la balanza según sea una pieza de peso o metálica, color, altura.

En la figura 166 se muestra el sensor seleccionado.

**Fig 166. Sensor de peso microswitch.****Fuente: Propia**

Este tipo de sensores de final de carrera son conocidos como microswitch, que es un conmutador de 2 posiciones con retorno a la posición de reposo, el mismo que cuenta con una palanca de accionamiento como se muestra en la figura 167.

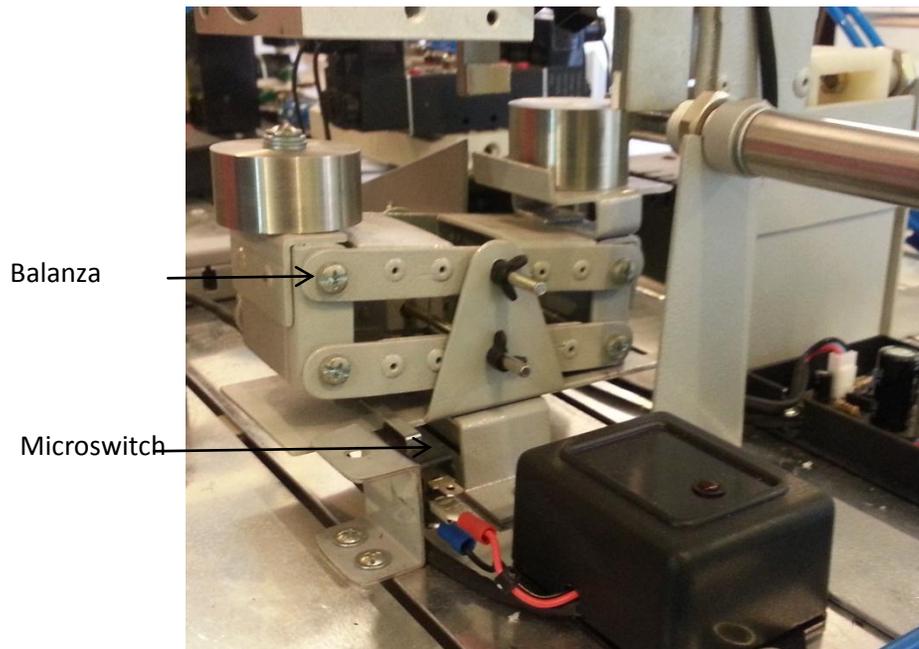
**Fig 167. Funcionamiento del microswitch****Fuente: Propia**

En estado de reposo del microswitch se tiene el terminal C conectado al N.C, cuando la presión aplicada a la palanca del microswitch hace saltar la pequeña platina acerada interior, entonces el contacto cambia a la posición normalmente abierto N.O. Cuando el microswitch cambia de estado se escucha un clic que sucede al final del recorrido de la palanca.

#### 3.4.2.2.2 Instalación sensor de peso microswitch.

En la figura 168 se muestra la instalación del microswitch en la estación de pesado, junto a la balanza para permitir que su movimiento active o desactive la palanca.

**Fig 168. Instalación sensor de peso microswitch.**

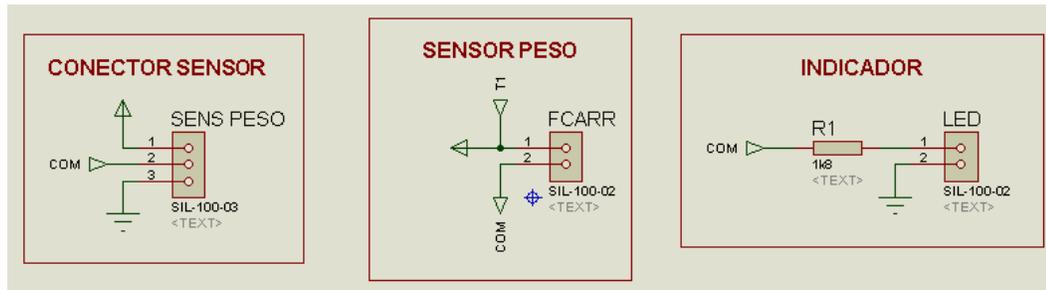


**Fuente: Propia**

#### 3.4.2.2.3 Acondicionamiento de Señal

Por la simplicidad del sistema no es necesario acondicionar la señal utilizando otros elementos electrónicos, en la figura 169 se muestra el diseño del circuito de señal del microswitch, donde se utilizan conectores y un LED indicador para conocer el estado de activación o desactivación del microswitch.

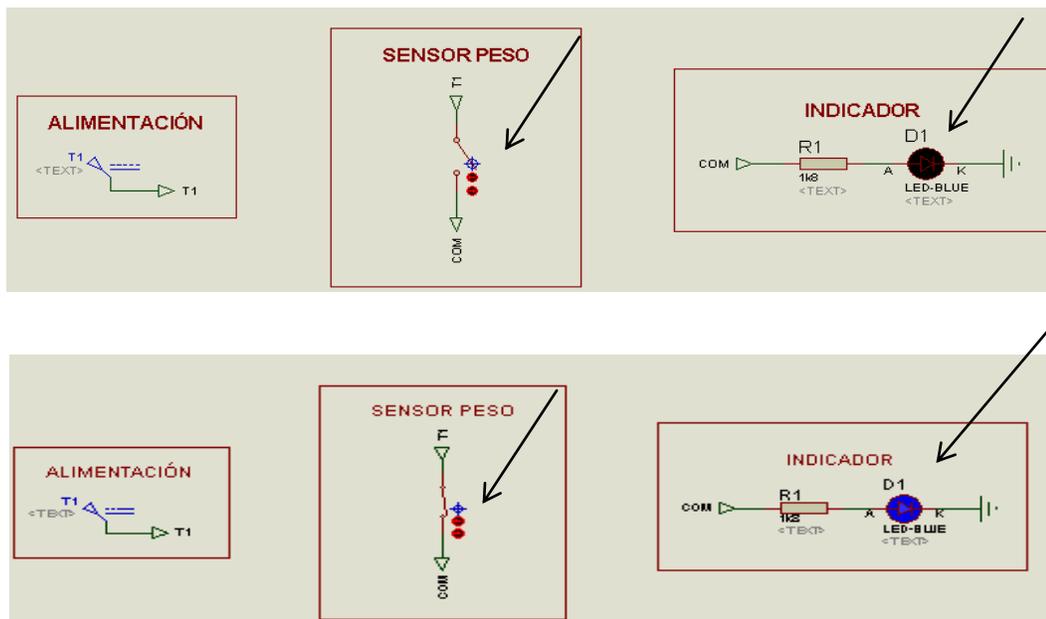
**Fig 169. Diagrama Esquemático del circuito para microswitch.**



**Fuente: Propia**

En la figura 170 se muestra la simulación del diseño del circuito para el microswitch.

**Fig 170. Simulación del sensor microswitch**

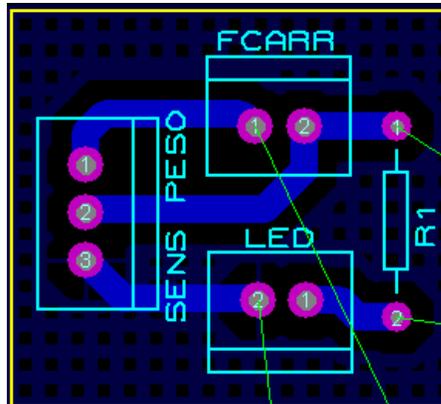


**Fuente: Propia**

### 3.4.2.2.4 Diseño PCB

En la figura 171 se muestra el diseño del diseño de la PCB del sensor de peso.

**Fig 171. Circuito PCB sensor microswitch**



**Fuente: Propia**

En la tabla 61 se muestra la lista de componentes de la PCB del sensor IR de presencia/altura de la estación cargador.

**Tabla 61. Lista de componentes PCB sensor microswitch estación de pesado**

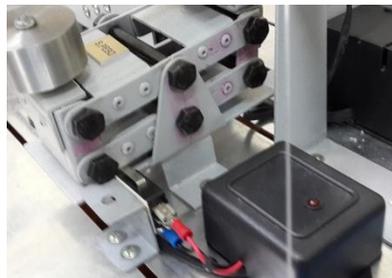
Componentes PCB Sensor estación de pesado	
Símbolo	Nombre
Sens PESO	Microswitch
LED	Conector de dos pines para el LED indicador de Encendido
R1	Resistencia 1k
FCARR	Conector 2 pines

**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 3.135 el diseño de la PCB se realizó en el software PROTEUS ARES V7.7, donde se procedió hacer el router de las pistas

de la placa electrónica para interconectar los elementos. En la figura 172 se muestra la instalación de la PCB del microswitch de la estación de pesado.

**Fig 172. Instalación PCB sensor de altura**



**Fuente: Propia**

### **3.4.2.3 Sensor estación pick & place y banda transportadora.**

Cuando una de las piezas con el peso adecuado se encuentra posicionada en la balanza, entra a trabajar la estación pick & place, la cual se encarga de trasladar la pieza desde la estación de pesado hasta la estación de la banda transportadora. Es necesario identificar la presencia del elemento que realiza el movimiento que en este caso es el gripper o pinza neumática. La presencia del gripper a ser detectada tiene que generarse cuando la estación pick & place llega a la banda transportadora, en ese momento, el sensor seleccionado deberá activarse para enviar la señal eléctrica al controlador y permitir que

active la salida correspondiente para permitir que la pinza neumática suelte la pieza justo en la banda transportadora.

Por todo lo explicado, se requiere un tipo de sensor con emisor y receptor, los cuales serán instalados en las pinzas del gripper y en la banda transportadora.

#### 3.4.2.3.1 Selección sensor.

El sensor seleccionado debe permitir reconocer la presencia del gripper en la banda transportadora en la posición correcta para que cuando el gripper abra sus pinzas, la pieza caiga exactamente en el inicio de la banda.

Para seleccionar el sensor adecuado para la aplicación se emplea la matriz de decisión mostrada en la tabla 62.

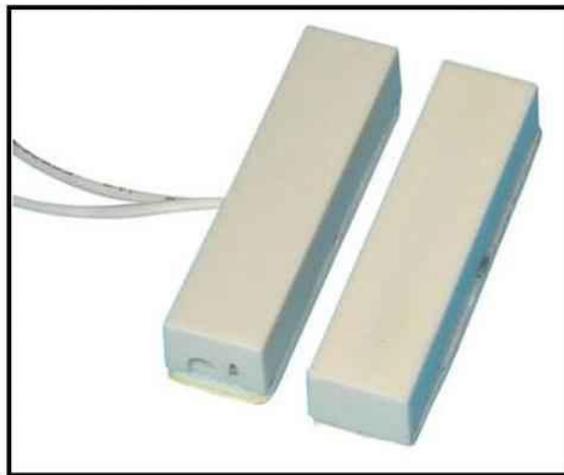
**Tabla 62. Matriz de decisión sensor del gripper**

Factor	Factor de ponderación	Sensor de proximidad magnético	Sensor magnético FOTEK FS3
<b>Costo</b>	4	9	5
		3.6	2
<b>Funcionalidad</b>	2	9	9
		1.8	1.8
<b>Disponibilidad</b>	1	9	6
		0.9	0.6
<b>Sensibilidad</b>	3	7	9
		2.1	2.7
<b>TOTAL</b>	10	<b>8.4</b>	7.1

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores se ha considerado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. En la tabla 62 se observa que el sensor seleccionado es el de proximidad magnética, donde influyen principalmente los factores costo y sensibilidad. Si bien es cierto el sensor magnético FOTEK ofrece una alta sensibilidad, pero su disponibilidad en el mercado es escasa y su costo elevado. Por lo que se decide utilizar un sensor de proximidad magnético utilizado en su mayoría en las puertas y ventanas como sistema de seguridad en alarmas de edificios y construcciones como se muestra en la figura 173.

**Fig 173. Sensor de proximidad magnético.**



**Fuente: Sitio web, GHI electronics, 2013.**

El sensor de proximidad magnética seleccionado consta de un imán que puede ser instalado en un dispositivo móvil y un elemento fijo compuesto por contactos N.A y N.C. Cuando el imán se desplaza próximo al elemento fijo se genera un campo magnético que conmuta los contactos internos del sensor, por

tanto es un sensor discreto. Únicamente se requiere detectar la proximidad del gripper a la banda transportadora para ejecutar una acción de control en el mismo. En la tabla 63 se muestra las especificaciones técnicas del sensor de proximidad magnético.

**Tabla 63. Especificaciones técnicas sensor de proximidad magnético.**

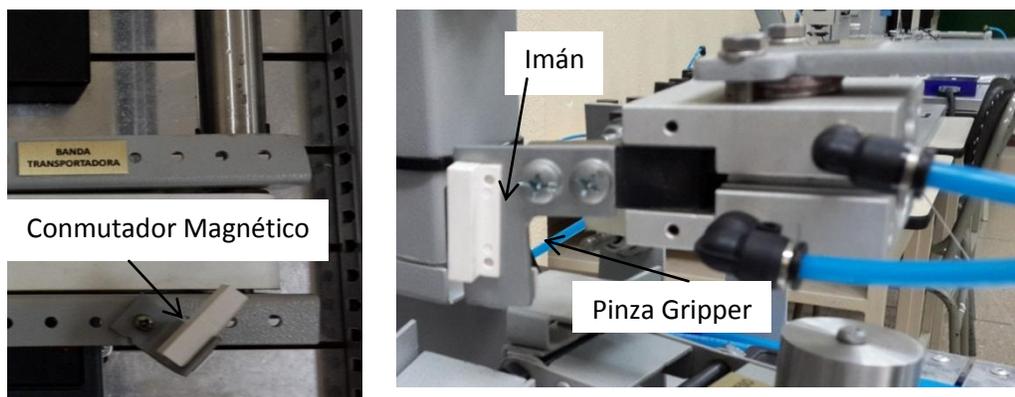
Tipo de salida	Discreta
Conmutaciones	2000
Tamaño	7 x 7 x 21,6 [mm]
Consumo de corriente	24 mA
Alimentación	24 VDC

**Fuente: Sitio web, APM micro, 2013.**

#### 3.4.2.3.2 Instalación sensor de proximidad magnético.

En la figura 174 se muestra la instalación del sensor de proximidad magnético en el inicio de la banda transportadora y el imán que permitirá su conmutación en una de las pinzas del gripper.

**Fig 174. Instalación sensor de proximidad magnético.**

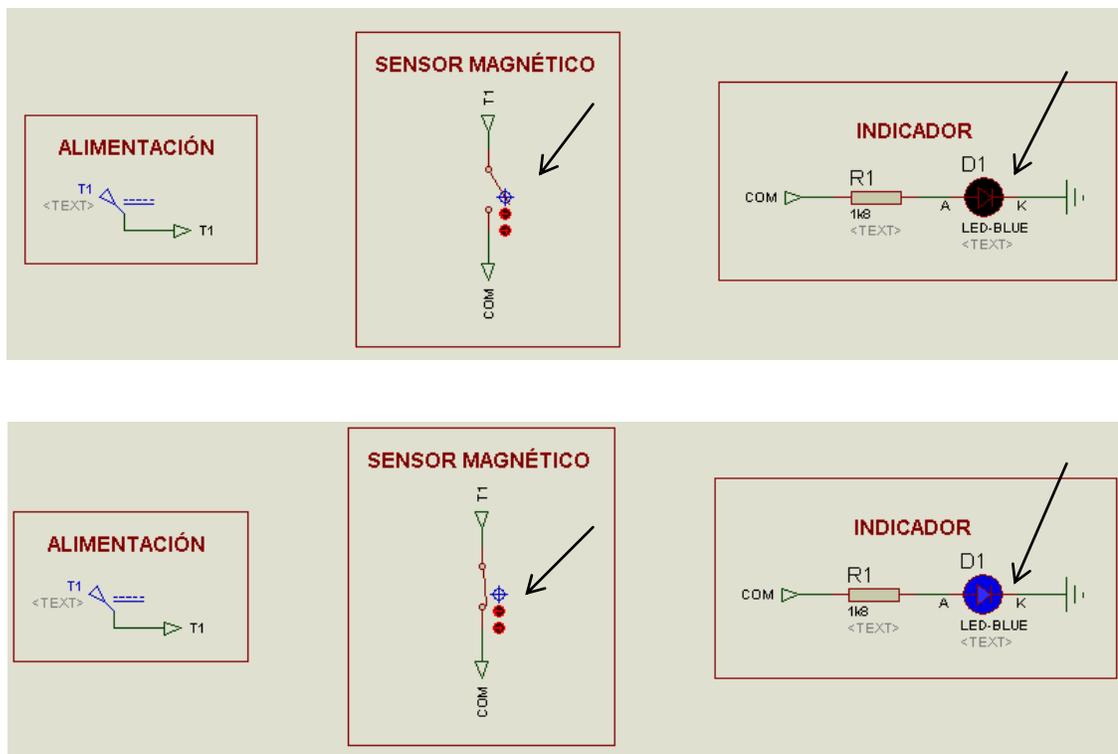


**Fuente: Propia**

### 3.4.2.3.3 Acondicionamiento de Señal

El sensor de proximidad magnético tiene una salida proporcional al voltaje de alimentación, es decir, si la alimentación del sensor es 24Vdc, la salida del sensor también conmutará entre 0 Vdc – contacto N.A y 24Vdc- contacto N.C como se muestra en la figura 175.

**Fig 175. Simulación del sensor de proximidad magnético**



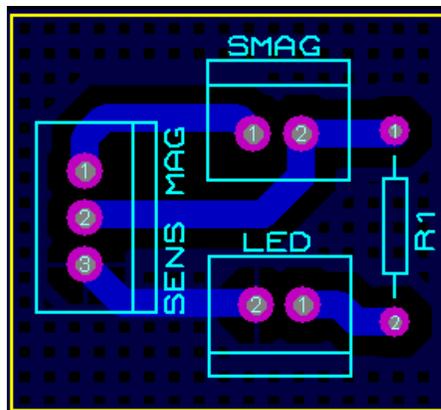
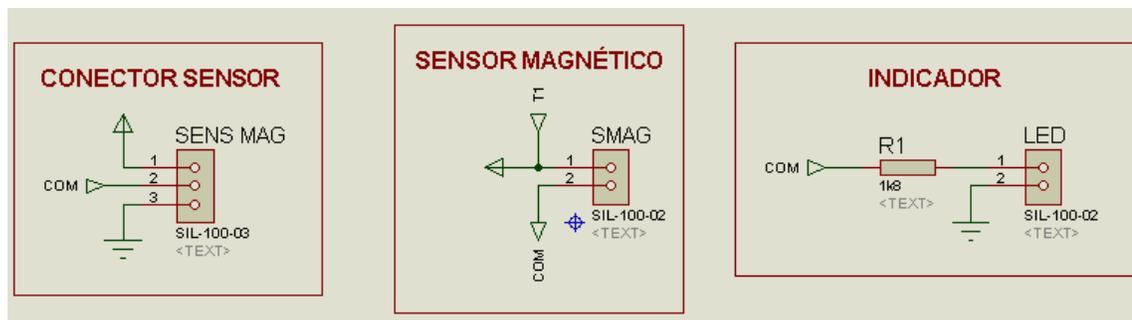
**Fuente: Propia**

### 3.4.2.3.4 Diseño PCB

Para el diseño de la PCB es necesario realizar un diagrama esquemático circuito de acondicionamiento del sensor de proximidad magnético, para lo cual

se muestra en la figura 176 el diseño en el programa PROTEUS ISIS-ARES PROFESIONAL V7.7.

**Fig 176. Diagrama Esquemático y PCB del sensor de proximidad magnético.**



**Fuente: Propia**

En la tabla 64 se muestra la lista de componentes de la PCB del sensor de proximidad magnético.

**Tabla 64. Lista de componentes PCB sensor proximidad magnético**

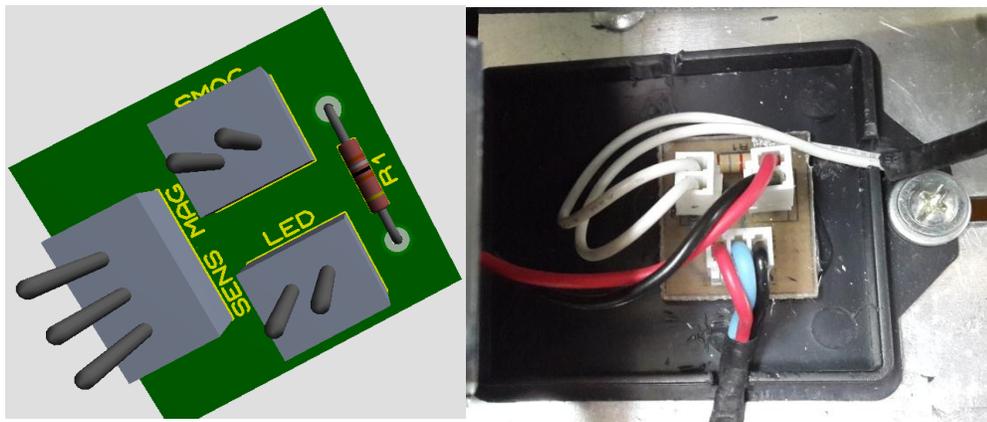
Componentes PCB sensor magnético estación pick & place	
Símbolo	Nombre
Sens MAG	Sensor de proximidad magnético
SMAG	Conector 2 pines
LED	Conector de dos pines para el LED indicador de Encendido
R1	Resistencia 1k

**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 176 se procedió hacer el router de las pistas de la placa electrónica para interconectar los elementos.

En la figura 177 se muestra la instalación de la PCB del sensor de proximidad magnético en el módulo.

**Fig 177. Instalación PCB sensor de proximidad magnético**



**Fuente: Propia**

### 3.4.2.4 Sensor Piezas de altura en estación banda transportadora.

Cuando las piezas de altura (negro) han sido transportadas por el gripper hasta la banda transportadora, se requiere un sensor que permita identificar esta característica física para clasificar la pieza de manera adecuada.

#### 3.4.2.4.1 Selección sensor.

Se requiere un sensor que permita identificar únicamente esta característica y su señal de activación no se vea afectada cuando piezas de otras características ya sea metálica o de color sean trasladadas a lo largo de la banda transportadora.

En la tabla 65 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el sensor.

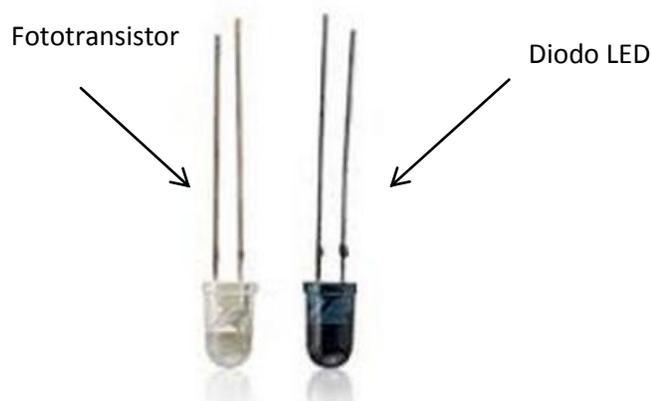
**Tabla 65. Matriz de decisión sensor piezas de altura**

Factor	Factor de ponderación	Sensor SHARP IRED	Sensor Infrarrojo emisor/receptor
<b>Costo</b>	2	5	9
		1	1.8
<b>Funcionalidad</b>	2	9	9
		1.8	1.8
<b>Disponibilidad</b>	1	9	9
		0.9	0.9
<b>Rango</b>	3	9	9
		2.7	2.7
<b>Sensibilidad</b>	2	9	8
		1.8	1.6
<b>TOTAL</b>	10	8.2	<b>8.8</b>

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores se ha considerado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. En la tabla 65 se observa que ambos sensores tienen muy buena funcionalidad, alta disponibilidad, rango. Para la aplicación de detección de piezas de altura se considera que la mejor opción es el sensor infrarrojo, ya que su costo es muy inferior al de altura Sharp y no se requiere un alto rango de detección debido al espacio disponible para su instalación en la banda transportadora.

**Fig 178. Sensor infrarrojo IR.**



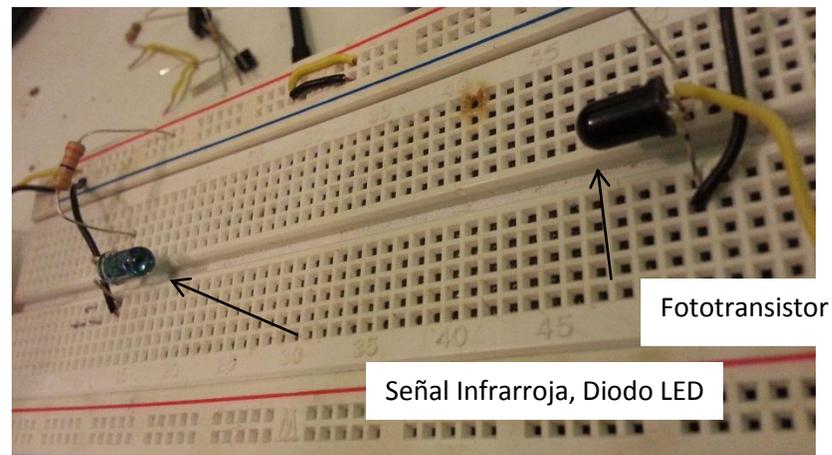
**Fuente: Sitio web, APM MICRO, 2013.**

El sensor infrarrojo IR está compuesto por un diodo LED y un fototransistor. Un diodo como ya se conoce es un elemento electrónico conductor en el sentido cátodo -ánodo y no al inverso. El LED es un diodo capaz de emitir luz al ser polarizado en el sentido directo. El diodo IRLED es un emisor de rayos infrarrojos que constituyen una radiación electromagnética situada en el espectro electromagnético, en el intervalo que va desde la luz visible a las microondas.

En los fototransistores la base esta reemplazada por un cristal fotosensible que cuando recibe luz, produce una corriente y desbloquea el transistor. Reacciona con la luz visible y los rayos infrarrojos que son invisibles.

En la figura 179 se muestra la simulación en protoboard del funcionamiento y disposición del sensor infrarrojo IR.

**Fig 179. Simulación Protoboard sensor infrarrojo IR**



**Fuente: Propia**

En la tabla 66 se muestran las especificaciones técnicas del sensor infrarrojo IR.

**Tabla 66. Especificaciones técnicas sensor infrarrojo IR.**

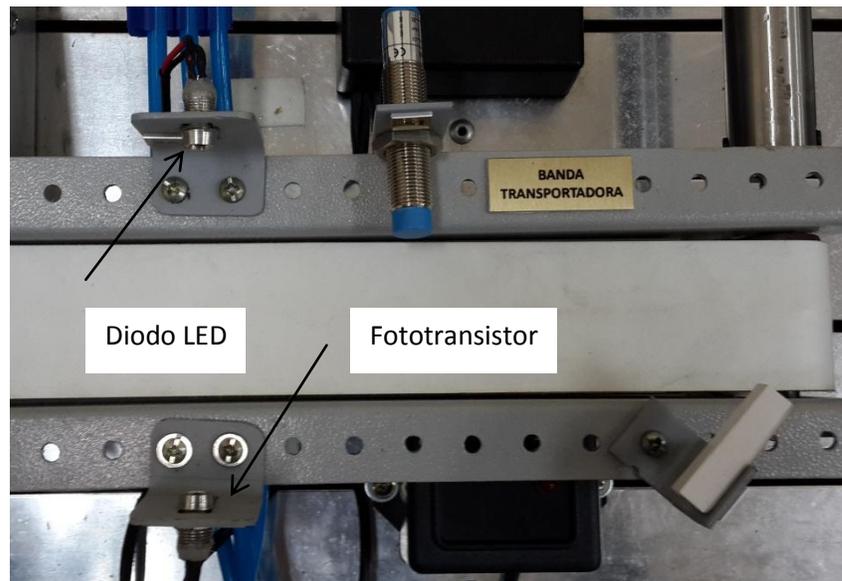
Tipo de salida	Discreta
Rango de detección	0-15 cm
Tamaño	LED
Consumo de corriente	24 mA
Alimentación	4,5 a 5,5 VDC

**Fuente: Sitio web, APM micro, 2013.**

#### 3.4.2.4.2 Instalación sensor infrarrojo IR

En la figura 180 se muestra la instalación del sensor infrarrojo IR en la banda transportadora, para lo cual se dispone de soportes con riel para alinear tanto diodo LED como fototransistor.

**Fig 180. Instalación sensor infrarrojo IR.**

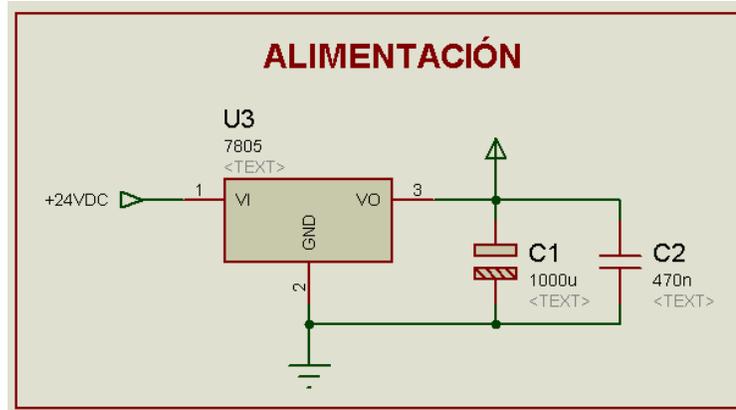


**Fuente: Propia**

#### 3.4.2.4.3 Acondicionamiento de Señal

Considerando que tanto la alimentación general para todos los elementos eléctricos/electrónicos del módulo será 24 Vdc es necesario realizar un acondicionamiento para la alimentación del sensor, para ello se utiliza el integrado LM7805 que permite cumplir con el objetivo de regular la alimentación de voltaje de 24 Vdc a 5 Vdc como se muestra en la figura 181.

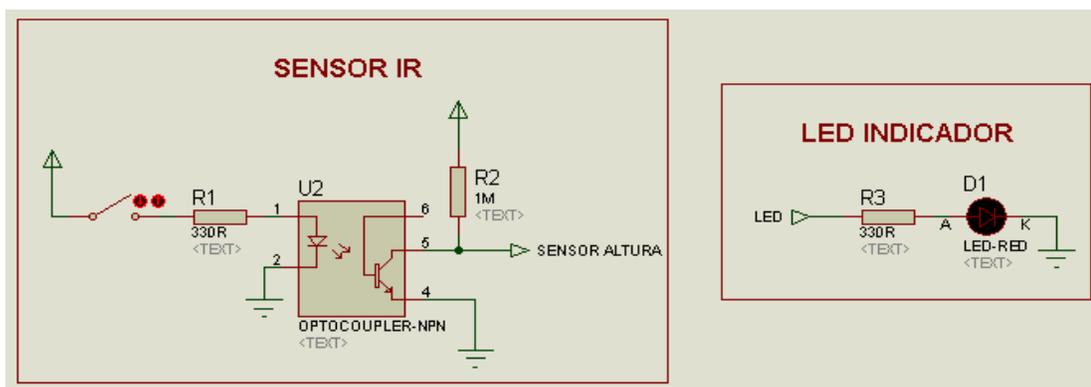
**Fig 181. Acondicionamiento para alimentación de voltaje sensor infrarrojo IR**



**Fuente: Propia**

En la figura 182 se muestra el circuito de conexión del sensor y el indicador LED de activación del mismo. Se utiliza un opto acoplador NPN como elemento de seguridad que permite proteger al sensor contra variaciones de voltaje.

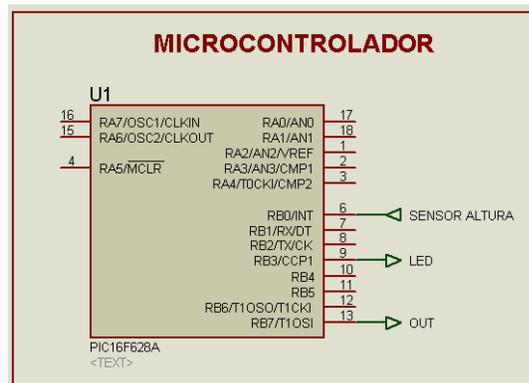
**Fig 182. Acondicionamiento sensor IR y LED indicador**



**Fuente: Propia**

Se utiliza un microcontrolador PIC167628A para controlar las salidas discretas del sensor, debido a que el sensor genera una salida de corriente demasiado baja, es necesario asegurar mediante el microcontrolador la lectura del estado de la salida discreta del sensor, es decir, si detecta o no. El programa del PIC ha sido desarrollado en el software Microbasic con lenguaje de programación basic. En la figura 183 se muestra conexiones de las señales de entrada y salida al microcontrolador.

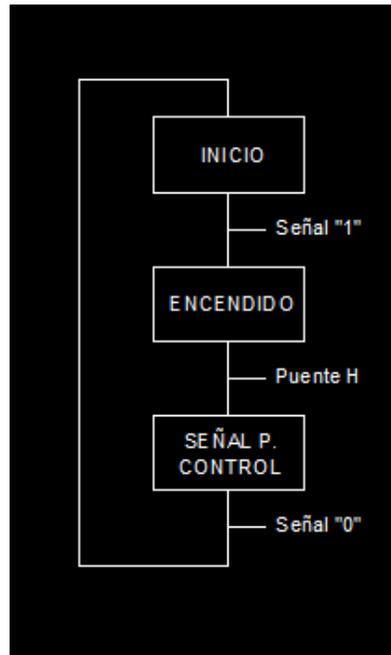
**Fig 183. Microcontrolador sensor IR**



**Fuente: Propia**

En la figura 184 se muestra el diagrama de flujo de la lógica de programación.

**Fig 184. Diagrama GRAFCET lógica de programación.**



**Fuente: Propia**

El programa del microcontrolador es:

```
program sensor_altura
```

```
' Declarations section
```

```
main:
```

```
TRISB.0 = 1 (sirven para configurar un pin como 1 "entrada" o 0  
"salida")
```

```
TRISB.3 = 0
```

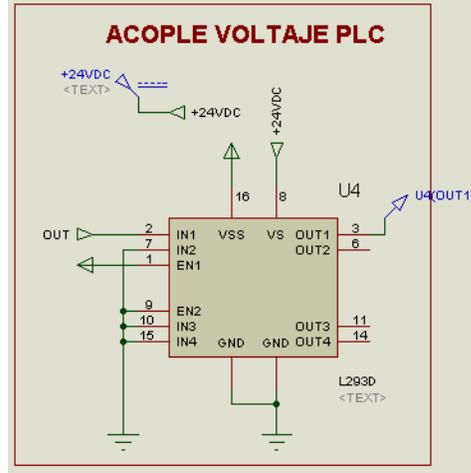
```
TRISB.7 = 0
```

```
PORTB = 0 (determina el estado de prendido o apagado, 1 o 0)
```

```
while TRUE  
  
    if PORTB.0 = 1 then  
  
        PORTB.7 = 1 (activa salida a puente H)  
  
        PORTB.3 = 1 (activa salida LED)  
  
    else  
  
        PORTB.7 = 0  
  
        PORTB.3 = 0  
  
    end if  
  
    Delay_Ms(50) (muestreo de datos cada 50 ms)  
  
wend  
  
end.
```

En el caso de utilizar un PLC cuyo voltaje de alimentación para los módulos de entradas y salidas sea 24Vdc se ha realizado el diseño del acople de voltaje para el PLC, para que la salida analógica del sensor sea convertida de 0-5 Vdc a 0-24 Vdc. Para ello se ha utilizado el integrado L293D que trabaja como puente H, es decir, convierte la salida de voltaje del sensor a un rango de salida de voltaje con el cual trabaja un PLC, como se muestra en la figura 185.

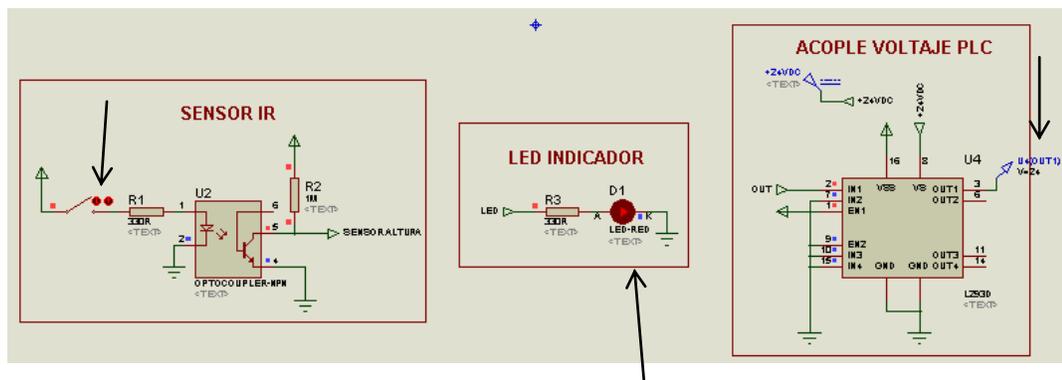
**Fig 185. Acople voltaje PLC sensor infrarrojo IR**

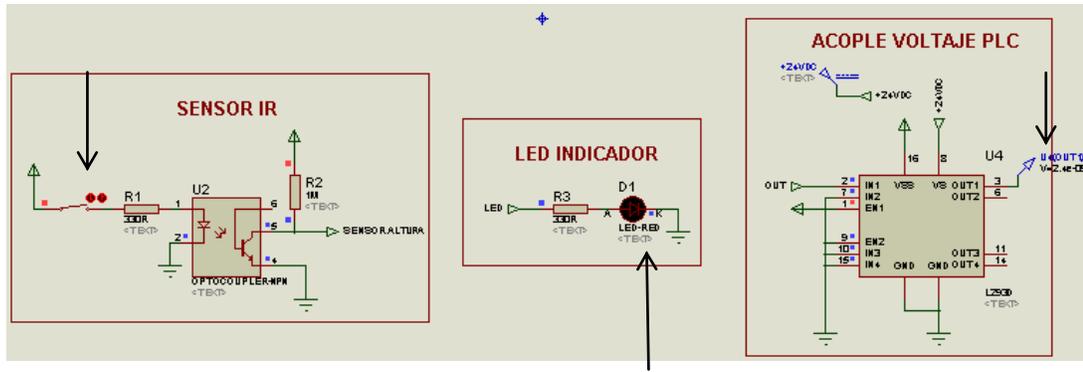


**Fuente: Propia**

De esta manera, con todos los acondicionamientos de las señales del sensor se ha procedido a realizar una simulación de su funcionamiento, donde podremos visualizar como el LED indicador permanece encendido cuando el sensor no ha detectado una pieza de altura y viceversa como se muestra en la figura 186.

**Fig 186. Simulación del sensor infrarrojo IR**



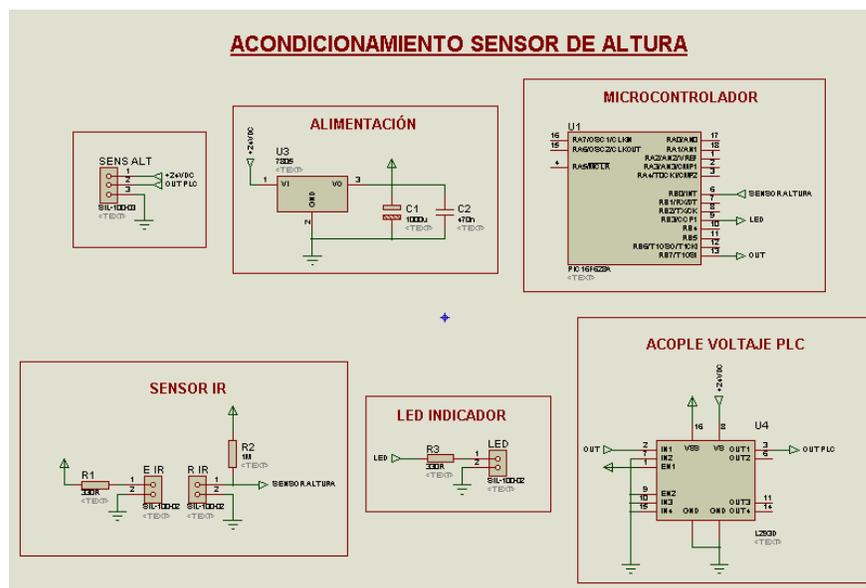


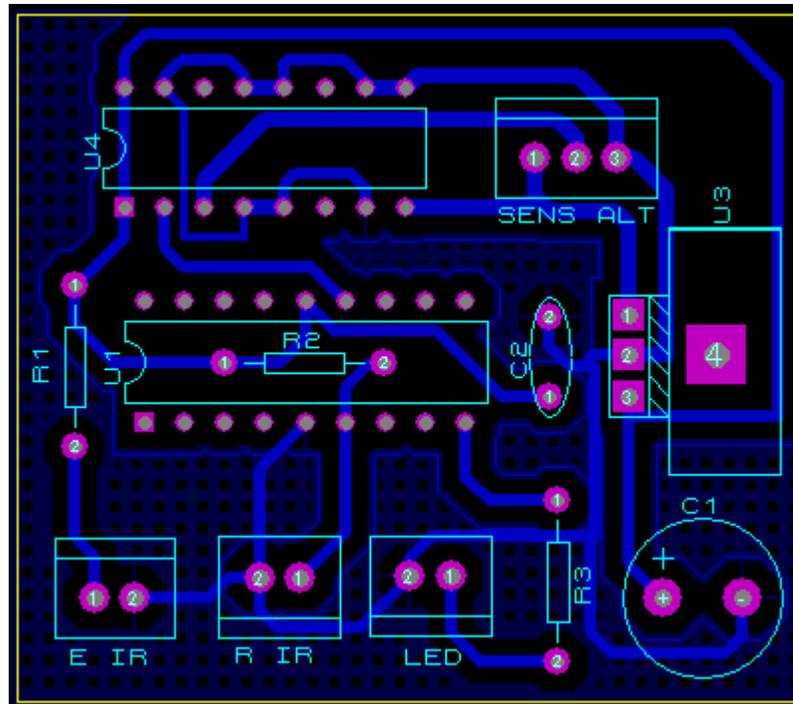
Fuente: Propia

### 3.4.2.4.4 Diseño PCB

Para el diseño de la PCB es necesario un diagrama esquemático del circuito de acondicionamiento del sensor IR, para lo cual se muestra en la figura 187 el diseño en el programa PROTEUS ISIS PROFESIONAL V7.7. Donde tenemos las conexiones para el emisor y receptor del sensor, alimentación al sensor, LED, etc.

Fig 187. Diagrama esquemático y PCB sensor IR





**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 187 el diseño de la PCB se realizó en el software PROTEUS ARES V7.7, donde se procedió hacer el router de las pistas de la placa electrónica para interconectar los elementos.

En la tabla 67 se muestra la lista de componentes de la PCB del sensor infrarrojo IR de la estación banda transportadora.

**Tabla 67 Lista de componentes PCB sensor Infrarrojo estación banda transportadora**

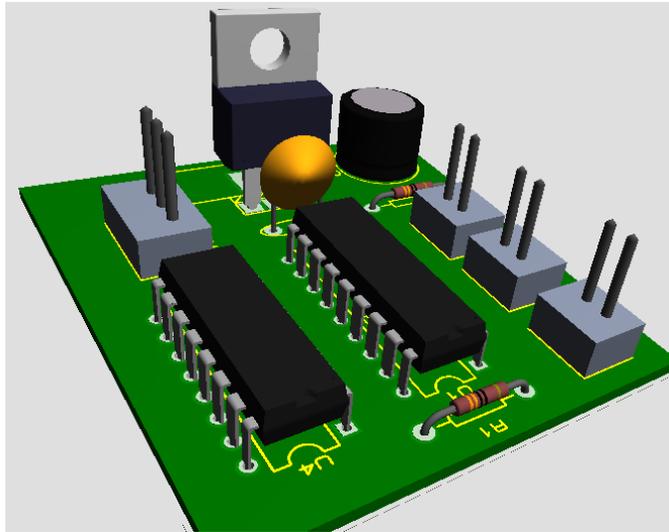
<b>Componentes PCB Sensor Infrarrojo estación banda transportadora</b>	
<b>Símbolo</b>	<b>Nombre</b>
Sens ALT	Conector 3 pines para sensor de altura
C1	Capacitor de 1000 $\mu$
C2	Capacitor de 470 $\eta$
R1	Resistencia de 330 $\Omega$
R2	Resistencia de 1M
R3	Resistencia de 330 $\Omega$
E IR	Conector de dos pines para Diodo LED emisor
R IR	Conector de dos pines para fototransistor receptor
U1	PIC 16F628A
U3	Regulador de voltaje 7805
U4	Puente H L293D
LED	Conector de dos pines para el LED indicador de Encendido

**Fuente: Propia**

En la figura 188 se muestra la instalación de la PCB del sensor infrarrojo IR.

**Fig 188. Instalación PCB sensor infrarrojo IR**





**Fuente: Propia**

#### **3.4.2.5 Sensor piezas metálicas estación banda transportadora.**

Cuando las piezas de metal (gris) han sido transportadas por el gripper hasta la banda transportadora, se requiere un sensor que permita identificar esta característica física para clasificar la pieza de manera adecuada.

##### **3.4.2.5.1 Selección sensor.**

Uno de los objetivos del módulo SPM-V1ZR es clasificar piezas, donde una de ellas tiene la característica ser metálica. Por ello, se requiere un sensor que permita identificar únicamente esta característica y envíe una señal al controlador para clasificar las piezas de esta característica.

En la tabla 68 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el sensor.

**Tabla 68. Matriz de decisión sensor de proximidad inductivo**

Factor	Factor de ponderación	Sensor de proximidad Inductivo FESTO	Sensor de proximidad Inductivo IBEST
<b>Costo</b>	4	5	9
		2	3.6
<b>Funcionalidad</b>	1	9	9
		0.9	0.9
<b>Disponibilidad</b>	2	7	9
		1.4	1.8
<b>Rango</b>	2	9	9
		1.8	1.8
<b>Sensibilidad</b>	1	9	8
		0.9	0.8
<b>TOTAL</b>	10	7	<b>8.9</b>

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores se ha considerado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. En la tabla 68 se observa que el factor preponderante es el costo del sensor, por cuanto ambos son inductivos y cumplirán con la funcionalidad de detectar la característica metálica de la pieza. En la figura 189 se muestra el sensor de proximidad inductivo IBEST.

**Fig 189 Sensor de proximidad inductivo IBEST**

**Fuente: Sitio web, IBEST, 2013.**

El sensor de proximidad inductivo de IBEST ya tiene incluido el acondicionamiento de la señal, y pueden ser configurados como PNP o NPN. Tiene un rango de protección IP 67 resistente al agua, protección contra sobre corriente y corto circuitos, protección contra polaridad inversa, poseen un LED indicador para conocer el estado de activación, entre otras.

En la tabla 69 se muestran las especificaciones técnicas del sensor de proximidad inductivo IBEST. Para ver más especificaciones (VER ANEXO C).

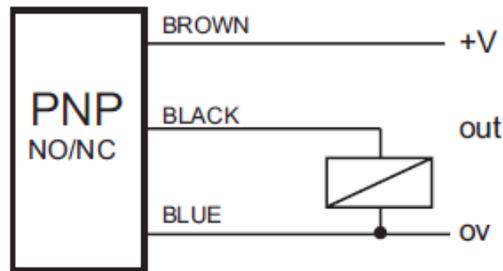
**Tabla 69. Especificaciones técnicas sensor de proximidad inductivo.**

Tipo de salida	PNP N.A
Rango de detección	4 mm
Tamaño	Cilíndrico, M12
Consumo de corriente	30 mA
Alimentación	10 a 30 VDC

**Fuente: Sitio web, IBEST, 2013.**

El sensor posee 3 cables; alimentación, señal y tierra. En la figura 190 se muestra el modo de conexión para el tipo de salida PNP N.A del sensor, en la cual la señal de salida del sensor tiene que ir referenciada con respecto a 0 V, a diferencia de los NPN los cuales van referenciados a V+.

**Fig 190. Conexión PNP del sensor de proximidad inductivo.**

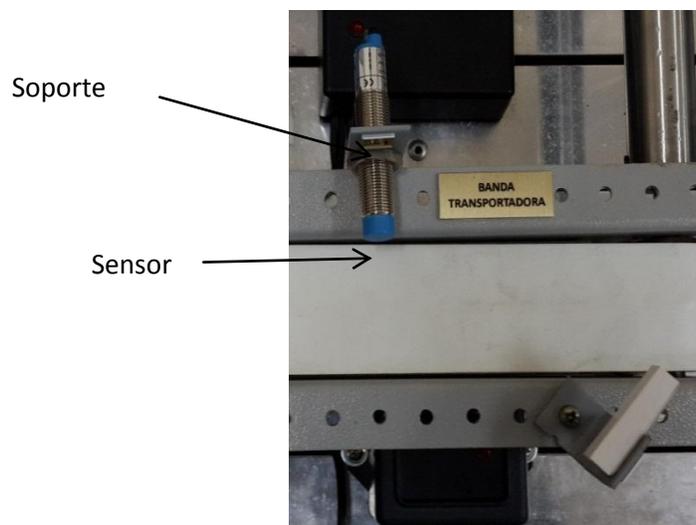


**Fuente: Sitio web, IBEST, 2013.**

#### 3.4.2.5.2 Instalación sensor de proximidad inductivo

En la figura 191 se muestra la instalación del sensor de proximidad inductivo en la banda transportadora, para lo cual se dispone de un soporte con agujero M12 para fijar y ajustar en la posición ideal para que pueda detectar la pieza metálica.

**Fig 191. Instalación sensor de proximidad inductivo.**



**Fuente: Propia**

### **3.4.2.6 Sensor de presencia banda transportadora.**

Es importante realizar un control sobre el encendido del motor de la banda transportadora, y de esa manera optimizar el proceso. La banda transportadora no requiere estar encendida desde que la pieza es expulsada por la estación cargador hasta que es clasificada, únicamente deberá encenderse cuando exista la presencia de una pieza en la banda, y para ello, la necesidad de un sensor que permita detectar la presencia de una pieza desde que llega a la banda transportadora hasta que es clasificada a través de uno de los cilindros A, B, C.

#### **3.4.2.6.1 Selección sensor.**

Un sensor óptico es la mejor alternativa para el objetivo que se requiere cumplir, existen sensores inductivos de varios tipos. En la tabla 70 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el sensor óptico.

**Tabla 70. Matriz de decisión sensor óptico**

Factor	Factor de ponderación	Sensor OPTEX Emisor/Receptor	Sensor OPTEX Reflectivo
<b>Costo</b>	4	5	9
		2	3.6
<b>Funcionalidad</b>	1	9	9
		0.9	0.9
<b>Disponibilidad</b>	2	7	9
		1.4	1.8
<b>Rango</b>	2	9	9
		1.8	1.8
<b>Sensibilidad</b>	1	8	8
		0.9	0.8
<b>TOTAL</b>	10	6.9	<b>8.9</b>

**Fuente: Propia**

Para evaluar los factores se ha considerado un rango de valores entre 5 y 10, siendo 5 poco favorable para el sistema y 10 muy favorable. En la tabla 70 se observa que el factor preponderante es el costo del sensor, por cuanto ambos son ópticos y cumplirán con la funcionalidad de detectar la pieza en la banda transportadora. En la figura 192 se muestra el sensor óptico Reflectivo OPTEX.

**Fig 192. Sensor óptico Reflectivo OPTEX**

**Fuente: Sitio web, OPTEX, 2013.**

El sensor óptico Reflectivo OPTEX está compuesto por un sensor emisor de ondas y un espejo que refleja dichas ondas, cuando un elemento se interpone entre estos dos elementos se produce una alteración en la señal eléctrica dependiendo si el sensor es PNP o NPN. Tiene un rango de protección IP 66 resistente al agua, protección contra sobre corriente y corto circuitos, protección contra polaridad inversa.

En la tabla 71 se muestran las especificaciones técnicas del sensor óptico Reflectivo OPTEX.

**Tabla 71. Especificaciones técnicas sensor óptico Reflectivo OPTEX.**

Tipo de salida	PNP N.A
Rango de detección	0.05- 3 m
Tamaño	Cilíndrico, M18
Consumo de corriente	30 mA
Alimentación	10 a 30 VDC
Tiempo de respuesta	1.5 ms

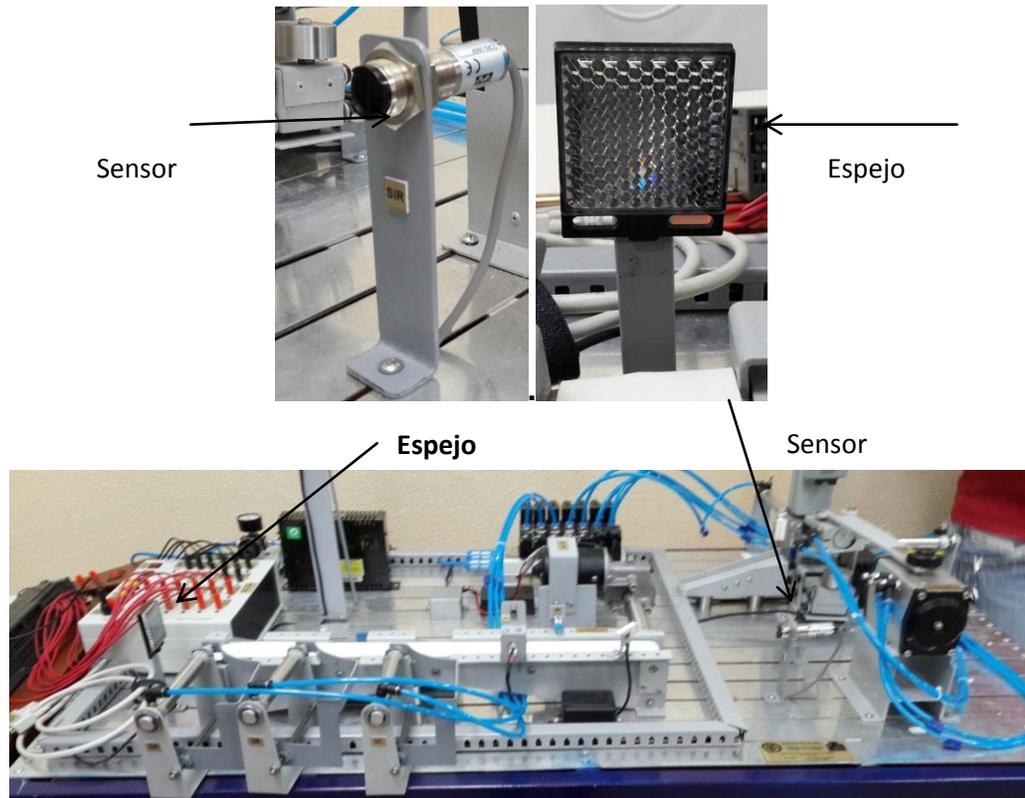
**Fuente: Sitio web, IBEST, 2013.**

El sensor posee 3 cables; alimentación, señal y tierra. La conexión debe ser realizada de igual manera que el sensor de proximidad inductivo, como se muestra en la figura 190.

#### **3.4.2.6.2 Instalación sensor óptico reflectivo**

En la figura 193 se muestra la instalación del sensor de proximidad inductivo en la banda transportadora, para lo cual se dispone de un soporte con agujero M12 para fijar y ajustar en la posición ideal para que pueda detectar la pieza metálica.

**Fig 193. Instalación sensor óptico reflectivo**



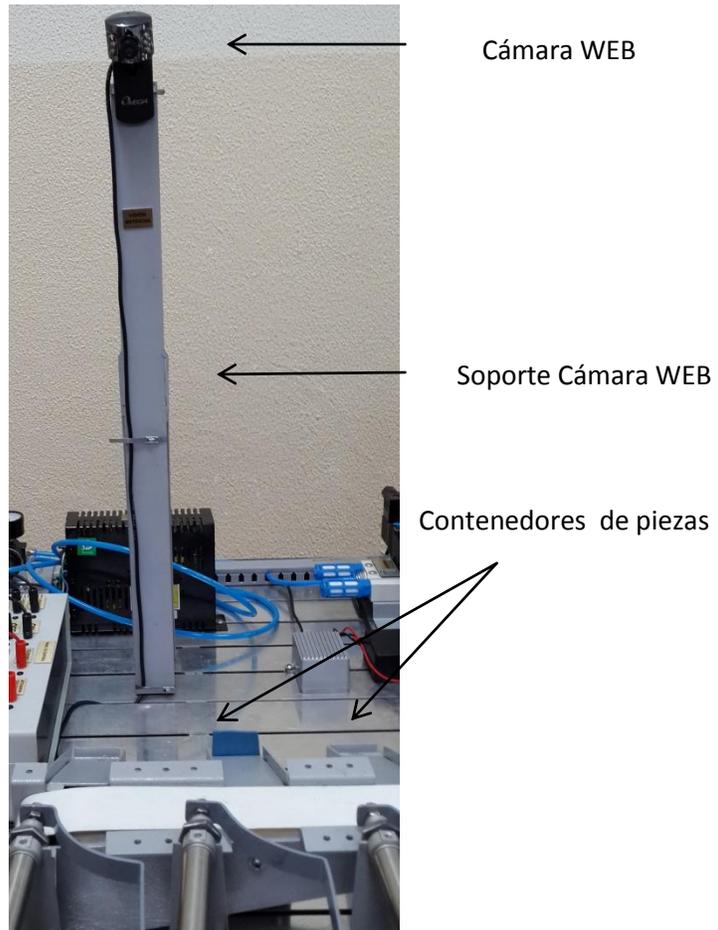
**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 193 el sensor se encuentra 800 mm aproximadamente separado del espejo reflectivo. Gracias a esta disposición es posible cumplir con el objetivo de reconocer una pieza cuando es transportada por el gripper, para encender el motor de la banda transportadora, y de igual manera reconocer cuando no existe ningún elemento y poder enviar a apagar el motor, logrando optimizar el proceso.

### **3.4.2.7 Sensor Visión Artificial**

En capítulos posteriores se encuentra el desarrollo de una plataforma de visión artificial que tendrá como objetivo contabilizar las piezas una vez ya clasificadas en la banda transportadora y para ello es indispensable utilizar un sensor óptico que permita reconocer las piezas en cada estación, es por ello que se considera como un sensor a una cámara web.

En la figura 194 se muestra la instalación de la cámara web de 1.3 MP utilizada como sensor para la plataforma de visión artificial. Se considera no conveniente realizar una matriz de decisión para seleccionar una cámara web debido a que no se requiere características especiales para poder realizar una comparación.

**Fig 194. Instalación de cámara web visión artificial**

**Fuente: Propia**

### **3.4.3 Actuador Eléctrico**

El único actuador eléctrico utilizado en el SPM-V1ZR es el motor eléctrico utilizado para el movimiento de la banda transportadora.

#### **3.4.3.1 Motor Eléctrico**

En la sección 3.2.5.6 se habla de la selección del motor de acuerdo a las características mecánicas que se necesitaba que tenga, en la tabla 30 está la

matriz de decisión en la que se conoce el tipo de motor que necesitamos por sus características mecánicas.

Por lo que se decidió adquirir el motor Wondermotor con caja reductora, con control PWM de velocidad variable hasta 50 [RPM] y un torque de 11.5 [Nm], siendo mayor al deseado, lo que asegura el correcto funcionamiento de la banda, de acuerdo a las necesidades mecánicas.

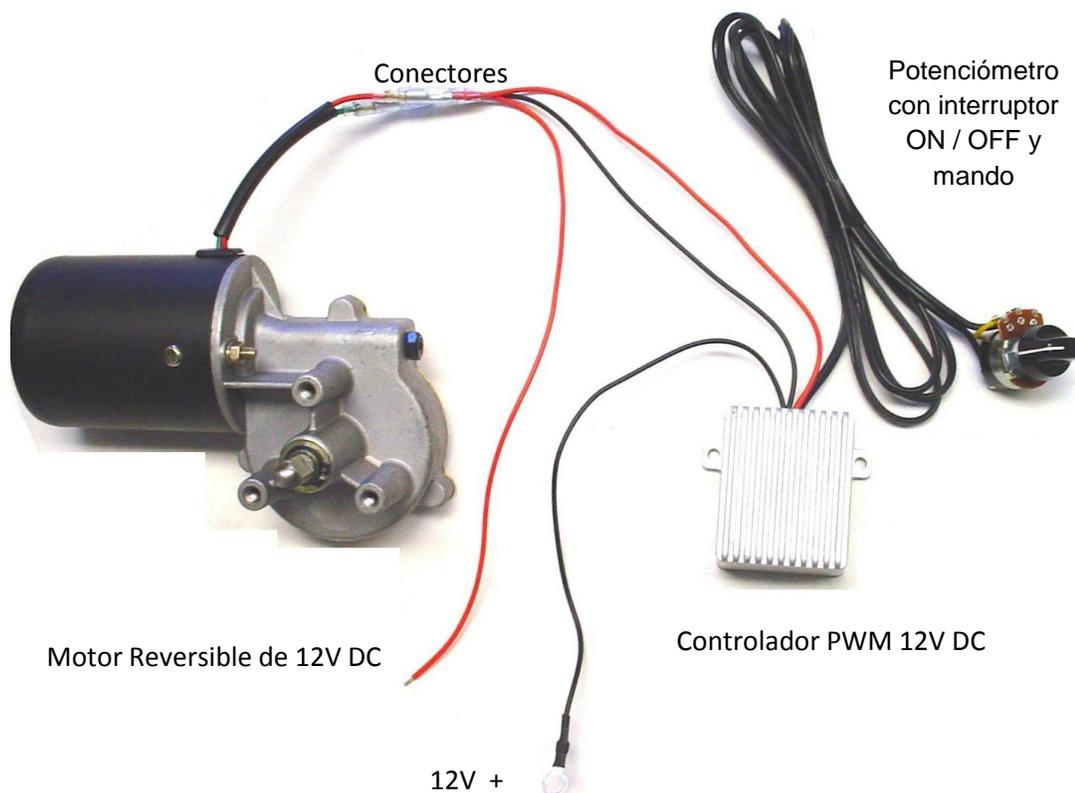
Habiendo adquirido el motor Wondermotor, por sus características mecánicas, se identificó que el mismo tenía una ventaja sobre los demás motores de su tipo en el mercado, dicha ventaja es la de poseer un control de velocidad PWM (control por modulación de ancho de pulso) el mismo que es muy eficiente ya que se puede adecuar la velocidad del motor a los requerimientos del equipo.

Las características eléctricas del motor están detalladas a continuación.

- Velocidad Regulable mediante PWM
- La Tensión Nominal del motor es de 12-13.5 VDC
- La carga nominal de salida es de 60 watts
- Consumo de corriente a capacidad máxima de 5 A.
- Cambio de sentido de giro
- Protección contra sobre voltajes y corto circuitos.
- Potenciómetro lineal para variar la velocidad de salida del motor.

En la figura 195, se muestra el motor seleccionado con todas sus partes, entre las cuales se puede diferenciar el controlador PWM del motor que permitirá que el usuario del SPM-V1ZR module la velocidad de la banda transportadora según sus necesidades e inclusive idear nuevos modos de funcionamiento del módulo, todas estas ventajas de operación brindan flexibilidad a cada una de las estaciones del módulo.

**Fig 195. Motor DC Wondermotor**



**Fuente: Propia**

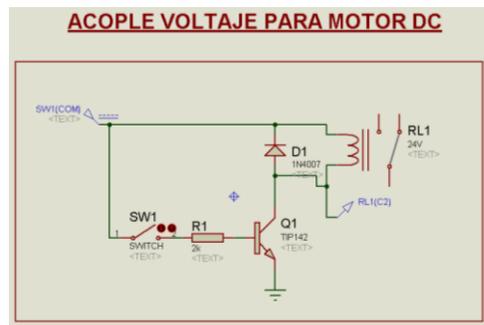
### 3.4.3.2 Acople voltaje del Motor DC de 24V/12V

Debido a que el SPM-V1ZR unifica su voltaje de alimentación para todos los elementos electrónicos a 24V DC, se decidió acondicionar el funcionamiento

del motor para que sea alimentado con 24V DC, por lo que se diseñó un circuito con relé que al recibir la señal de 24V conmute y permite el paso de 12V para que el motor empiece su funcionamiento.

El diseño del circuito se lo realizo en Proteus V7.7 (ISIS) como se muestra a en la figura 196.

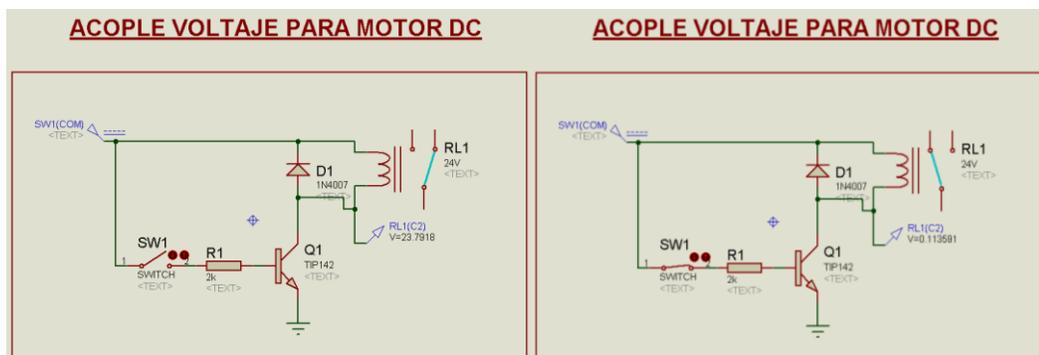
**Fig 196. Circuito acople de voltaje para Motor DC**



**Fuente: Propia**

En la figura 197, se muestra la simulación del Circuito del Acondicionamiento del Motor y su funcionamiento.

**Fig 197. Simulación del Acondicionamiento del Motor**

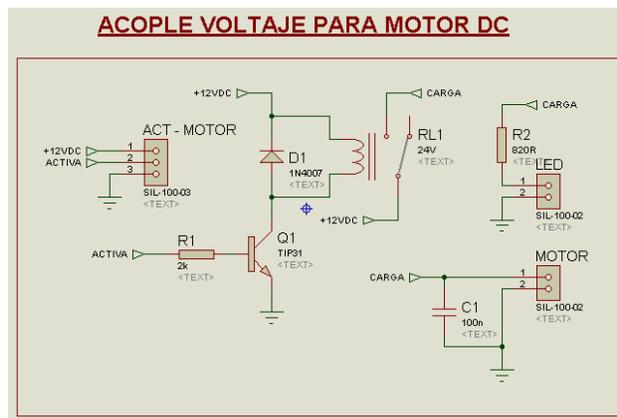


**Fuente: Propia**

En la figura 197, se puede observar que la simulación es correcta y que el relé, se activa cuando se le aplica una señal, esto indica que el motor empieza su funcionamiento.

En la figura 198 se muestra el diagrama esquemático del circuito que se utilizó para el diseño de la placa electrónica para el Acople de voltaje del motor DC.

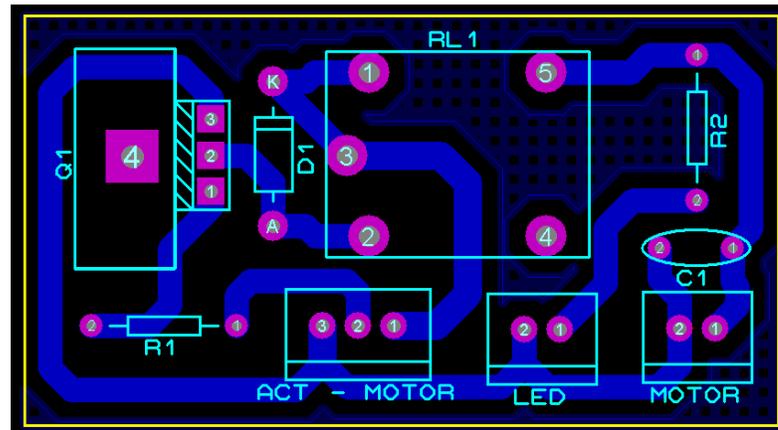
**Fig 198. Diagrama Esquemático acople voltaje del Motor DC**



**Fuente: Propia**

En la figura 199, se muestra la placa PCB diseñada en Proteus V7.7 (ARES).

Fig 199. PCB del Acondicionamiento del Motor



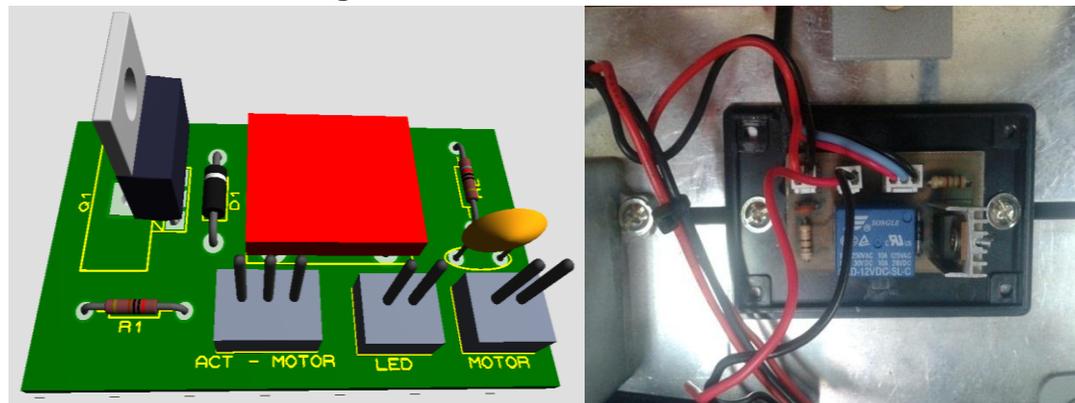
Fuente: Propia

En la tabla 72, se muestra los componentes utilizados en la placa electrónica y en la figura 200, se muestra la instalación de la placa electrónica terminada y montada en el SPM-ZRV1.

Tabla 72. Componentes de la Placa

Componentes PCB Acondicionamiento del Motor	
Símbolo	Nombre
ACT-MOTOR	Conector de tres pines para dar señal desde panel de control
C1	Capacitor de 100n
D1	Diodo 1N4007
LED	Conector de dos pines para el LED indicador de Encendido
MOTOR	Conector de dos pines para el encendido de Motor
Q1	Transistor de Poder de Silicón NPN - TIP 31
R1	Resistencia de 2k
R2	Resistencia 820
RL1	Relé miniatura de alta potencia 12VDC, SRD-12VDC-SL-C

Fuente: Propia

**Fig 200. Instalación de PCB Motor DC**

**Fuente: Propia**

### 3.4.4 Electroválvulas.

En el apartado 3.2.6.1 se procedió a seleccionar la electroválvula de 3/2 vías y 5/2 vías para los actuadores neumáticos. Una electroválvula es un dispositivo neumático que puede permitir o no el paso de aire comprimido al variar la alimentación eléctrica del solenoide. Según el número de solenoides de una electroválvula se denomina como monoestable (1 solenoide) o biestable (2 solenoides). El SPM-V1ZR utilizara siete electroválvulas, de las cuales, cinco son monoestables y dos son biestables.

Como se explicó en apartados anteriores, todos los elementos del módulo SPM-V1ZR serán alimentados con 24VDC.

Las electroválvulas son consideradas como un elemento de automatización ya que permiten la activación de actuadores neumáticos mediante una conmutación eléctrica. En la tabla 73 se muestran las características eléctricas de las electroválvulas Airtac seleccionadas.

**Tabla 73. Especificaciones eléctricas Electroválvula Airtac**

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Voltaje de Alimentación	21.6 – 26,4 VDC
Potencia	3.0 W
Consumo de corriente	0.125 A
Tipo de protección	IP65
LED indicador	Un LED se enciende cuando se encuentra activa.

**Fuente: Propia**

### 3.4.5 Fuente de Alimentación

Dado que el SPM-V1ZR basa el funcionamiento de todos sus dispositivos eléctrico/electrónicos con alimentación de corriente continua o DC, se utiliza una fuente rectificadora de corriente. Para ello a continuación se detalla el consumo energético total de los principales componentes utilizados en la SPM-V1ZR.

#### 3.4.5.1 Determinación del consumo energético

En la tabla 74 se muestra un estudio del consumo energético de estación por estación para determinar posteriormente la fuente de alimentación DC que se utilizara en el SPM-V1ZR.

**Tabla 74 Consumo energético del SPM-V1ZR**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>DISPOSITIVO</b>	<b>CANT.</b>	<b>CONSUMO [mA]</b>
CARGADOR	Sensor SHARP (5V)	1	30
PESADO	Final de carrera (5V)	1	50
PICK & PLACE	Sensor Magnético (5V)	1	10
BANDA	Sensor Infrarrojo IR (5V)	1	30
TRANSPORTADORA	Sensor Óptico Reflectivo (24V)	1	30
	Sensor de proximidad inductivo (24V)	1	30
MANIFOLD	Electroválvulas Monoestables (24V)	5	625
	Electroválvulas Biestables (24V)	2	500
MOTOR	Motor DC (12V), Modulo PWM.	1	5000

**Fuente: Propia**

Por lo tanto se necesita una fuente rectificadora de al menos 151W con alimentaciones de 5,12 y 24 VDC. El SPM-V1ZR maneja voltaje de 24V para todos sus componentes eléctrico/electrónicos, el Switch de alimentación DC para dispositivos que no manejan este voltaje se ha configurado en el acondicionamiento de señal de los dispositivos. Pero, es necesaria también una fuente de 5VDC, ya que el SPM-V1ZR dará la flexibilidad de trabajar con controladores a 24V y 5V.

En la tabla 75 se muestra las características requeridas para la selección de la fuente.

**Tabla 75. Características requeridas para la selección de la fuente de poder**

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Voltaje de Entrada	110VAC/60Hz
Voltajes de Salida	5VDC / 12VDC / 24VDC
Tipo de Fuente	Switching con bajo Voltaje de rizo
Amperaje a suministrar a 5V	0.120 A
Amperaje a suministrar a 12V	5 A
Amperaje a suministrar a 24V	1.2 A
Protecciones	Sobretensiones/Cortocircuitos
Peso	No superior
Otros	Calibración nivel voltaje 5VDC

**Fuente: Propia**

En base a las características requeridas para la aplicación se selecciona una fuente Switching del catálogo de productos de la empresa HUAI-Electronics tomando en cuenta la siguiente tabla 76 de los modelos disponibles en las serie P15.

**Tabla 76. Características Fuentes Switching WEI-YA Serie P15**

**Contenido del producto:**

- Dimensiones (L \* W \* H): 188 \* 130 \* 54 (mm)
- Tamaño del embalaje (L \* W \* H): 410 \* 410 \* 305 (mm)
- Peso: 740g (P15D), 670g (OTROS) / Taiwán
- 18.8KGS (P15D) 17.0KGS (OTROS) / 24 unidades / caja depende del modelo seleccionado, no son tres o cuatro tensión de salida, potencia de salida máxima
- 100 ~ 200W
- Bajo costo, alta confiabilidad
- Alta eficiencia
- Protección contra sobretensiones
- Protección de sobrecorriente
- Bajo rizado y ruido
- La baja temperatura de trabajo
- La luz verde indica que el voltaje en el rango de +5 V ~ 5.3V
- La luz roja indica que la tensión supera el rango de +5 V ~ 5,3 V (rojo / verde)

**Contenido del producto:**

Modelo	Especificación			Seguridad	RoHS (Opcional)
	AC de entrada	DC entrada	SSR		
P15CF2	110/220V ~	9A +5 V / +12 V 6A / 12V-1A			
P15CG2	110/220V ~	+5 V 15A / +12 V 8A / +24 V 5A			•
P15CG3	110/220V ~	+5 V 15A / +12 V 8A / +24 V 5A (FAN)			•
P15D3	110/220V ~	+5 V 1-5A / +12 V 4A / +24 V 2A / +36 V 1A			

**Fuente: Catálogo en línea productos WEI-YA Huai Yi Electronics**

Por lo tanto el modelo P15CG2 cumple con las especificaciones requeridas para la aplicación. A continuación se muestra en la figura 201 el modelo de fuente seleccionada.

**Fig 201. Fuente de alimentación seleccionada**



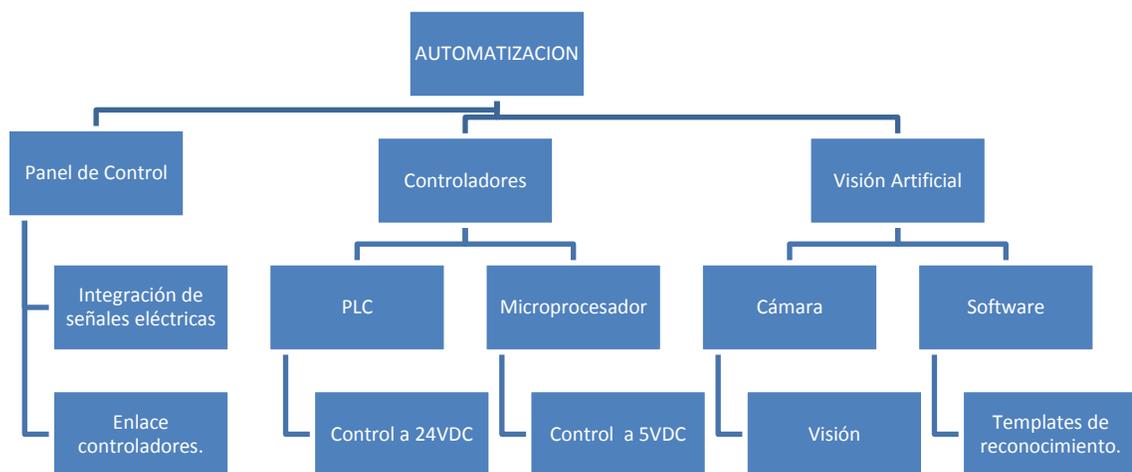
**Fuente: propia**

### 3.4.6 Automatización

Una vez definidos los componentes eléctrico/electrónicos del SPM-V1ZR, es necesario integrar el funcionamiento mecánico y eléctrico/electrónico de las estaciones mediante la automatización del módulo.

En la figura 202 se muestra un diagrama de activación de la automatización del módulo. Señales eléctricas cámara

**Fig 202. Diagrama de activación Automatización**



. Fuente: propia

#### 3.4.6.1 Mapeo de entradas y salidas del SPM-V1ZR

Es necesario conocer el número total de entradas y salidas del SPM-V1ZR para establecer en secciones posteriores el panel de control.

Las entradas son consideradas como todas las señales que van a ingresar al controlador que se vaya a utilizar para realizar cualquier práctica, así como

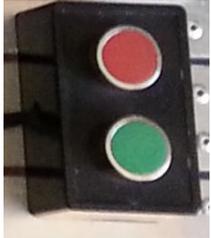
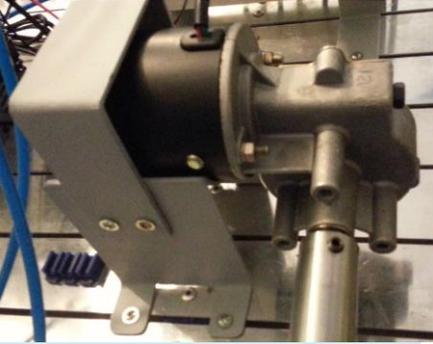
las salidas son las señales que debe enviar el controlador hacia el módulo para activar los diferentes actuadores (cilindros neumáticos, gripper, actuador neumático giratorio, motor).

En la tabla 77 se indica todas las entradas y salidas que posee el SPM-V1ZR

**Tabla 77. Entradas y Salidas del SPM-V1ZR**

DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<b>ENTRADAS</b>		
Sensor Óptico IR	Detecta las piezas a lo largo de la banda transportadora	
Sensor Inductivo	Detecta las piezas metálicas en la banda transportadora	
Sensor Feeder (Analógico)	Presencia de piezas en la estación de pesado	
Sensor de altura	Detecta las piezas de altura más elevada en la banda	
Sensor Magnético	Presencia del gripper en la banda transportadora	

Continúa.....

DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Sensor de peso, Microswitch Final de carrera	Determina si el peso de las piezas es el correcto	
Pulsador ON Pulsador OFF	Inicio del proceso. Fin del proceso.	
<b>SALIDAS</b>		
5 Electroválvulas Monoestables de los cilindros	Activación de cilindros (SA, SB, SC, SD, SE)	
2 Electroválvulas biestables de los cilindros	Activación del gripper y actuador giratorio neumático	
Motor DC	Encendido de la banda transportadora	

**Fuente: Propia**

En la tabla 77 se muestra que el módulo cuenta con un número total de ocho entradas y diez salidas digitales.

### 3.4.6.2 Tipo de controlador

Una vez establecido el número total de entradas y salidas del SPM-V1ZR se requiere establecer el controlador del equipo.

Una de las características del SPM-V1ZR es ser modular, y partiendo de aquello, se ha considerado brindar dos opciones diferentes de controlador.

#### 3.4.6.2.1 Controlador Lógico Programable PLC.

Una de las opciones para controlar el funcionamiento del SPM-V1ZR es utilizar un PLC de los disponibles en el laboratorio de AIM que trabajan con 24 VDC, entre los cuales se encuentran un Siemens S7-200 y S7-300. En la figura 203 se muestra el PLC Siemens S7-200 con el cual se realizaran las pruebas del SPM-V1ZR.

**Fig 203. Controlador PLC Siemens S7-200**



**Fuente: Propia**

El PLC Siemens S7-200 es modular compacto y posee 10 salidas y 14 entradas digitales, suficientes para el módulo SPM-V1ZR.

### 3.4.6.2.2 Microcontrolador Programable

La segunda opción para controlador el SPM-V1ZR es un microcontrolador que maneje señales TTL entre 0 – 5VDC. El usuario del módulo podrá seleccionar entre varias opciones como: PIC, AVR, módulos arduinos, etc.

En la figura 204 se muestra los diferentes tipos de microcontroladores programables que se podrán utilizar como controladores del SPM-V1ZR.

**Fig 204. Microcontroladores para controlar el SPM-V1ZR**



**Fuente: Propia**

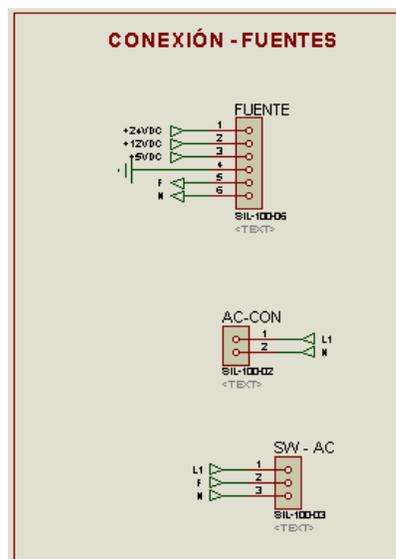
### 3.4.6.3 Panel de control

Una vez establecidos los controladores que utilizara el SPM-V1ZR, se requiere diseñar un panel de control que permita interactuar al módulo con el controlador utilizado por el usuario. De igual manera en el panel de control se integran las señales de todas las entradas, salidas, y fuentes de alimentación del SPM-V1ZR.

### 3.4.6.3.1 Diseño del circuito del panel de control

En un principio se requiere diseñar el ingreso de las distintas fuentes que se utilizaran (5, 12, 24 VDC) como se muestra en la figura 205, donde se utilizan conectores para la alimentación de 110VAC a la fuente, fusible de protección, y voltajes DC.

**Fig 205. Circuito de conexión de fuentes.**

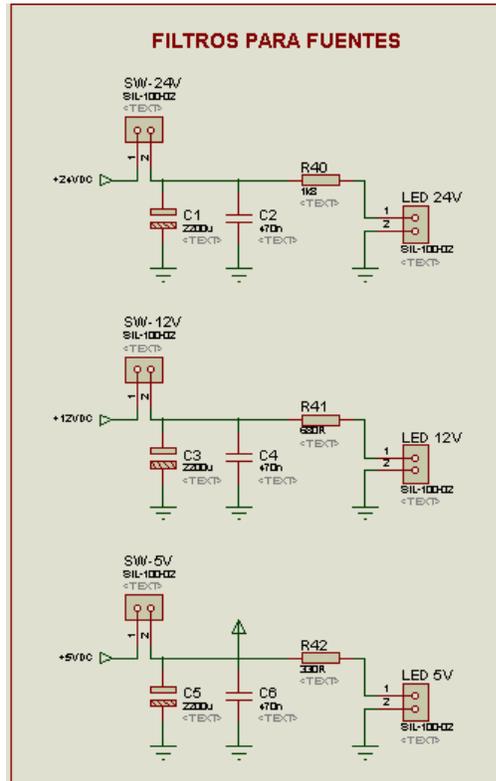


#### Fuente: Propia

Se requiere filtrar los voltajes de la fuente seleccionada para asegurar que la alimentación a los dispositivos eléctrico/electrónicos sea la correcta. Se realiza el diseño de tres filtros RC para las fuentes de 5, 12 y 24 VDC, como se muestra en la figura 206. Para la fuente de 24 VDC se utiliza un capacitor de 2200 uF que es para estabilizar el voltaje si es que hay caída de voltaje instantánea, y el capacitor cerámico de 470 nF que no posee polaridad, sirve para filtrar ruidos de alta frecuencia. Se utilizó un valor de resistencia de 1.8kΩ

para la fuente de 24 VDC,  $660\Omega$  para la de 12VDC y  $330\Omega$  para la fuente de 5VDC.

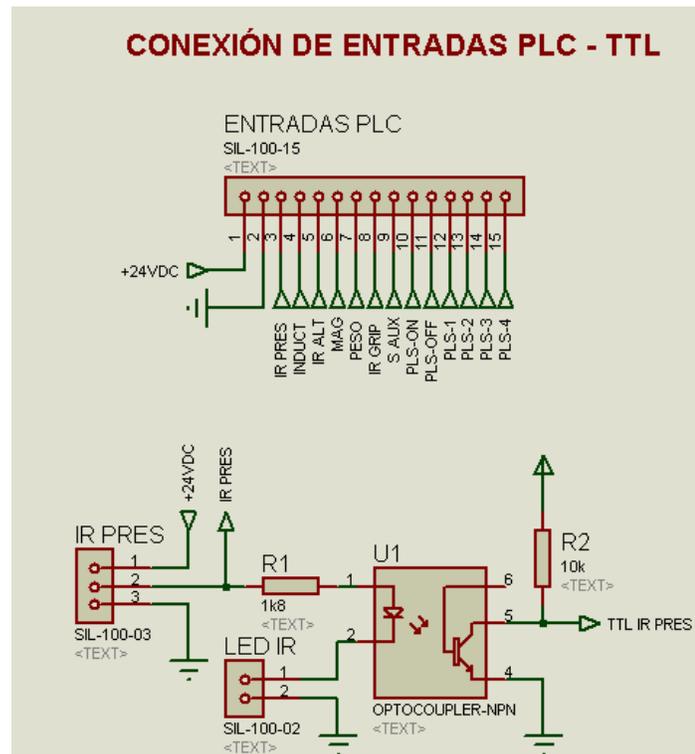
**Fig 206. Filtro de fuentes de alimentación DC**



**Fuente: Propia**

El siguiente paso es diseñar los circuitos de conexión para las entradas al PLC y TTL como se muestra en la figura 207. También para el diseño de las entradas se han incluido cuatro pulsadores y una entrada auxiliar para un sensor para aplicaciones o modificaciones que el usuario crea conveniente utilizar en el SPM-V1ZR.

**Fig 207. Conexión de entradas PLC-TTL**

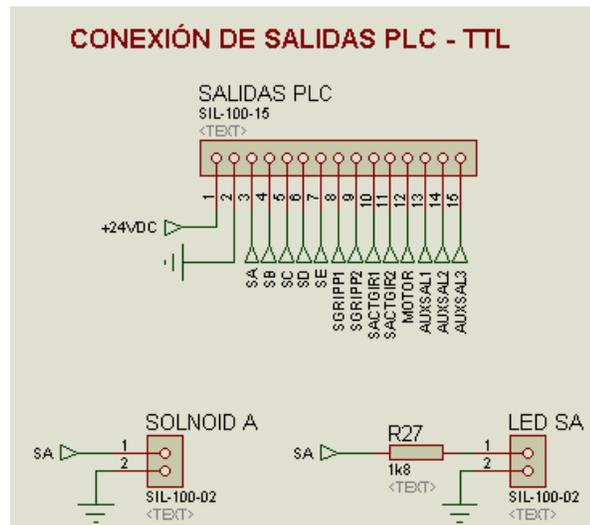


**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 207 se tiene el diseño para acoplar la entrada del sensor IR de presencia de la estación cargador, el circuito contiene un optoacoplador NPN para acoplar la señal de 24VDC a 5VDC dependiendo del tipo de controlador con el que está trabajando el usuario y también funciona como protección para aislar un circuito del otro.

En la figura 207 se muestra el circuito de un sensor IR de presencia, y para el faltante de entradas se utiliza la misma configuración.

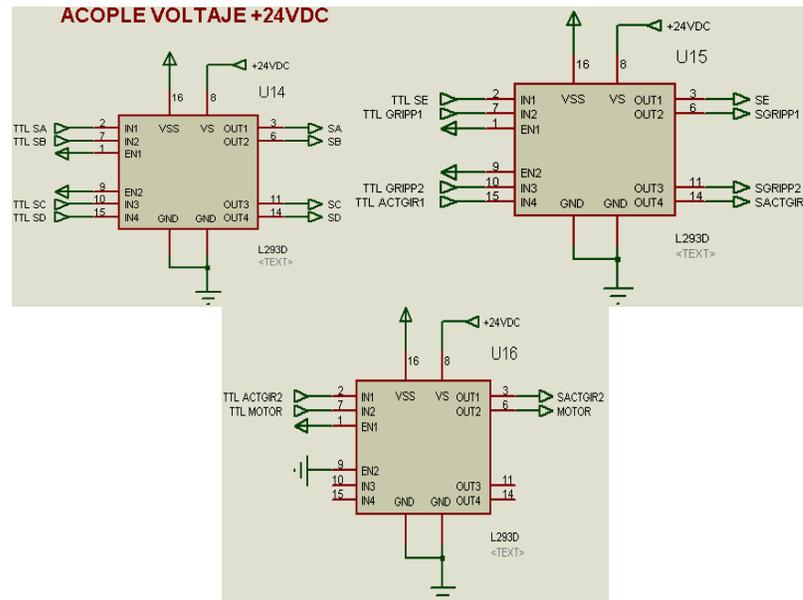
En la figura 208 se muestra el diseño de los circuitos de conexión para las salidas al PLC.

**Fig 208. Conexión de salidas PLC-TTL****Fuente: Propia**

Como se puede observar en la figura se muestra el diagrama de salidas para el panel de control, las cuales pueden ser utilizadas tanto para el PLC como para el microcontrolador. También se muestra un LED que indica el estado de la salida, es decir, si se encuentra activada o no.

Cuando el usuario utilice un microcontrolador es necesario que las señales TTL de 5V sean acopladas a 24V para poder activar las electroválvulas y el motor DC. En la figura 209 se muestra el diseño del circuito para acoplar el voltaje de las salidas a 24V que utiliza un puente H, el cual cumple con el objetivo y en secciones anteriores se ha mencionado sus beneficios.

**Fig 209. Conexión de salidas PLC-TTL**

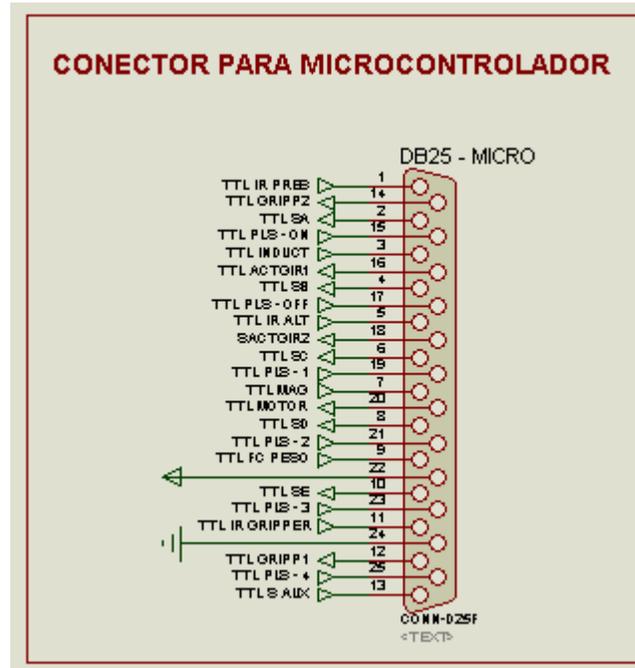


**Fuente: Propia**

En la figura se observa que para cada entrada TTL al puente H existe una salida a 24V, es decir, si el microcontrolador manda activar la electroválvula E, esa señal TTL ingresa al puente H y a la salida tendremos la activación de la electroválvula a 24V, que es el voltaje de activación según las especificaciones técnicas. Lo mismo ocurre para el resto de salidas del SPM-V1ZR.

Al utilizar un microcontrolador el usuario requiere de un conector en el cual se encuentren todas las entradas y salidas del módulo, por lo cual se ha incluido un conector DB25 para tal aplicación como se muestra en la figura 210.

**Fig 210. Conector para microcontrolador**



**Fuente: Propia**

En la tabla 78 se muestra el pin al que corresponde cada entrada o salida del SPM-V1ZR.

**Tabla 78. Identificación de pines del DB25**

# PIN	ENTRADA/SALIDA SPM-V1ZR
1	Sensor infrarrojo, Óptico.
2	SA (Solenoido cilindro A)
3	Sensor de proximidad inductivo
4	SB (Solenoido cilindro B)
5	Sensor Infrarrojo de altura
6	SC (solenoido cilindro C)
7	Sensor magnético
8	SD (solenoido cilindro D)
9	Microswitch, sensor de peso
10	SE (Solenoido cilindro E)
11	Sensor Feeder (SHARP)
12	Gripper (P+)
13	Auxiliar
14	Gripper (P-)
15	Pulsador ON
16	Actuador Giratorio (G+)
17	Pulsador OFF
18	Actuador Giratorio (G-)
19	Pulsador 1
20	Motor DC
21	Pulsador 2
22	Alimentación +5V
23	Pulsador 3
24	Ground
25	Pulsador 4

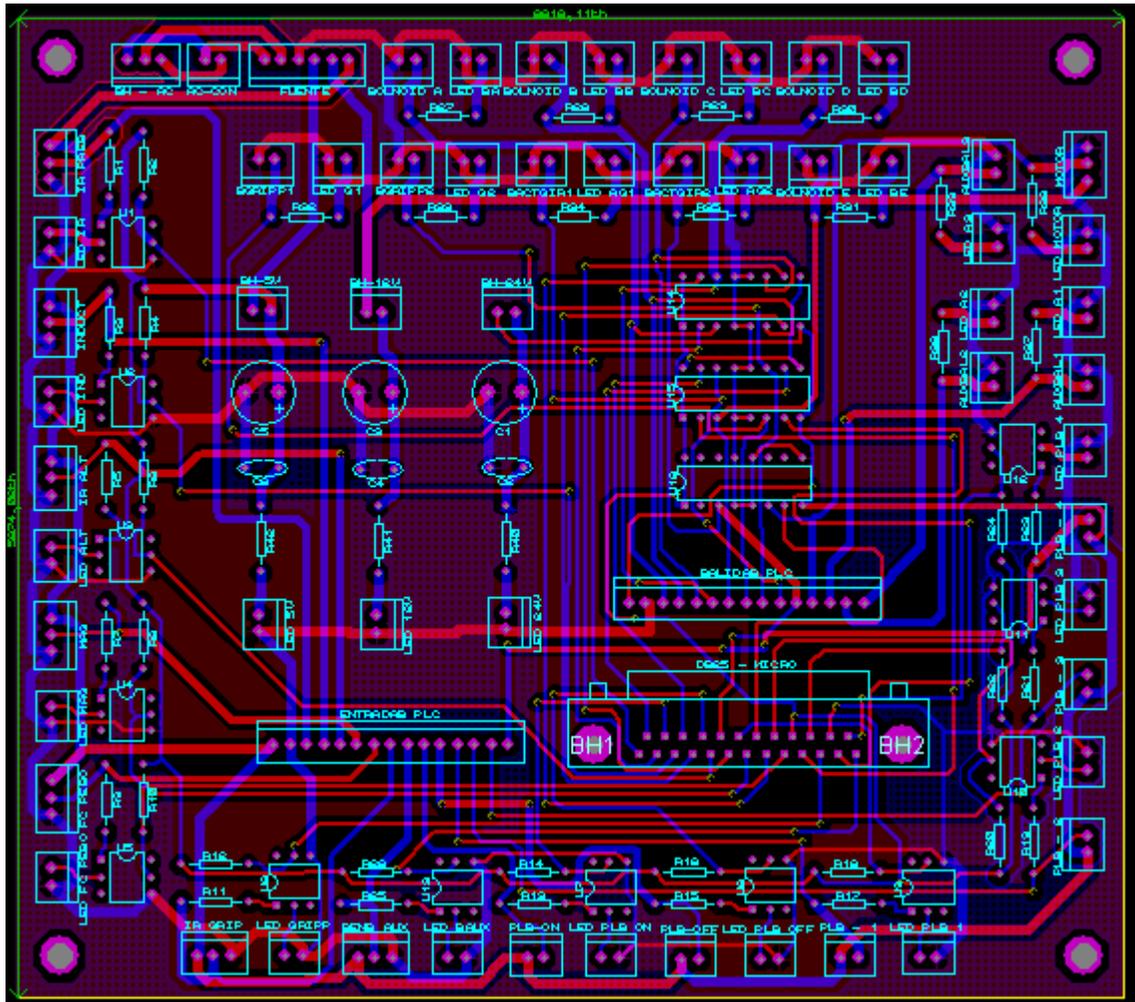
**Fuente: Propia**

#### 3.4.6.3.2 PCB del panel de control

Una vez diseñado los circuitos que integraran cada uno de los componentes entradas/salidas del módulo es conveniente realizar la placa electrónica PCB del panel de control que servirá como interfaz entre el controlador y el SPM-V1ZR.

En la figura 211 se muestra el diseño realizado en PROTEUS ARES V7.7 de la placa.

**Fig 211. PCB del panel de control.**



**Fuente: Propia**

Como se muestra en la figura 211 el ruteo de la placa se ha realizado con doble capa, donde las pistas rojas son top cooper y las pistas azules son bottom cooper.

La placa electrónica del panel de control tiene dimensiones 149mm X 168mm. A continuación en la tabla 79 se muestran los componentes de la placa electrónica.

**Tabla 79. Componentes placa electrónica PCB panel de control**

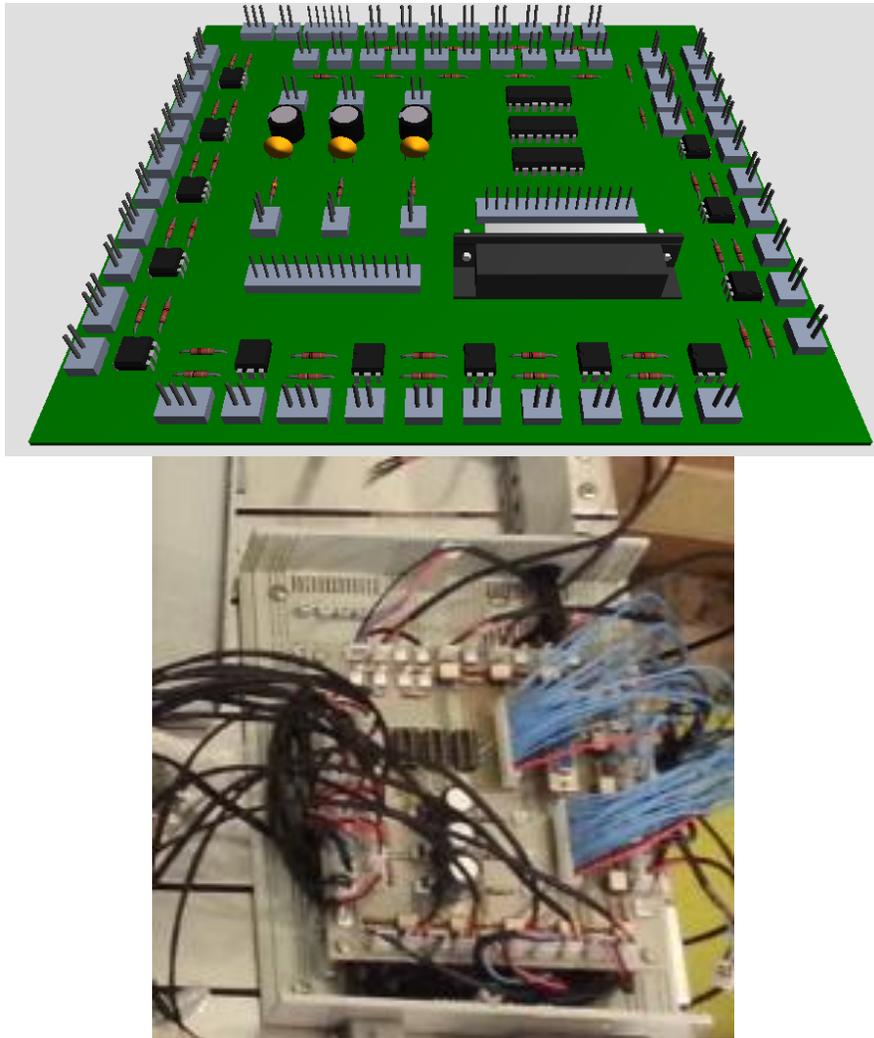
No.	DESCRIPCIÓN	ELEMENTO
1	Conector 6 pines	Fuente
54	Conector 2 pines	AC-CON, SW-24, LED 24, SW12V, LED 12V, SW 5V, LED 5V, LED IR, LED IND, LED ALT, LED MAG, LED FSPESO, LED GRIP, LED SAUX, LED PLSON, LED PLSOFF, LED PLS1, LED PLS2, LED PLS 3, LED PLS4, PLS -2, PLS-3, PLS-1, PLS-4, PLS-OFF, PLS-ON, SOLNOID A, SOLNOID B, SOLNOID C, SOLNOID D, SOLNOID E, SGRIPP1, SGRIPP2, SACTGIR1, SACTGIR2, MOTOR, AUXSAL1, AUXSAL2, AUXSAL3, LED A3, LED A2, LED A1, LED MOTOR, LED AG2, LED AG1, LED G2, LED G1, LED SE, LED SD, LED SC, LED SB, LED SA
9	Conector 3 pines	SW-AC, IR PRES, INDUCT, IR ALT, MAG, FCPESO, IRGRIP, SENS, AUX.
3	Capacitor 2200 uF	C1, C3, C5
3	Capacitor 470 nF	C2,C4,C6
21	Resistencia 1.8K $\Omega$	R40, R1, R3, R5, R7, R9, R11, R25, R13, R15, R17, R19, R21, R23, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39
1	Resistencia de 680 $\Omega$	R41
1	Resistencia de 330 $\Omega$	R42
15	Resistencias de 10 K $\Omega$	R2, R4, R6, R8, R10, R12, R26, R14, R16, R18, R20, R22, R24
1	Conector 15 pines	Entradas al PLC
1	Conector DB25	DB-25 MICRO
3	Integrado L293D	U14, U15, U16
13	Optoacopladores NPN	U1, U2, U3, U4, U5, U6, U13, U7, U8, U9, U10, U11, U12

**Fuente: Propia**

### 3.4.6.3.3 Instalación panel de control

En la figura 212 se muestra la vista en 3D de la PCB del panel de control junto con la instalación en el módulo SPM-V1ZR.

**Fig 212 Visualización 3D de la PCB del panel de control**

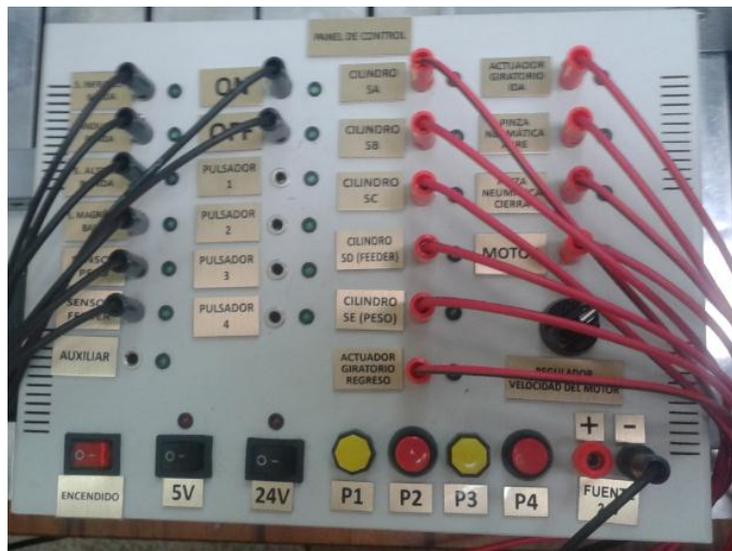
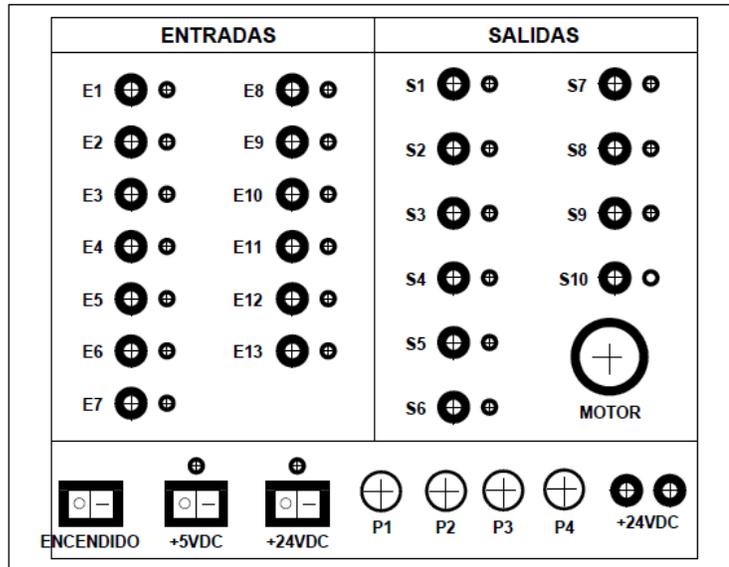


**Fuente: Propia**

### 3.4.6.3.4 Layout panel de control

En la figura 213 se muestra el layout del panel de control.

**Fig 213. Layout del panel de control.**



**Fuente: Propia**

En la tabla 80 se muestra la identificación de los elementos del layout.

Tabla 80. Codificación del layout del panel de control.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>ENTRADAS</b>	
E1	Sensor Óptico IR, detecta objetos en banda transportadora
E2	Sensor Inductivo, detecta elementos metálicos en la banda
E3	Sensor Altura, detecta objetos de altura elevada en banda
E4	Sensor Magnético, presencia gripper al inicio de la banda
E5	Sensor de peso, determina el peso para ciertas piezas
E6	Sensor Feeder, determina presencia de objetos en contenedor
E7	Entrada Auxiliar, en caso de implementar una entrada adicional
E8	Señal pulsador ON, detecta pulsador en marcha
E9	Señal pulsador OFF. Detecta pulsador de paro
E10	Señal de pulsador, detecta pulsador P1
E11	Señal de pulsador, detecta pulsador P2
E12	Señal de pulsador, detecta pulsador P3
E13	Señal de pulsador, detecta pulsador P4
<b>SALIDAS</b>	
S1	Cilindro Simple efecto, solenoide A.
S2	Cilindro Simple efecto, solenoide B.
S3	Cilindro Simple efecto, solenoide C.
S4	Cilindro Simple efecto, solenoide D.
S5	Cilindro Simple efecto, solenoide E.
S6	Actuador Giratorio regreso, S1
S7	Actuador Giratorio ida, S2
S8	Pinza neumática, soltar pieza, S1
S9	Pinza neumática, sujetar pieza, S2
S10	Actuador eléctrico, motor, movimiento banda
<b>INTERRUPTORES</b>	
ENCENDIDO	Interruptor de encendido general, fuente AC
+24 VDC	Encendido de la fuente de 24 VDC
+5VDC	Encendido de la fuente 5 VDC (manejo de señales TTL)
MOTOR	Perilla de encendido y control de velocidad del motor DC
<b>PULSADORES</b>	
PI	Pulsador adicional, propósito general
P2	Pulsador adicional, propósito general
P3	Pulsador adicional, propósito general
P4	Pulsador adicional, propósito general
<b>ALIMENTACIÓN</b>	
+24VDC	Salida de Voltaje 24VDC
<b>Fuente: Propia</b>	

### **3.4.7 Visión Artificial.**

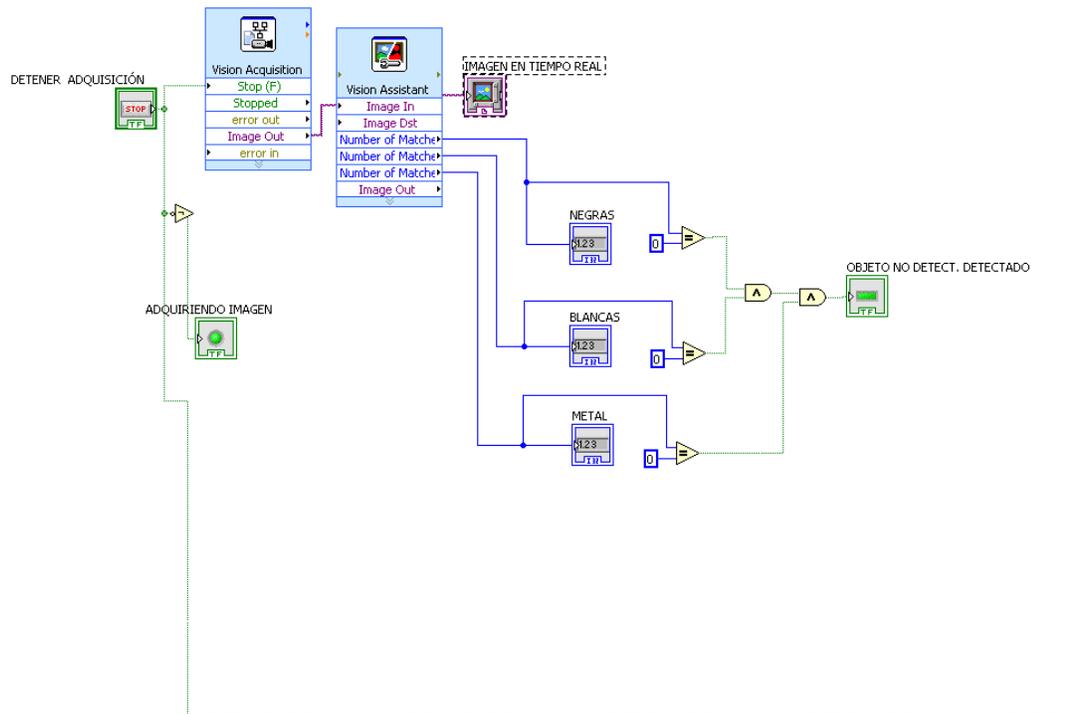
Una vez ya clasificadas las piezas se almacenan en un contenedor donde mediante un sistema de visión artificial se permitirá contar cuantas piezas existen emulando un sistema de control de calidad utilizado en la industria.

En la sección 3.4.2.7 se mencionó la cámara web que se utilizaría para el sistema de visión artificial la misma que servirá para que el software adquiera las imágenes de las estaciones y permita contabilizar cuantas piezas existen.

Se utiliza la plataforma de Visión de LabVIEW 2011 para realizar la interfaz que permitirá al usuario visualizar las la cantidad de piezas que existen en cada estación de clasificación.

En la figura 214 se muestra el proyecto en Labview donde se ha programado los bloques de tal manera que a través de visión acquisition se pueda importar la imagen de la cámara web que tiene que ser configurado para adquirir imágenes de forma continua y visión assistant para establecer los templates de las imágenes que se desea comparar. Después el software tiene que realizar una sumatoria cuando detecta la presencia de más de 1 pieza en las estaciones de clasificación.

**Fig 214. Programa visión artificial en LabVIEW 2011**



**Fuente: Propia**

Cuando la cámara no detecta ningún template asociado al visión assistant se presentara la alarma de “Objeto no detectado”.

Es importante mencionar la necesidad de implementar en cada pieza un cuadro de color para que la cámara pueda identificar con mayor facilidad las piezas, debido a que la presencia de luz puede afectar al reconocimiento del template asociado en visión assistant.

En la figura 215. se muestra el HMI desarrollado en labVIEW que permitirá visualizar al usuario el número de piezas existentes en cada estación de clasificación.

Fig 215. HMI en LabVIEW 2011 de sistema de conteo de piezas



Fuente: Propia

## **CAPÍTULO IV**

### **INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS**

#### **4.1 Introducción**

En este capítulo vamos a realizar la instalación de las diferentes estaciones en la bancada y comprobar el correcto funcionamiento de las mismas, posteriormente se realizara la puesta en marcha y puesta a punto para de todo el sistema SPM-V1ZR y que cumpla con los diferentes requerimientos.

#### **4.2 Plan de Pruebas**

El plan de pruebas a realizarse y el más adecuado para probar el funcionamiento del SPM-V1ZR, es probar el funcionamiento de cada una de las diferentes estaciones por separado, para conocer cualquier defecto o corrección que se tenga que hacer a las diferentes estaciones.

Las pruebas del SPM-V1ZR que se realizarán son: sin carga (control manual de los actuadores del equipo por cada estación para verificar que tanto entradas como salidas funcionen correctamente sin utilizar ninguna pieza), con carga (Control automático del equipo mediante un controlador PLC utilizando al menos una pieza de cada característica) y prueba de confianza (análisis estadístico para determinar la configuración adecuada en la cual el módulo satisface las necesidades del usuario).

Mediante las pruebas del SPM-V1ZR se podrá determinar si el enlace entre las diferentes estaciones es el adecuado y cumple con los diferentes requerimientos o hay que realizar modificaciones para que el funcionamiento del módulo sea el adecuado.

#### 4.2.1 Estación Cargador

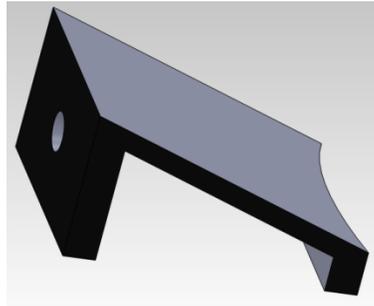
En la tabla 81 se observa los diferentes componentes de la estación cargador, conociendo si el funcionamiento de cada parte que conforma dicha estación es el adecuado y cuál es el estado de las mismas.

**Tabla 81. Funcionamiento Piezas de la Estación Cargador**

<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>
Contenedor de Piezas	Adecuado
Cilindro Neumático	Adecuado
Soporte del Cilindro	Adecuado
Alimentador	Inadecuado
Sensor de Presencia	Adecuado

**Fuente: Propia**

Conociendo esto se puede observar que el funcionamiento del alimentador de piezas en la estación cargador no estaba funcionando como se requería por lo que se decidió modificar la pieza como se muestra en la figura 216, los planos del alimentador modificado se encuentran en el (Anexo A).

**Fig 216. Nueva forma de alimentador de Piezas**

**Fuente: Propia**

El funcionamiento del Alimentador modificado es adecuado, por ende la estación cargador cumple con el funcionamiento.

#### **4.2.2 Estación de Pesado**

En la tabla 82 se observa los diferentes componentes de la estación de pesado, conociendo si el funcionamiento de cada parte que conforma dicha estación es el adecuado y cuál es el estado de las mismas.

**Tabla 82. Funcionamiento Piezas de la Estación de Pesado**

<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>
Balanza	Inadecuado
Cilindro Neumático	Adecuado
Rampa de Desalojo	Adecuado
Soporte del Cilindro	Adecuado

**Fuente: Propia**

La balanza que forma parte de la estación de pesado estaba en funcionamiento inadecuadamente debido a que existía un juego de 2mm en los

pasadores del mecanismo, que provocaba que en ocasiones la mesa de la balanza no tenga un buen posicionamiento para receptor la pieza que llega desde la estación cargador.

Los ejes causantes de la falla tenían un  $\varnothing = 3[\text{mm}]$ . Para solucionar el inconveniente se instalaron nuevos ejes de  $\varnothing = 5[\text{mm}]$ . Con el cambio efectuado, el funcionamiento de la estación de pesado es el adecuado, permitiendo la correcta activación y desactivación del final de carrera que detecta si las piezas tienen el peso adecuado o no.

#### 4.2.3 Estación Pick & Place

En la tabla 83 se observa los diferentes componentes de la estación de pesado, conociendo si el funcionamiento de cada parte que conforma dicha estación es el adecuado y cuál es el estado de las mismas.

**Tabla 83. Funcionamiento Piezas de la Estación Pick & Place**

Partes	Funcionamiento
Gripper Neumático	Adecuado
Actuador Giratorio Neumático	Adecuado
Bancada Actuador Neumático	Adecuado
Brazo de Giro	Adecuado
Sensor Magnético	Adecuado

**Fuente: Propia**

La estación pick & place cumple con el funcionamiento adecuado.

#### 4.2.4 Banda Transportadora

En la tabla 84 se observa los diferentes componentes de la estación de pesado, conociendo si el funcionamiento de cada parte que conforma dicha estación es el adecuado y cuál es el estado de las mismas.

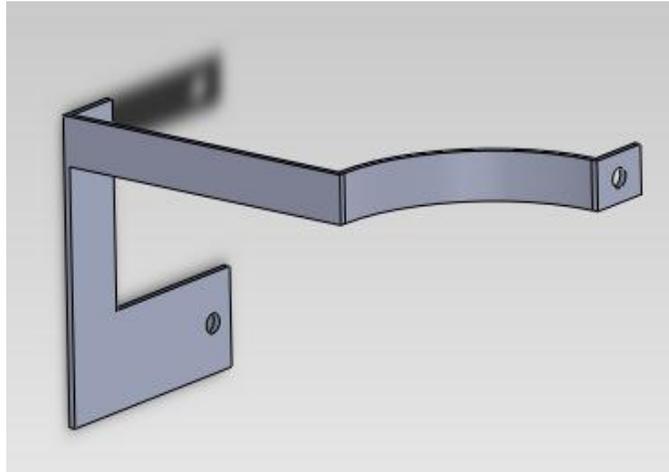
**Tabla 84. Funcionamiento Piezas de la Banda Transportadora**

<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>
Estructura Banda Transportadora	Adecuado
Rodamientos	Adecuado
Motor	Adecuado
Soporte del Motor	Adecuado
Acople Motor-Banda	Adecuado
Cilindros Neumáticos (3)	Adecuado
Soporte del Cilindro	Adecuado
Clasificadores	Inadecuado
Rampas de Clasificación (3)	Adecuado
Sensor Infrarrojo	Adecuado
Sensor Altura	Adecuado
Sensor Inductivo	Adecuado
Soporte Sensores	Adecuado

**Fuente: Propia**

Conociendo esto se puede observar que el funcionamiento del clasificador en la banda transportadora no estaba funcionando como se requería por lo que se decidió modificar la pieza como se muestra en la figura 217, los planos del clasificador modificado se encuentran en el Anexo A.

**Fig 217. Nueva forma del Clasificador**



**Fuente Propia**

El funcionamiento del clasificador modificado es adecuado, por ende la banda transportadora cumple con el funcionamiento.

**4.2.5 Estación de Distribución de Aire Comprimido**

En la tabla 85 se observa los diferentes componentes de la estación de distribución de aire comprimido, conociendo si el funcionamiento de cada parte que conforma dicha estación es el adecuado y cuál es el estado de las mismas.

**Tabla 85. Funcionamiento piezas de la estación de distribución de aire comprimido**

<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>
Electroválvulas para Cilindro Simple Efecto (5)	Adecuado
Electroválvulas para Cilindro Doble Efecto (2)	Adecuado
Manifold (para 8 electroválvulas)	Adecuado
Soportes Manifold	Adecuado
Regulador de Presión	Adecuado
Válvula Manual	Adecuado
Tubo de Poliuretano de 6mm	Adecuado

**Fuente: Propia**

La estación de distribución de aire cumple con el funcionamiento adecuado.

#### 4.2.6 Estación de Visión Artificial

En la tabla 86 se observa los diferentes componentes de la estación de visión artificial, conociendo si el funcionamiento de cada parte que conforma dicha estación es el adecuado y cuál es el estado de las mismas.

**Tabla 86. Funcionamiento piezas de la estación de Visión Artificial**

<b>Estación de Visión Artificial</b>		
<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Estado</b>
Cámara WEB	Adecuado	Nuevo
Soporte de la Cámara	Adecuado	Nuevo

**Fuente: Propia**

La estación de visión artificial cumple con el funcionamiento adecuado.

#### 4.2.7 Prueba del Sistema de Producción modular Didáctico en Vacío

En la tabla 87 se observa el funcionamiento de las diferentes estaciones dentro del SPM-V1ZR en vacío, con el cual se conoce si los sistemas pueden enlazarse correctamente y si su funcionamiento en general es el adecuado.

**Tabla 87. Prueba del SPM-V1ZR en Vacío**

<b>Prueba de SPM-V1ZR</b>	
<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>
Estación Cargador	Adecuado
Estación de Pesado	Adecuado
Estación Pick & Place	Adecuado
Banda Transportadora	Adecuado
Estación de Distribución de Aire Comprimido	Adecuado
Estación de Visión Artificial	Adecuado

**Fuente: Propia**

El funcionamiento del SPM-V1ZR con la prueba en vacío es el adecuado.

#### 4.2.8 Prueba del Sistema de Producción modular Didáctico con Carga

En la tabla 88 se observa el funcionamiento de las diferentes estaciones dentro del SPM-V1ZR con carga, con el cual se conoce si los sistemas pueden enlazarse correctamente y si su funcionamiento en general es el adecuado.

**Tabla 88. Prueba del SPM-V1ZR con Carga**

<b>Prueba de SPM-V1ZR</b>	
<b>Partes</b>	<b>Funcionamiento</b>
Estación Cargador	Adecuado
Estación de Pesado	Adecuado
Estación Pick & Place	Adecuado
Banda Transportadora	Inadecuado
Estación de Distribución de Aire Comprimido	Adecuado
Estación de Visión Artificial	Inadecuado

**Fuente: Propia**

En la prueba con carga del módulo, se descubrió que en la rampa clasificadora de las piezas de altura no existía un tope adecuado para el frenado de las piezas por lo que las mismas salían despedidas hacia la bancada, y en la estación de visión artificial se generaba por causa de la luz sombras que confundían al programa.

La corrección de dichas fallas se explica con claridad en la sección 4.2.9, debido a que en esta sección se realiza la puesta a punto del SPM-V1ZR.

#### **4.2.9 Puesta a Punto**

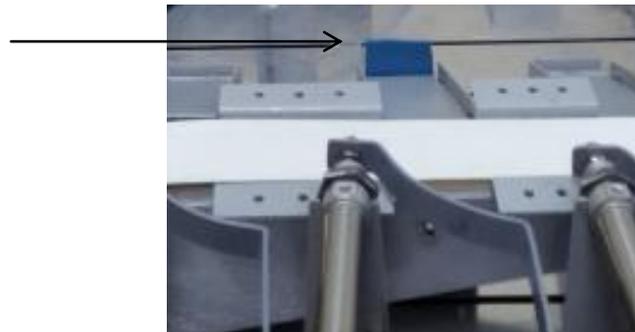
En esta sección se realiza la corrección de las posibles fallas o mal funcionamiento que se pudieron dar en la sección 4.2.7 y 4.2.8.

En la sección 4.2.7 no se detectaron fallas, pero en la sección 4.2.8 se detectaron dos fallas, las mismas que se explica su corrección a continuación.

#### 4.2.9.1 Falla de la Banda Transportadora

Como parte de la banda transportadora se encuentran las rampas de clasificación, una de dichas rampas, para ser más precisos la rampa de clasificación de las piezas de altura no poseía un tope adecuado para hacer frenar a las piezas, por lo que estas terminaban arrojadas hacia la bancada, se tomó la decisión de poner un tope, el mismo detiene las piezas de forma adecuada y no crea ninguna interferencia en el proceso, en la figura 218 se muestra la corrección de dicha falla.

**Fig 218. Corrección Falla de la Banda Transportadora**



**Fuente: Propia**

#### 4.2.9.2 Falla Estación de Visión Artificial

En la estación de visión artificial se encuentra una falla debido a la iluminación del ambiente y las sombras que se producen en el aluminio de la bancada, esto producía que en el programa realizado para la visión artificial detecte piezas donde no existían, para corregir esta falla se decidió poner marcas de colores sobre las piezas para así delimitar esta área en el programa

y que no detecte las sombras generadas por la iluminación y el reflejo del aluminio, en la figura 219 se muestra la corrección de dicha falla.

**Fig 219. Corrección Falla de la Estación de Visión Artificial**



**Fuente: Propia**

#### **4.2.10 Prueba de Confianza**

##### **4.2.10.1 Cartas de control por atributos**

- Cualquier característica de calidad que pueda ser clasificada de forma binaria: “cumple o no cumple”, “funciona o no funciona”, “pasa o no pasa”, “conforme o disconforme” “defectuoso, no defectuoso”, será considerado como un atributo y para su control se utilizan Cartas de Control por Atributos.

- En el caso de las cartas para variables, tenemos dos cartas, una para la tendencia central y otra para la dispersión. En el control por atributos, tanto la media como la variabilidad de la proporción muestral dependen de un único parámetro, por lo que se hace sólo una carta de control.

- Existen diferentes tipos de cartas de control por atributos, los más comunes son: Cartas p, np, c y u.

- De acuerdo a los requerimientos, se va a utilizar una carta de control np.

#### 4.2.10.2 Carta De Control np

La carta np es una herramienta estadística usada para evaluar el número de artículos defectuosos o el número de artículos no conformes producidos por un proceso. Los pasos para elaborar una carta de control son:

- **Paso 1:** Recopilación de datos
- **Paso 2:** Cálculo de la proporción defectuosa promedio

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{n * k}$$

EC 31

Dónde:

$\bar{p}$  = Proporción Defectuosa Promedio

$D_i$  = Número de partes defectuosas por subgrupo

n = Tamaño de la muestra (constante)

k = Número de subgrupos

- **Paso 3:** Cálculo de los límites de control

$$LCS = n\bar{p} + 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})} \quad \text{EC 37}$$

$$LCI = n\bar{p} - 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})} \quad \text{EC 38}$$

Dónde:

LCS = Límite de Control Superior

LCI = Límite de Control Inferior

Cuando el LCI es un número negativo, este debe ser igual a cero.

#### 4.2.10.3 Resultados

Se ha considerado realizar seis cartas de control np:

- Carta de control para Piezas Metálicas: en la tabla 89 se muestra los resultados de la prueba estadística, utilizando cuatro piezas metálicas. El error en la alimentación se da cuando las piezas se traban al salir, el error en la balanza se da cuando las piezas no se posicionan correctamente desde la estación cargador, el error de choque se da cuando la pinza no sujeta correctamente la pieza y esta choca contra la banda transportadora, el error de no detectar la pieza en la banda transportadora se da cuando el sensor óptico reflectivo no identifica la presencia y el error de que el sensor inductivo no detecta se da cuando la pieza está fuera del rango de detección del sensor.

**Tabla 89. Carta de Control de Piezas Metálicas**

METÁLICAS							
Pruebas	Alimentación	Balanza	Choque	No detecta pieza en banda	S. Inductivo no detecta	Total	%p
1	0	0	1	0	0	1	0.25
2	1	1	0	0	1	3	0.75
3	0	0	1	0	0	1	0.25
4	2	1	0	0	0	3	0.75
5	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	2	0	0	0	2	0.50
7	0	0	0	1	2	3	0.75
8	1	0	0	2	1	4	1.00
9	1	0	1	0	0	2	0.50
10	0	0	0	1	1	2	0.50
total						21	

**Fuente: Propia**

$$\bar{p} = 0.525$$

$$LCS = 5.1$$

$$LCI = -0.9 = 0$$

$$CL = n\bar{p} = 2.1 \approx 41.2\% \text{ de falla}$$

- Carta de control para Piezas de Color: en la tabla 90 se muestra los resultados de la prueba estadística, utilizando cuatro piezas de color. El error de falla de clasificación se da cuando los sensores de la banda transportadora no están funcionando correctamente, entonces las piezas no son clasificados en la rampa correspondiente.

**Tabla 90. Carta de Control de Piezas Color**

COLOR						
Pruebas	Alimentación	Balanza	No detecta pieza en banda	Falla clasificación	Total	%p
1	0	0	0	1	1	0.25
2	0	0	0	1	1	0.25
3	0	0	1	0	1	0.25
4	1	0	0	0	1	0.25
5	2	0	0	0	2	0.50
6	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	1	1	0.25
8	1	0	0	0	1	0.25
9	1	0	1	0	2	0.50
10	0	0	0	1	1	0.25
total					11	

**Fuente: Propia**

$$\bar{p} = 0.275$$

$$LCS = 3.8$$

$$LCI = - 1.5 = 0$$

$$CL = n\bar{p} = 1.1 \approx 29.1\% \text{ de falla}$$

- Carta de control para Piezas de Altura: en la tabla 91 se muestra los resultados de la prueba estadística, utilizando cuatro piezas de altura. El error de falla de clasificación se da cuando el sensor IR de altura no está funcionando correctamente, entonces las piezas no son clasificados en la rampa correspondiente.

**Tabla 91. Carta de Control de Piezas Altura**

ALTURA						
Pruebas	Alimentación	Balanza	No detecta pieza en banda	No detecta sensor IR	Total	%p
1	2	0	0	2	4	1.00
2	0	0	0	1	1	0.25
3	2	0	0	0	2	0.50
4	1	0	0	1	2	0.50
5	1	1	1	0	3	0.75
6	2	0	0	3	5	1.25
7	1	0	0	0	1	0.25
8	1	0	0	2	3	0.75
9	0	0	0	1	1	0.25
10	1	0	1	1	3	0.75
total					25	

**Fuente: Propia**

$$\bar{p} = 0.625$$

$$LCS = 5.4$$

$$LCI = -0.4 = 0$$

$$CL = n\bar{p} = 2.5 \approx 46.29\% \text{ de falla}$$

- Carta de control para Piezas de Peso: en la tabla 92 se muestra los resultados de la prueba estadística, utilizando dos piezas peso. El error de falla de clasificación se da cuando el sensor IR de altura no está funcionando correctamente, entonces las piezas no son clasificados en la rampa correspondiente.

**Tabla 92. Carta de Control de Piezas Altura**

PESO						
Pruebas	Alimentación	Balanza	No detecta FC	Falla Despacho	Total	%p
1	0	0	0	2	2	0.50
2	0	1	0	1	2	0.50
3	0	0	1	0	1	0.25
4	0	0	0	1	1	0.25
5	0	1	1	0	2	0.50
6	0	0	0	0	0	0.00
7	0	1	0	0	1	0.25
8	1	0	1	1	3	0.75
9	0	0	2	0	2	0.50
10	0	1	0	0	1	0.25
total					15	

**Fuente: Propia**

$$\bar{p} = 0.75$$

$$LCS = 3.3$$

$$LCI = -0.3 = 0$$

$$CL = n\bar{p} = 1.5 \approx 45.04\% \text{ de falla}$$

- Carta de control General: en la tabla 93 se muestra los resultados de la prueba estadística, utilizando todas las piezas de la estación.

**Tabla 93 Carta de Control de General**

PRUEBAS GENERALES								
Pruebas	Alimentación	Balanza	Choque	No detecta Sensores	Falla Clasificación	Total	%p	
1	3	1	0	1	0	5	1.25	
2	1	1	0	2	1	5	1.25	
3	2	2	1	0	0	5	1.25	
4	4	1	0	1	0	6	1.50	
5	1	3	0	0	1	5	1.25	
6	1	1	1	2	0	5	1.25	
7	1	0	0	1	1	3	0.75	
8	6	1	0	0	0	7	1.75	
9	3	2	1	0	2	8	2.00	
10	1	1	0	1	1	4	1.00	
total						53		

**Fuente: Propia**

$$\bar{p} = 0.37$$

$$LCS = 10.7$$

$$LCI = -0.1 = 0$$

$$CL = n\bar{p} = 5.3 \approx 49.35\% \text{ de falla}$$

- Carta de control General 4 piezas: en la tabla 94 se muestra los resultados de la prueba estadística, utilizando cuatro piezas (metálica, altura, color, peso).

**Tabla 94. Carta de Control de General Cuatro Piezas**

PRUEBAS GENERALES							
Pruebas	Alimentación	Balanza	Choque	No detecta Sensores	Falla Clasificación	Total	%p
1	0	0	0	0	0	0	0.00
2	0	1	0	0	1	2	0.50
3	0	0	1	0	0	1	0.25
4	0	1	0	1	0	2	0.50
5	0	0	0	0	1	1	0.25
6	0	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	0	0	0	0.00
8	1	0	0	0	0	1	0.25
9	0	0	0	0	2	2	0.50
10	0	0	0	1	1	2	0.50
total						11	

Fuente: Propia

$$\bar{p} = 0.275$$

$$LCS = 3.8$$

$$LCI = - 1.5 = 0$$

$$CL = n\bar{p} = 1.1 \approx 29\% \text{ de falla}$$

## **CAPÍTULO V**

### **MANUAL DE USUARIO Y GUÍAS DE PRÁCTICAS**

#### **5.1 Manual del Usuario**

##### **5.1.1 Introducción**

El sistema modular de producción didáctico para el laboratorio de AIM ha sido denominado SPM-V1ZR, incluye las estaciones de cargador, validación de peso, pick & place, cinta transportadora y contador de piezas, fue concebido para que los estudiantes se familiaricen con sistemas técnicos automatizados. Con el SPM-V1ZR es posible simular de modo muy realista los sistemas utilizados en la práctica industrial. Sus estaciones parciales están relacionadas de tal manera que puedan servir como medios didácticos complejos y realistas.

El SPM-V1ZR, es un modelo desmontable, que permite al estudiante modificar y adaptar los componentes para que cumplan diversos criterios de funcionamiento, puede aprovecharse tanto para el análisis como para la síntesis de sistemas técnicos. En lo que al análisis se refiere, el modelo puede dividirse en varias estaciones si el proceso pedagógico lo amerita.

Utilizando el SPM-V1ZR o cualquiera de sus partes, es posible relacionar entre sí la teoría y la práctica, de manera que, el estudiante no entienda la práctica únicamente mediante imágenes y descripciones. Más bien es necesario que establezca contacto directo con sistemas reales, experimente su funcionamiento y se ejercite en la solución de tareas.

Con SPM-V1ZR es posible transmitir los siguientes contenidos didácticos prácticos y teóricos, relacionados con la técnica de la automatización:

- Sistemas de control
- Fundamentos de sensores y detectores
- Relación entre detectores y actuadores en sistemas técnicos
- Funciones lógicas básicas
- Principios básicos de la programación de los sistemas automáticos.

También, soluciona las siguientes tareas:

- Estación cargador

Alimentar piezas.

- Estación validación peso

El peso de las piezas es validado a través de una balanza mecánica.

- Estación Pick & Place

Las piezas con el peso adecuado, son recogidas y montadas en la siguiente estación.

- Estación banda transportadora

Las propiedades físicas de las piezas son detectadas mediante sensores de distintas clases y clasificadas a través de actuadores neumáticos.

- Estación Contador Piezas

Las piezas son enumeradas en cada estación mediante un sistema de visión artificial.

### 5.1.2 Objetivo del Manual

El presente manual es una guía detallada que explica el montaje, operación y mantenimiento del SPM-V1ZR.

### 5.1.3 Personal Cualificado

La puesta en marcha y el manejo del equipo solo se debe encargar a personal calificado. De acuerdo a la guía de este manual, se conoce como personal calificado a las personas autorizadas a conectar, identificar y poner en marcha los diferentes aparatos, sistemas y circuitos que forman parte del equipo.

### 5.1.4 Consignas de seguridad para el Usuario

En el manual se indica la información necesaria para seguridad del usuario y para prevenir daños materiales. Las indicaciones se representaran de la siguiente manera:



#### **Peligro**

Significa que, si no se adoptan las medidas dictadas en ese punto, se pueden producir daños materiales considerables, lesiones graves o incluso la muerte.



#### **Atención**

Se trata de una información importante sobre el producto, el manejo del mismo o cierta parte del manual en la que se desea llamar la atención.



#### **Precaución**

Significa que, si no se adoptan las medidas preventivas requeridas, pueden producirse leves lesiones corporales o daños materiales.

### 5.1.5 Aspectos Importantes

Para el desarrollo del Manual hay que tomar en cuenta aspectos que mejoran el uso del módulo y benefician al usuario del SPM-V1ZR.

#### 5.1.5.1 Normas

Un laboratorio siempre tiene normas estrictas que ayudan a evitar accidentes, en este caso nos vamos a regir en las normas que tiene el laboratorio de AIM:

- 1) El uso del mandil en el laboratorio es obligatorio para la realización de las prácticas planeadas.
- 2) Desalojar el lugar de trabajo de posibles objetos que puedan interferir en la realización de la práctica.
- 3) Operar un dispositivo solamente cuando se conoce de él, de no conocer el dispositivo solicitar ayuda al profesor a cargo del laboratorio, para conocer el funcionamiento y adquirir destreza en el manejo del dispositivo. Una vez terminado el uso de dicho dispositivo seguir el procedimiento para apagarlo, desconectarlo, guardarlo y entregarlo al profesor a cargo.
- 4) Para las personas que posean el cabello largo mantenerlo siempre recogido.
- 5) Se prohíbe el uso de pulseras, colgantes, bufandas y mangas anchas.
- 6) Si ocurre algún incidente o accidente, notificarlo inmediatamente al profesor.

7) Al finalizar con la práctica, dejar todo el equipo utilizado limpio y debidamente guardado, tomando en cuenta que las tomas de aire y eléctricas estén debidamente desconectadas y/o cerradas.

Es siempre recomendable que antes de comenzar una práctica de laboratorio conozcan el material, equipo y dispositivos a ser utilizados, así como su funcionamiento, uso y cuidados.

#### **5.1.5.2 Cuidados del Equipo**

Dentro del SPM-V1ZR existen dispositivos que son de un costo muy elevado y también muy delicados. Por lo que si se utiliza incorrectamente el dispositivo o el módulo, este puede sufrir daños.

Como consecuencia de ello, en este manual se indica una descripción de todo lo que el módulo posee y las instalaciones que se debe realizar para que el módulo funciona a la perfección, poniendo énfasis en los aspectos eléctricos, neumáticos y en los requisitos que podrían facilitar la operación del módulo.

Se ha tomado en cuenta los problemas que lo pueden afectar al módulo, identificando sus causas y cuáles pueden ser las posibles soluciones.

#### **5.1.5.3 Seguridad**

En el laboratorio de AIM lo más importante es su seguridad y la de los demás. El módulo se diseñó para que se realicen las practicas programadas

son seguridad, pero hay que tener mucha precaución y poner atención a las señales de alerta.

El peligro más grande que existe en el laboratorio es, que el usuario no posea la información suficiente para el manejo de los diferentes equipos y dispositivos.

Una acción recomendable es la de, no manipular u operar el módulo hasta que todos las instrucciones hayan sido impartidas y el profesor a cargo haya dado el permiso de manipularlo.

Con el fin de prevenir cualquier percance hacia el módulo o el usuario se han incluido todas las explicaciones, descripciones e información del módulo en el manual.

### **5.1.6 Uso Correcto**

#### **Precaución**



El equipo se podrá utilizar para las aplicaciones o practicas previstos por el profesor a cargo, y solo en combinación con equipos y componentes ajenos que cumplan con las especificaciones descritas.

El funcionamiento correcto y segur del módulo depende de un cuidado, mantenimiento, montaje y manejo adecuados.

### **5.1.7 Exención de Responsabilidad**

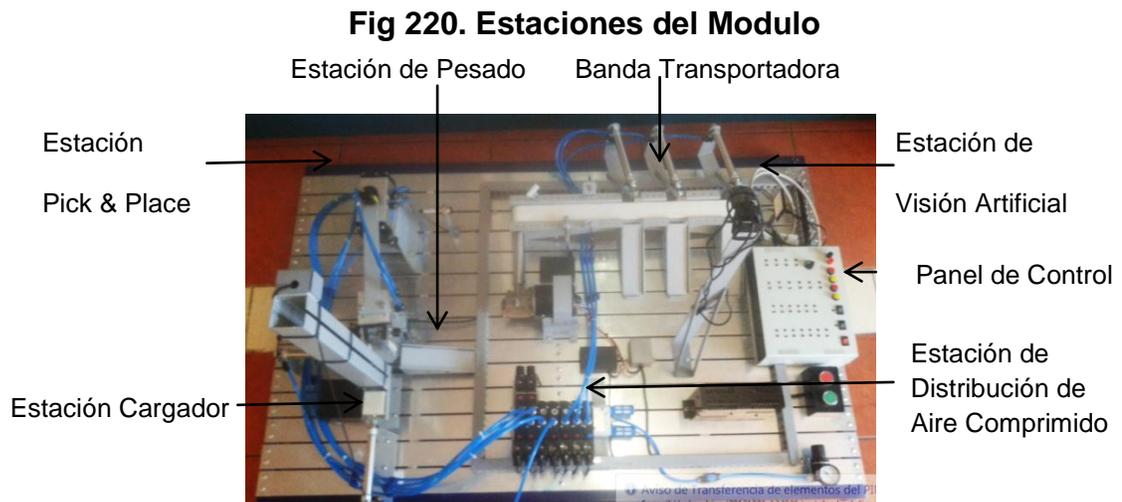
Se ha comprobado si el contenido de este manual concuerda con el hardware descrito. Sin embargo, no pueden excluirse ciertas divergencias que nos impiden asumir la garantía completa de esta concordancia.

### 5.1.8 Partes del SPM-V1ZR

El SPM-V1ZR cuenta con las siguientes estaciones que son las principales:

- Estación Cargador
- Estación de Pesado
- Estación Pick & Place
- Banda Transportadora
- Estación de Distribución de Aire Comprimido
- Estación de Visión Artificial
- Panel de Control

En la figura 220 se muestra el SPM-V1ZR y las diferentes estaciones por las que está compuesto.



**Fuente: Propia**

### 5.1.8.1 Estación Cargador

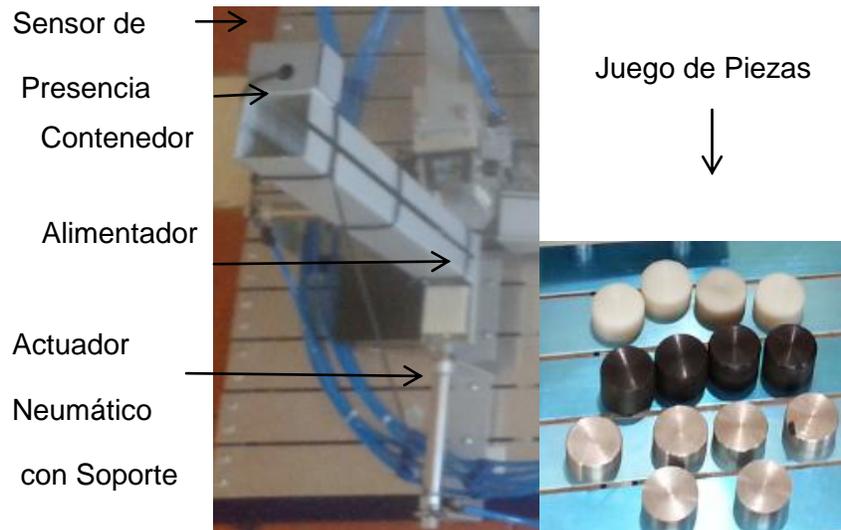
En cada producción automatizada hay que almacenar las piezas y suministrárselas ordenadas al proceso de producción. En el SPM-V1ZR esta función la desempeña la estación cargador. Esta puede almacenar y separar piezas de distintas características.

La estación cargador está compuesta por:

- Juego de Piezas: son las piezas que el módulo va a manipular y clasificar, dentro del juego de piezas se encuentran las piezas metálicas, de peso, de altura y color.
- Contenedor de Piezas: el contenedor de piezas es lugar donde se posicionara el juego de piezas para su respectiva clasificación.
- Cilindro Neumático: el cilindro es al actuador dentro de la estación y es el que despacha las piezas individualmente a la siguiente estación.
- Soporte del Cilindro: el soporte del cilindro mantiene al cilindro en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Alimentador: el alimentador es un aditamento que se le coloca al cilindro para que este pueda despachar las diferentes piezas con facilidad y eficiencia.
- Sensor de Presencia: el sensor de presencia (SHARP) ayuda a la interacción entre la estación cargador y estación de pesado.

En la figura 221 se muestran los componentes de la estación cargador.

**Fig 221 Estación Cargador**



**Fuente: Propia**

### 5.1.8.2 Estación de Pesado

La función de la estación de pesado dentro del SPM-V1ZR es la de identificar el juego de piezas que por características y diseño son más pesadas, las mismas que tienen que ser retiradas del sistema por un actuador neumático en el momento que la balanza de este sistema detecte dicha característica.

La estación de pesado está compuesta por:

- **Balanza:** la balanza es un sensor mecánica que ayuda a la estación de pesado a detectar las piezas que contienen un mayor peso para luego ser descartadas.

- Cilindro Neumático: el cilindro es el actuador dentro de la estación de pesado y es el que despacha o retira las piezas del peso del sistema cuando la balanza las detectas.
- Rampa de Desalojo: la rampa es donde terminan las piezas de peso al ser despachadas por el actuador neumático de la estación.
- Soporte del Cilindro: el soporte del cilindro mantiene al cilindro en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.

En la figura 222 se muestran los componentes de la estación de pesado.

**Fig 222. Estación de Pesado**



**Fuente: Propia**

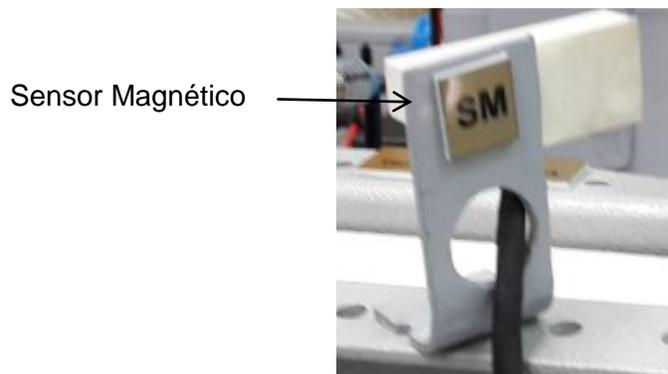
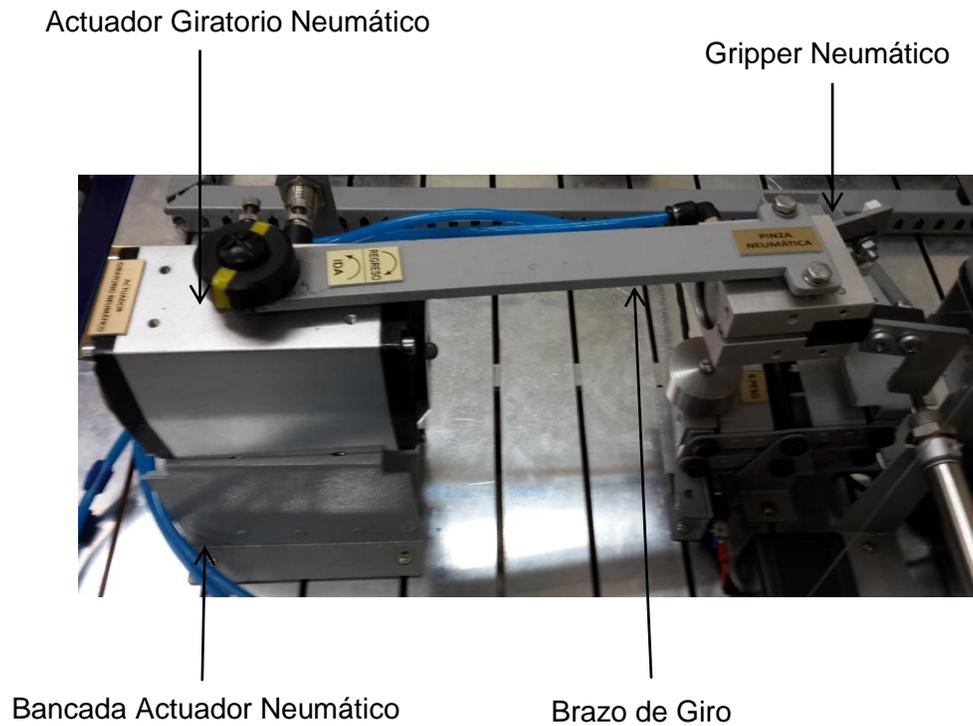
### 5.1.8.3 Estación Pick & Place

La estación pick & place es la encargada de trasladar las piezas de una estación a otra, en este caso, desde la estación de pesado hacia la banda transportadora.

La estación pick & place está compuesta por:

- Gripper Neumático: el gripper neumático es uno de los dos actuadores que contiene esta estación, su función es la de sostener la pieza que va a ser trasladada hacia la banda transportadora.
- Actuador Giratorio Neumático: el actuador giratorio neumático es el que realiza el movimiento de trasladar el gripper con la pieza a ser clasificadas en la banda transportadora.
- Bancada Actuador Neumático: la bancada del actuador giratorio neumático es el que mantiene al actuador en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Brazo de Giro: el brazo de giro es que enlaza el funcionamiento del actuador giratorio neumático con la piza, para poder trasladar el Gripper con la pieza a ser clasificada hacia la banda transportadora.
- Sensor Magnético: el sensor magnético ayuda a la interacción entre la estación pick & place y la banda transportadora.

En la figura 5.4 se muestran los componentes de la estación pick & place

**Fig 223. Estación Pick & Place**

**Fuente: Propia**

#### **5.1.8.4 Banda Transportadora**

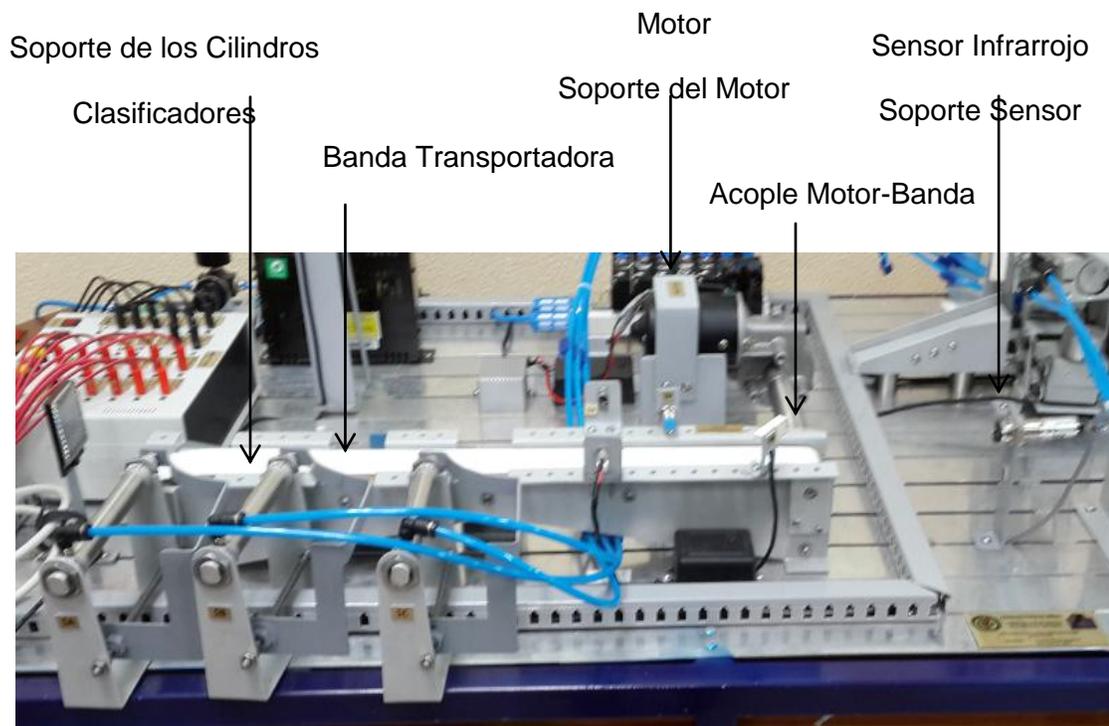
La banda transportadora es la encargada de trasladar las piezas para ser clasificadas según las especificaciones del diseño (metal, altura y descarte).

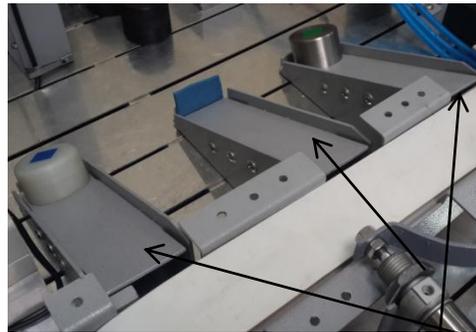
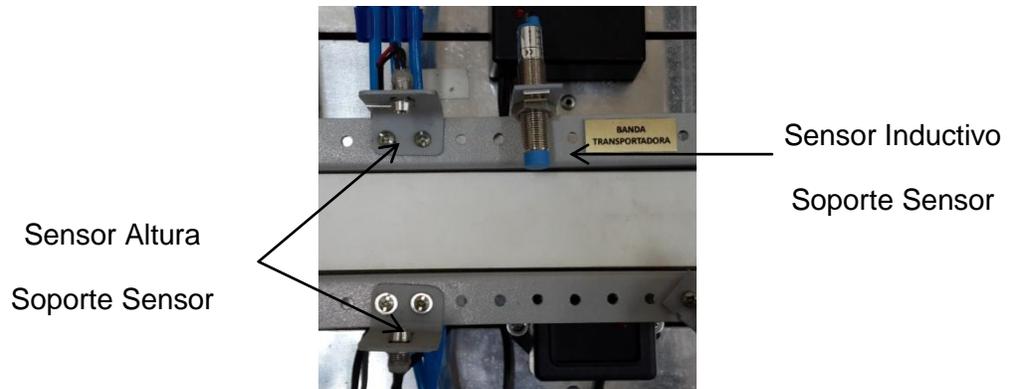
La banda transportadora está compuesta por:

- Banda Transportadora: es el cuerpo de la estación es donde las piezas dejadas por el gripper van a terminar para su posterior clasificación.
- Motor: el motor es el actuador eléctrico en la estación, y da el movimiento a la cinta que compone la banda transportadora para trasladarlas a su clasificador según sea el caso.
- Soporte del Motor: el soporte de motor es el que mantiene al actuador en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Acople Motor-Banda: el acople ayuda a transmitir el movimiento del motor hacia la banda transportadora.
- Cilindros Neumáticos: en la estación existe tres actuadores neumáticos que son los que ayudan en la banda transportadora a clasificar los diferentes tipos de piezas y sacarlos en el clasificador adecuado.
- Soporte del Cilindro: el soporte del cilindro mantiene al cilindro en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Clasificadores: los clasificadores son un aditamento que se le coloca a los cilindros para ayudar a clasificar las piezas según corresponda.
- Rampas de Clasificación: las rampas de clasificación son donde van a terminar las piezas clasificadas dependiendo del tipo o característica que posean.
- Sensor Infrarrojo: el sensor infrarrojo, es un dispositivo que informa al usuario que existe una pieza en la banda transportadora, para activar el motor.

- Sensor Altura: el sensor de altura, es un dispositivo que informa al usuario que existe una pieza de altura en la banda transportadora, para activar el cilindro adecuado y clasificar la pieza de altura.
- Sensor Inductivo: el sensor inductivo, es un dispositivo que informa al usuario que existe una pieza de metal en la banda transportadora, para activar el cilindro adecuado y clasificar la pieza de metal.
- Soporte Sensores: el soporte de los diferentes sensores mantiene al sensor en el lugar adecuado, para que pueda identificar la pieza que está siendo trasladada en la banda transportadora cumpla con su propósito dentro de la estación. En la figura 224 se muestran los componentes de la banda transportadora.

**Fig 224. Banda Transportadora**





Rampas Clasificadoras

**Fuente: Propia**

### 5.1.8.5 Estación de Distribución de Aire Comprimido

El SPM-V1ZR cuenta con actuadores neumáticos en todas sus estaciones y para su funcionamiento es necesario diseñar una estación que se encargue de distribuir y controlar el aire comprimido hacia cada uno de ellos.

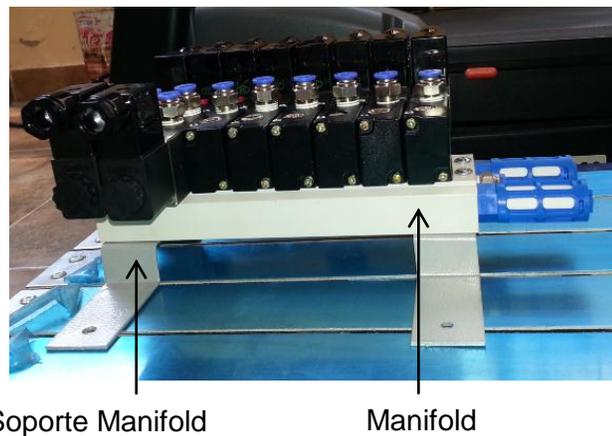
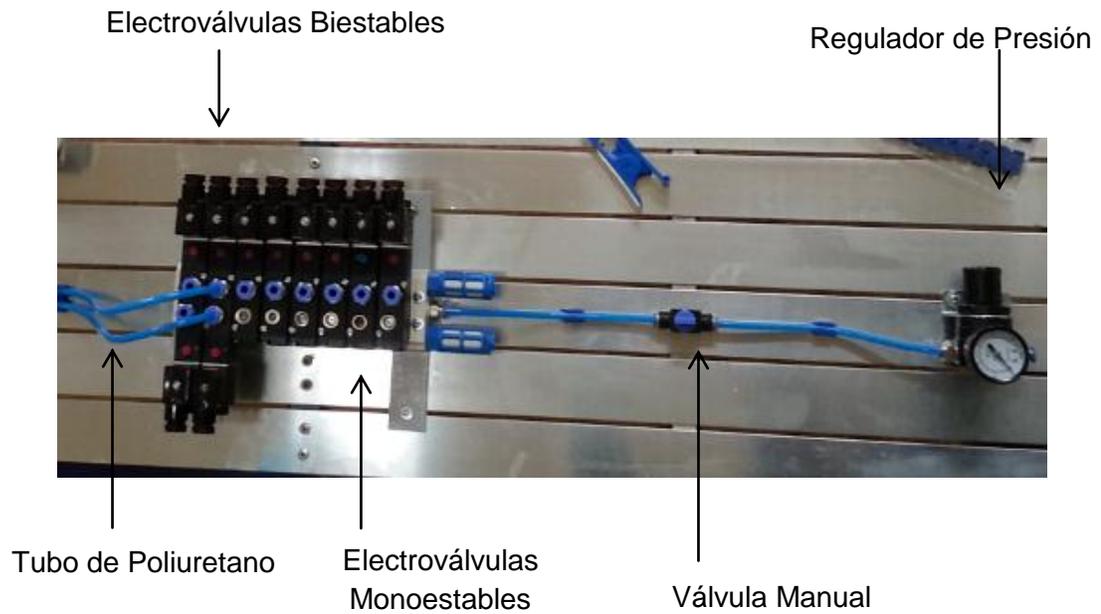
La estación de distribución de aire comprimido está compuesta por.

- **Electroválvulas para Cilindro Simple Efecto:** las electroválvulas monoestables son las que van a activar los cilindros simple efecto de la estación cargador, estación de pesado y de la banda transportadora.

- Electroválvulas para Cilindro Doble Efecto: las electroválvulas biestables son las que van a activar los actuadores de doble efecto de la estación pick & place.
- Manifold: el manifold es considerado un aditamento que ayuda a tener una sola línea de aire hacia las electroválvulas y disminuye el uso de líneas para alimentación.
- Soportes Manifold: el soporte del manifold mantiene al manifold en el lugar adecuado, para que cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Regulador de Presión: el regulador de presión ayuda a controlar la presión de ingreso del aire comprimido hacia la estación.
- Válvula Manual: la válvula manual permite el ingreso de aire comprimido a la estación cuando esté en funcionamiento.
- Tubo de Poliuretano de 6mm: el tubo de poliuretano sirve para repartir aire comprimido a los diferentes actuadores neumáticos desde la estación de distribución de aire.

En la figura 225 se muestran los componentes de la estación de distribución de aire.

**Fig 225. Estación de Distribución de Aire**



**Fuente. Propia**

#### 5.1.8.6 Estación de Visión Artificial

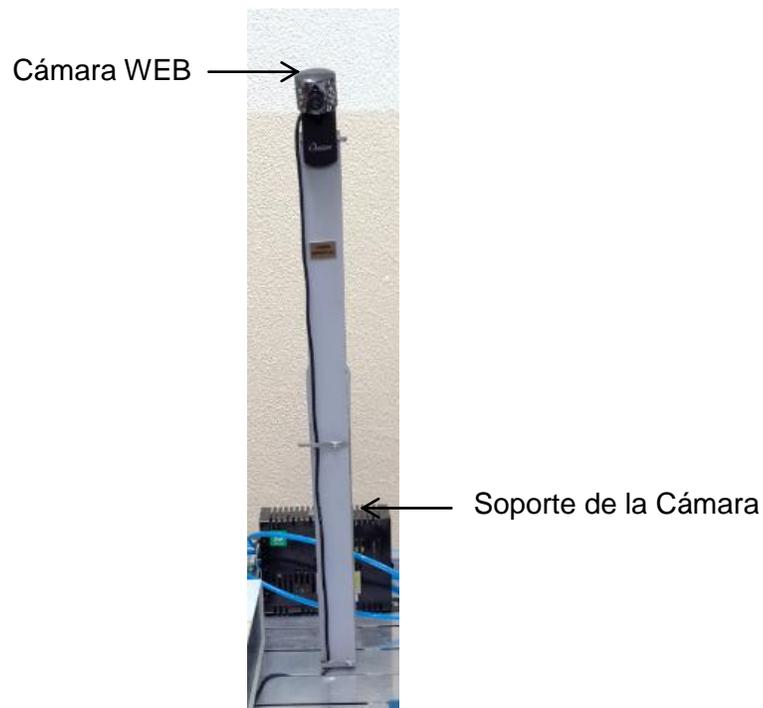
En la estación de visión artificial se va a llevar a cabo el conteo de las piezas clasificadas en el módulo, esto sirve para realizar un control de calidad de las mismas.

La estación de visión artificial está compuesta por:

- **Cámara WEB:** la cámara web es el aditamento que ayuda a la estación a conectarse hacia la computadora en el que se realiza el programa para el control por visión artificial.
- **Soporte de la Cámara:** el soporte de la cámara ayuda a la cámara a mantenerse en el lugar adecuado, para que cumplir con su propósito dentro de la estación.

En la figura 226 se muestran los componentes de la estación de visión artificial.

**Fig 226. Estación de Visión Artificial**



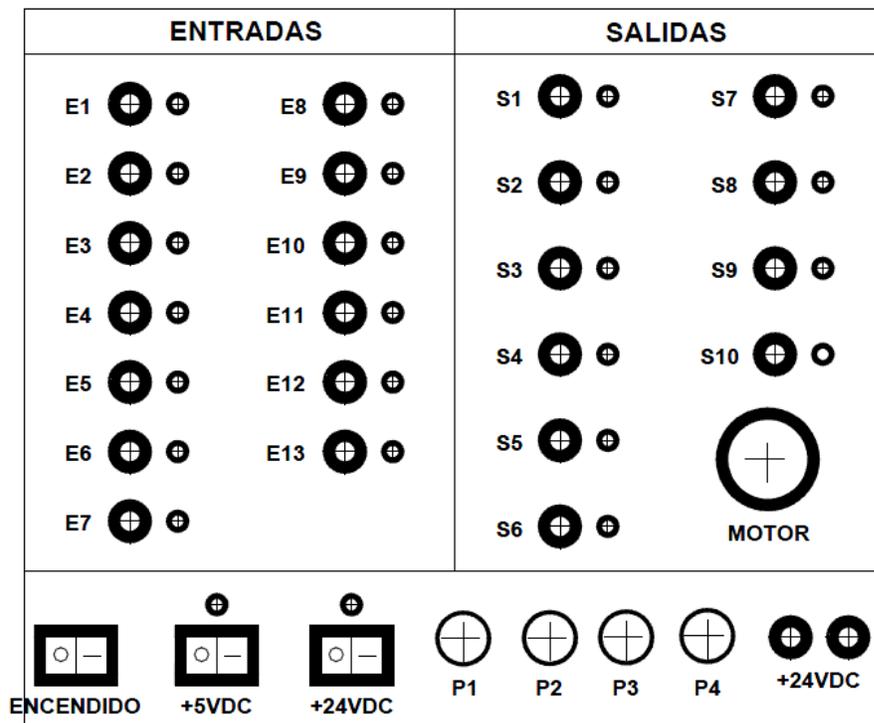
**Fuente: Propia**

### 5.1.8.7 Panel de Control

En el panel de control se van a encontrar todas las salidas y entradas que tiene el módulo y los conectores hacia los diferentes controladores con los que se puede operar el módulo.

En la figura 227 se puede observar la distribución del panel del control.

**Fig 227. Distribución del Panel de Control**



**Fuente: Propia**

En la tabla 95 se pueden observar el significado y la descripción de las etiquetas mostradas en la figura 227.

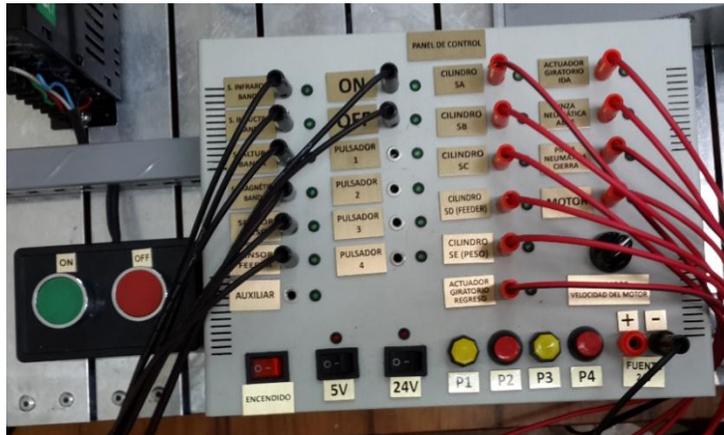
Tabla 95. Codificación del layout del panel de control.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>ENTRADAS</b>	
E1	Sensor Óptico IR, detecta objetos en banda transportadora
E2	Sensor Inductivo, detecta elementos metálicos en la banda
E3	Sensor Altura, detecta objetos de altura elevada en banda
E4	Sensor Magnético, presencia gripper al inicio de la banda
E5	Sensor de peso, determina el peso para ciertas piezas
E6	Sensor Feeder, determina presencia de objetos en contenedor
E7	Entrada Auxiliar, en caso de implementar una entrada adicional
E8	Señal pulsador ON, detecta pulsador en marcha
E9	Señal pulsador OFF. Detecta pulsador de paro
E10	Señal de pulsador, detecta pulsador P1
E11	Señal de pulsador, detecta pulsador P2
E12	Señal de pulsador, detecta pulsador P3
E13	Señal de pulsador, detecta pulsador P4
<b>SALIDAS</b>	
S1	Cilindro Simple efecto, solenoide A.
S2	Cilindro Simple efecto, solenoide B.
S3	Cilindro Simple efecto, solenoide C.
S4	Cilindro Simple efecto, solenoide D.
S5	Cilindro Simple efecto, solenoide E.
S6	Actuador Giratorio regreso, S1
S7	Actuador Giratorio ida, S2
S8	Pinza neumática, soltar pieza, S1
S9	Pinza neumática, sujetar pieza, S2
S10	Actuador eléctrico, motor, movimiento banda
<b>INTERRUPTORES</b>	
ENCENDIDO	Interruptor de encendido general, fuente AC
+24 VDC	Encendido de la fuente de 24 VDC
+5VDC	Encendido de la fuente 5 VDC (manejo de señales TTL)
MOTOR	Perilla de encendido y control de velocidad del motor DC
<b>PULSADORES</b>	
PI	Pulsador adicional, propósito general
P2	Pulsador adicional, propósito general
P3	Pulsador adicional, propósito general
P4	Pulsador adicional, propósito general
<b>ALIMENTACIÓN</b>	
+24VDC	Salida de Voltaje 24VDC

Fuente: Propia

En la figura 228 se puede observar el panel de control con las etiquetas que se le colocaron al módulo.

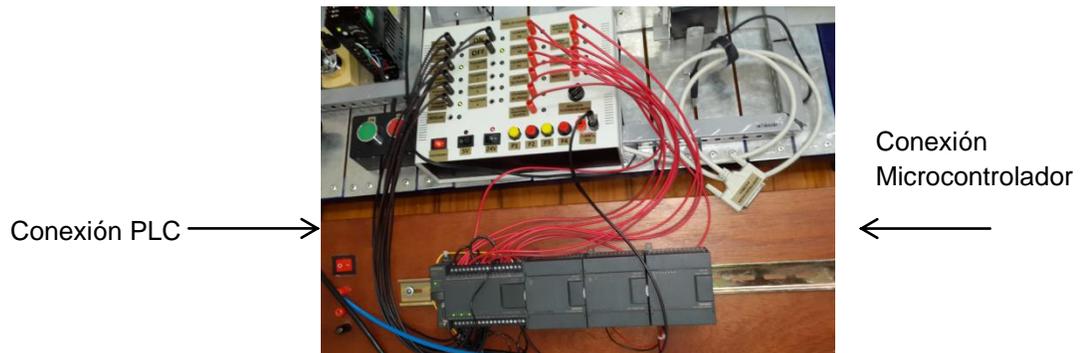
**Fig 228. Panel de Control**



**Fuente: Propia**

El módulo da la posibilidad de utilizar diferentes tipos de controladores para para su funcionamiento, en la figura 229 se muestra la conexión del módulo con el PLC y el conector DB25 con el cual se puede realizar las conexiones hacia un microcontrolador.

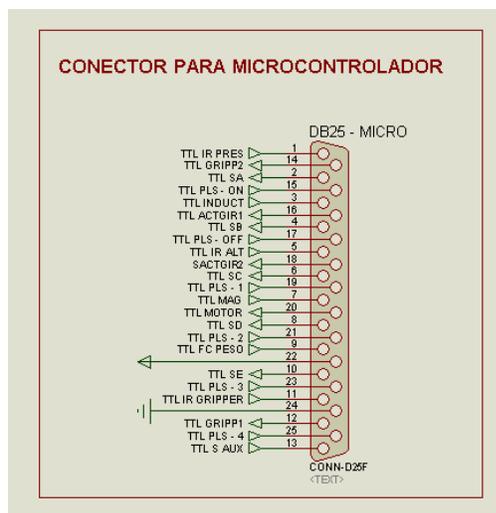
**Fig 229. Conexión al PLC y Cable de Conexión a Microcontroladores**



**Fuente: Propia**

En la figura 228 se observan las borneras, en se instalan los conectores banana hacia el PLC, en la figura 230 se puede observar la distribución del DB 25 y en la tabla 96 cuál sería su equivalente en los pines.

**Fig 230. Conector DB 25 y distribución**



**Fuente: Propia**

**Tabla 96. Distribución de los Pines**

<b># Pin</b>	<b>Descripción</b>
1	Sensor Infrarrojo (Presencia Banda)
2	Electroválvula Cilindro SA
3	Sensor Inductivo
4	Electroválvula Cilindro SB
5	Sensor de Altura
6	Electroválvula Cilindro SC
7	Sensor Magnético
8	Electroválvula Cilindro SD
9	Sensor Peso
10	Electroválvula Cilindro SE
11	Sensor Feeder
12	Gripper (P+)
13	Auxiliar
14	Gripper (P-)
15	Pulsador ON
16	Actuador Giratorio (G+)
17	Pulsador OFF
18	Actuador Giratorio (G-)
19	Pulsador 1
20	Motor
21	Pulsador 2
22	5V
23	Pulsador 3
24	Ground
25	Pulsador 4

**Fuente: Propia**

## **5.1.9 Montaje y Cableado**

### **5.1.9.1 Requerimientos Generales**

#### **5.1.9.1.1 Alimentación Eléctrica**

La alimentación eléctrica del módulo es de 110V a 60Hz, con una corriente de 3. El módulo no consta con un conector de tres patas por lo que se lo puede conectar a un tomacorriente común.

### 5.1.9.1.2 Alimentación Neumática

El módulo trabaja con aire comprimido, el consumo de aire de la estación es de  $22.13 \frac{l}{min}$  y trabaja con una presión 1.5 bar.

Para conectar el compresor al equipo, siga los pasos que se detallan a continuación:

- 1) Conectar el compresor a la red eléctrica
- 2) Conecte el tubo de poliuretano de 6mm a la entrada del equipo y a la salida de aire del compresor, evitando que se hagan nudos en la misma.
- 3) Abra completamente la Válvula de Paso del compresor como se indica en la figura 231.

**Fig. 5.12 Válvula de Paso del Compresor**



**Fuente: Propia**

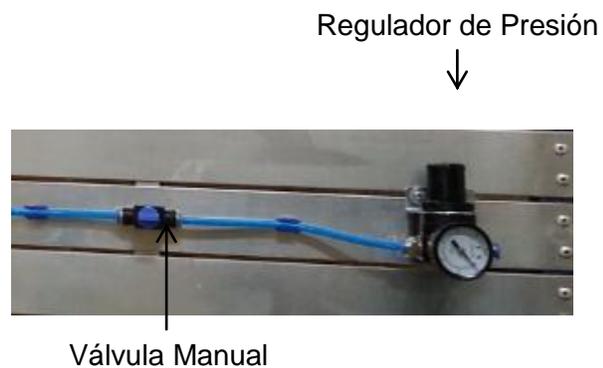
- 4) Verifique que el manómetro de salida este regulado en 6 bar o más, como se indica en la figura 232.

**Fig 232. Válvula de Paso del Compresor**

**Fuente: Propia**

5) Asegure que la presión del aire en el regulador de presión del módulo sea de 1.5 bar.

6) Abra la válvula manual ubicada junto al regulador de presión del equipo para que el aire comprimido pueda ingresar a la estación de distribución de aire comprimido del SPM-V1ZR. Como se indica en la figura 233.

**Fig 233. Regulador de Presión y Válvula de Paso del SPM-V1ZR**

**Fuente: Propia**

### Precaución



La válvula de salida de aire del compresor debe ser abierta únicamente cuando se haya realizado la conexión al equipo. Nunca abra la válvula sin que esté conectada a un destinatario.

Si escucha que existe una fuga por más pequeña que sea, cierre las válvulas de paso de aire comprimido y revise nuevamente las conexiones neumáticas.

Para conectar el equipo al tomacorriente y encenderlo, siga los pasos que se detallan a continuación:

- 1) Verifique los botones de encendido tanto del SPM-V1ZR y los botones para el encendido de las fuentes tanto de 24V como la de 5V, están en la posición de apagado.
- 2) Conecte el módulo a la red eléctrica.
- 3) Luego de conectado el módulo a la red eléctrica, encender la fuente con la que se desee trabajar. En la figura 234 se muestra los botones de encendido del módulo y de cada una de las fuentes.

**Fig 234. Botones de Encendido**



**Fuente: Propia**



### Precaución

Se debe tener en cuenta que los botones de encendido del módulo deben estar apagados antes de conectar el módulo a la red eléctrica.

Para conectar el equipo al controlador que se desea utilizar, siga los pasos que se detallan a continuación:

- 1) Verificar que el SPM-V1ZR no esté conectado a la red eléctrica.
- 2) Verificar que el controlador que se va a utilizar para manipular el módulo tampoco esté conectado a la red eléctrica.
- 3) Con los conectores adecuados para el controlador que se va a utilizar realizar el enlace entre el SPM-V1ZR y el controlador.



### Peligro

Se debe tomar en cuenta que el controlador que escogieron para manipular el módulo está conectado adecuadamente y que van a trabajar con el valor de voltaje que el módulo posee (para PLC trabajar con la fuente de 24V y para microcontrolador con la fuente de 5V), de no ser así se puede causar daños en la electrónica del equipo.



### Atención

No hay problema en el orden de conexión de las entradas y salidas del módulo hacia el controlador.



### Precaución

Se debe tener en cuenta no confundir cuales son entradas y salidas en el módulo hacia la conexión con el controlador, ya que esto podría dañar los componentes eléctricos/electrónicos. La tabla 5.1 muestra cuales son entradas y salidas del SPM-V1ZR.

### 5.1.10 Montaje de los Componentes

Todos los actuadores y sensores están montados sobre soportes que los ayudan a mantenerse firmes en la bancada y en la posición que se los necesita para el correcto funcionamiento del SPM-V1ZR.

De ser el caso siempre verificar que los soportes estén bien sujetos y de que no haya interferencia o cruce de objetos para el buen funcionamiento del actuador o sensor dependiendo del caso.

Se debe conocer que los sensores y actuadores están en la posición requerida para el funcionamiento e interacción de las diferentes estaciones, si se desea modificar el proceso se debe tomar en cuenta la posición de los sensores y actuadores para cada estación, ya que así no se generaría ningún error.



#### **Peligro**

El manipular las estaciones o el módulo en general sin el permiso y supervisión del profesor encargado de los laboratorios podría generar un funcionamiento inadecuado del módulo y generar daños al usuario o al módulo en sí.

### 5.1.11 Problemas comunes y posible soluciones

- **El Sensor del Feeder está activado cuando salen las diferentes piezas:** Verificar que el sensor del Feeder se encuentre a la altura apropiada para el funcionamiento correcto, recordar que el funcionamiento de este sensor

es inverso al de los demás cuando detecta una pieza en la estación de pesado se desactiva.

- **El Sensor Inductivo no está detectando las piezas metálicas:**

Verificar que el sensor este a una distancia adecuada del paso de las piezas metálicas, ya que al estar muy lejos se lo coloca fuera de su rango de detección, de no ser así ajustar el sensor a la distancia adecuada para que pueda detectar el juego de piezas metálicas.

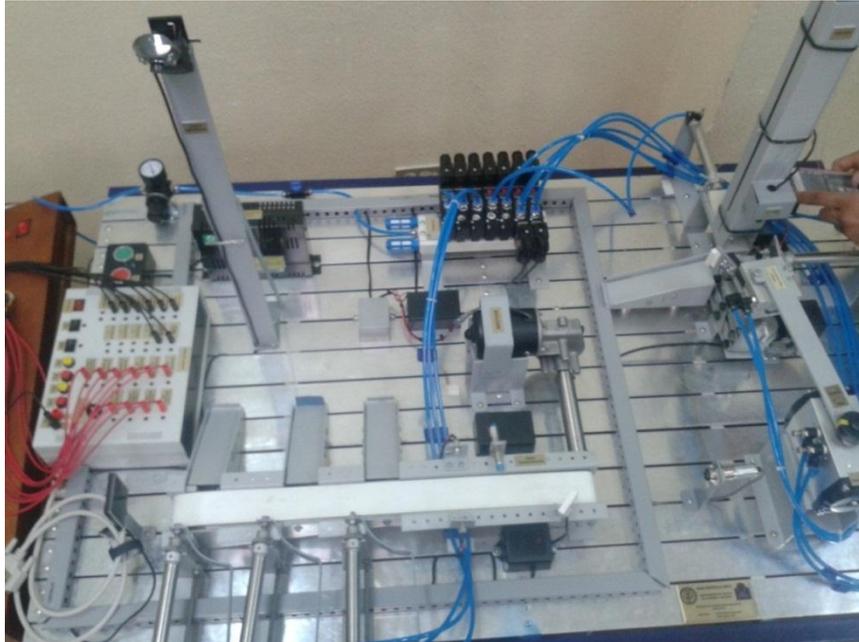
- **El Sensor de Altura esta siempre activo:** Verificar que tanto emisor como receptor del sensor estén a la misma altura y de no encontrarse a la misma altura, ajustar tanto el emisor como receptor hasta que el sensor deje de estar activo y recordando que tienen que estar a la altura adecuada para detectar el juego de piezas de altura.

- **El Motor no enciende o su velocidad está muy baja:** Recordar que en el panel de control esta la perilla que enciende el motor y que también regula la velocidad, recordar que debe tener una velocidad alta para que los clasificadores puedan sacar las piezas a sus respectivas rampas.

- **El sensor magnético no está detectando la llegada del gripper hacia la banda transportadora:** Si esto sucede verificar el funcionamiento del sensor

- **No se encuentra a los actuadores en la posición inicial:** Cuando se va a trabajar con el módulo y un programa realizado en el controlador, siempre se debe recordar que todos los actuadores deben estar en la posición que se indica en la figura 235, caso contrario esto podría generar un mal funcionamiento del módulo.

**Fig 235. Posición Inicial del SPM-V1ZR**



**Fuente: Propia**

La posición de todos los cilindros de simple efecto debe estar retraída.

El gripper debe estar abierto y con el brazo del gripper apuntando así la estación cargador.

Si los actuadores no están en dicha posición, con ayuda de las electroválvulas colocarlos en posición, o con la ayuda de un conector banana-banana darle un pulso a las borneras correspondientes de los actuadores para llevarlos a su posición inicial.

## **5.2 Guías de Practicas**

### **5.2.1 Guía de la Practica N°1**

#### **TÍTULO:**

Conociendo el SPM-V1ZR

#### **OBJETIVOS:**

El alumno concluido la práctica de ser capaz de realizar lo siguiente:

- Conocer los componentes que conforman el SPM-V1ZR.
- Conocer el funcionamiento de los diferentes tipos de actuadores, sensores, electroválvulas y diferentes dispositivos, dentro del panel de control.
- Realizar pruebas en vacío de las diferentes estaciones que conforman el módulo SPM-V1ZR, para conocer su respectivo funcionamiento y descripción.

#### **TRABAJO PREPARATORIO:**

- Revisar el manual del usuario para operación del SPM-V1ZR.

#### **MARCO TEÓRICO:**

##### **Sistema de Producción**

Un sistema de producción es aquel sistema que proporciona una estructura que agiliza la descripción, ejecución y el planteamiento de un proceso industrial. Estos sistemas son los responsables de la producción de bienes y servicios en

las organizaciones. Los administradores de operaciones toman decisiones que se relacionan con la función de operaciones y los sistemas de transformación que se emplean. De la misma manera los sistemas de producción tienen la capacidad de involucrar las actividades y tareas diarias de adquisición y consumo de recursos. Estos son sistemas que utilizan los gerentes de primera línea dada la relevancia que tienen como factor de decisión empresarial. El análisis de este sistema permite familiarizarse de una forma más eficiente con las condiciones en que se encuentra la empresa en referencia al sistema productivo que se emplea.

### **Sistema de Producción Modular Didáctico**

Un sistema de producción modular didáctico, muestra o enseña a los alumnos como operar un área determinada de un proceso industrial para manufacturar un producto, se trabaja en equipo con flujo continuo, se procesa pieza por pieza desde la primera operación hasta su clasificación.

### **EI SPM-V1ZR**

El Sistema de Producción Modular Didáctico o SPM-V1ZR, por la abreviación de sus letras y ser la primera versión de los tesisistas Zapata y Rivera, con las diferentes estaciones por la que está compuesta cumple con la función de separar piezas de diferentes características. Y pretende enseñar al alumno como manejar un proceso de esta tipo.

El módulo está compuesto por sensores, actuadores, y diversos dispositivos que ayudaran a los alumnos a poder manejar el proceso.

**Actuadores Neumáticos:** Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Según el principio de operación los cilindros neumáticos se pueden subdividir como: de simple efecto y doble efecto.

Los actuadores neumáticos deben tener ciertas características especiales que se nombran a continuación:

7. Deben ser de construcción sencilla
8. Si es posible, diseñarlos ligeros en peso ya que será más fácil manipularlos.
9. Siempre que se requiera, los cilindros o los motores neumáticos deben ser construidos en materiales anticorrosivos.
10. Los cilindros y otros actuadores deben diseñarse de tal modo que tengan mejor capacidad de transferencia de calor.
11. Los cilindros deben tener una mayor duración respecto a la fatiga.
12. Los actuadores se deben diseñar y perfeccionar para que tengan una gran confiabilidad contra las fallas.

**Cilindros de Simple Efecto:** En un cilindro de simple efecto, el aire comprimido se alimenta solo en uno de los lados. Por consiguiente, este cilindro puede producir trabajo solo en una dirección. El movimiento de retorno del

pistón se efectúa por medio de un resorte inter construido o por la aplicación de una fuerza externa.

Los cilindros de simple efecto se utilizan para sujetar, marcar, expulsar, etc. Tiene un consumo de aire algo más bajo que un cilindro de doble efecto de igual tamaño.

**Cilindros de Doble Efecto:** En un cilindro de doble efecto, la fuerza ejercida por el aire comprimido mueve el pistón en las dos direcciones en particular, se usan cuando se requiere que el pistón realice trabajo no solo en el movimiento de avance sino también en el de retorno. En principio la longitud de la carrera no está limitada, aun cuando se deben considerar el pandeo y la flexión antes de seleccionar un tamaño particular del diámetro del pistón, longitud de la varilla y longitud de la carrera.

**Actuador Rotativo Neumático:** En estos cilindros por medio de la presión introducida podemos obtener un movimiento rotativo, el giro de estos cilindros puede ser de 45°, 90°, 180°, etc. Estos cilindros resultan adecuados para trasladar piezas de un lugar a otro, dependiendo del torque del mismo.

**Pinzas Neumáticas:** Una pinza neumática es un elemento de amarre, fijación, o sujeción, destinada a ser incorporada o integrada en sistemas de manipulación.

**Elementos de Mando:** Los elementos de mando neumático (válvulas) regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el

caudal del fluido enviado por un compresor o almacenada en un pulmón. El término “válvula” o “distribuidor” es general para todos los tipos tales como válvulas de corredera, de bola, de asiento, grifos, etc.

Para controlar el movimiento de un lado a otro de un cilindro neumático, la energía del aire tiene que regularse, controlarse e invertirse, con una secuencia determinada. Para llevar a cabo estas funciones, se usan válvulas, que son elementos de la aplicación de la energía de los fluidos usados para controlar y regular el medio de trabajo; es decir, el aire comprimido en el caso de un sistema neumático.

Las válvulas en términos generales se usan para:

- e) Arrancar y suspender la energía neumática.
- f) Controlar la dirección de flujo de aire comprimido.
- g) Controlar el gasto de aire comprimido.
- h) Controlar el nivel de presión de aire comprimido.

**Sensores:** Los sensores los podemos definir como dispositivos electrónicos que convierten una variable física a un correspondiente valor eléctrico, este valor eléctrico puede estar en términos de la corriente, voltaje o resistencia. Los sensores a su vez pertenecen a los elementos de entrada de datos de un sistema de control automático.

Estos dispositivos se clasifican en dos categorías que son:

- Discretos.
- Analógicos.

**Sensores Discretos:** Conocidos como sensores digitales, genera un “1” lógico si detectan, o un “0” lógico si no detectan, esta información es originada principalmente por presencia de voltaje o por ausencia de este, aunque en algunos casos la información nos la reportan por medio de un flujo de corriente eléctrica.

Pueden operar tanto con señales de voltajes de corriente directa (VCD) como con señales de voltajes de corriente alterna (VCA).

**Sensores Analógicos:** Pueden presentar como resultado un número infinito de valores, mismos que pueden representar las diferentes magnitudes que estén presentes de una variable física, por lo tanto en los sensores analógicos su trabajo se representa mediante rangos, por ejemplo, de 0V a 1.5V y dentro de este rango de posibles valores que puede adquirir la señal del sensor, está comprendido el rango de medición que le es permitido al sensor de medir una variable física.

La señal que entrega puede representarse mediante variaciones de una señal de voltaje o mediante variaciones de un valor resistivo.

**Actuadores Eléctricos:** Son dispositivos encargados de efectuar acciones físicas ordenadas por algún sistema de control. Esta acción física puede ser un movimiento lineal o un movimiento circular según sea el caso. Se le da el

nombre de actuadores eléctricos cuando se usa la energía eléctrica para que se ejecuten sus movimientos.

Los actuadores eléctricos son utilizados en bandas transportadoras, ascensores de poco peso, los mismos que se requiere una precisión y un desplazamiento no muy brusco ni rápido.

**Motores de Corriente Continua (DC):** El motor de corriente continua, es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotativo.

Esta máquina es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, par y velocidad, lo han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Presentan diferentes características de tamaño, forma y potencia, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.

#### **MATERIALES Y EQUIPOS:**

- Módulo SPM-V1ZR
- Conector Banana-Banana
- Compresor
- Descripción del Equipo

#### **PROCEDIMIENTO:**



### Precaución

Es importante recordar que antes de encender el módulo se debe verificar que se haya tomado en cuenta todas las precauciones de seguridad especificadas en el manual de usuario, y se tenga la respectiva aprobación del profesor responsable de la práctica.

Esta práctica pretende que el alumno de la materia de Automatización Industrial Mecatrónica tenga un primer acercamiento con el módulo, conozca los equipos que le modulo posee y cuál es el funcionamiento de los mismo, para que en prácticas a realizarse posteriormente el alumno conozca todos los detalles.

- 1) Verificar el estado del módulo.
- 2) Identificar las estaciones del módulo y los componentes de cada estación, y llenar la Tabla 1 que se encuentra en la sección de resultados.
- 3) Describir cuales son entradas/salidas en el módulo, y llenar la Tabla 2 que se encuentra en la sección de resultados.
- 4) Conectar a la red eléctrica el SPM-V1ZR.
- 5) Encender el módulo y la fuente de 24V ubicada en el panel de control.
- 6) Conectar el banana-banana al positivo de la fuente de 24V del panel de control, y con la punta sin conectar empezar la prueba en vacío de las salidas de la estación (verificar que el LED indicador en el panel de control se encienda), con el juego de piezas se puede probar las entradas de la estación. (verificar que el LED indicador en el panel de control se encienda), realizada la prueba en vacío se deberá terminar de llenar la Tabla 2, la parte que respecta al funcionamiento de las entradas/salidas (funciona o no funciona)

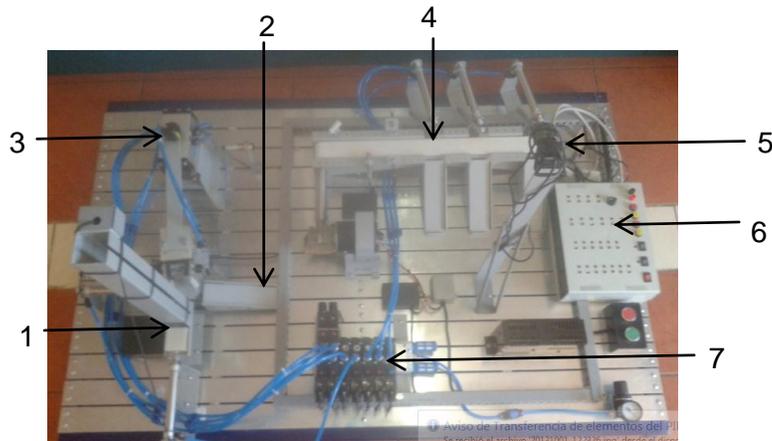
7) Se debe anotar como observaciones en la sección de resultados si existe cualquier anomalía, falla o mal funcionamiento en el módulo.

**RESULTADOS:**

**Conociendo el SPM-V1ZR**

Fecha:	Grupo #:
Nombres de los Integrantes del Grupo	
Nombre del Profesor Responsable	

- **Identifique en la figura que estaciones componen el SPM-V1ZR y los componentes o dispositivos de cada estación.**



Número	Estaciones del SPM-V1ZR	Componentes de cada Estación
--------	-------------------------	------------------------------

1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		



- Describir una tabla de Entradas/Salidas del módulo y generar una tabla para la conexión con el PLC.
- Obtener la solución para que el módulo clasifique las diferentes piezas (metal, altura, peso, descarte), cada vez que se presione el botón de ON.

#### **TRABAJO PREPARATORIO:**

- Familiarizarse con el PLC Siemens S7-200 y con la programación del mismo.
- Tener instalado el programa Siemens Simatic S7-200, utilizado para poder programar el PLC.

#### **MARCO TEÓRICO:**

##### **El SPM-V1ZR**

El Sistema de Producción Modular Didáctico o SPM-V1ZR, por la abreviación de sus letras y ser la primera versión de los tesisistas Zapata y Rivera, con las diferentes estaciones por la que está compuesta cumple con la función de separar piezas de diferentes características. Y pretende enseñar al alumno como manejar un proceso de esta tipo.

El SPM-V1ZR cuenta con las siguientes estaciones que son las principales:

- Estación Cargador
- Estación de Pesado
- Estación Pick & Place

- Banda Transportadora
- Estación de Distribución de Aire Comprimido
- Estación de Visión Artificial
- Panel de Control

Estas estaciones a su vez están formadas por ciertos componentes que le permiten al módulo funcionar.

### **Estación Cargador**

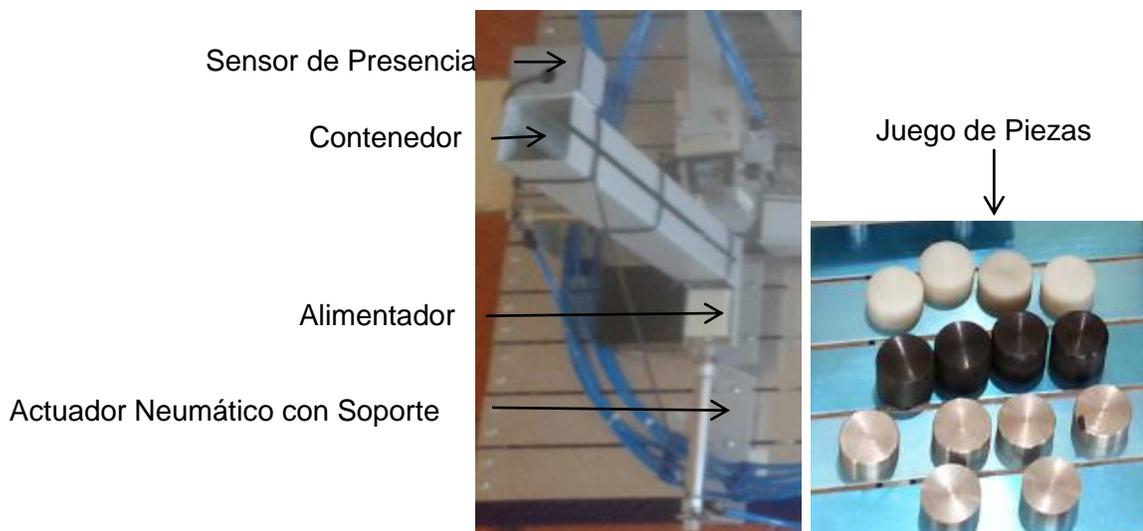
En cada producción automatizada hay que almacenar las piezas y suministrárselas ordenadas al proceso de producción. En el SPM-V1ZR esta función la desempeña la estación cargador. Esta puede almacenar y separar piezas de distintas características.

La estación cargador está compuesta por:

- Juego de Piezas: son las piezas que el módulo va a manipular y clasificar, dentro del juego de piezas se encuentran las piezas metálicas, de peso, de altura y color.
- Contenedor de Piezas: el contenedor de piezas es lugar donde se posicionara el juego de piezas para su respectiva clasificación.
- Cilindro Neumático: el cilindro es al actuador dentro de la estación y es el que despacha las piezas individualmente a la siguiente estación.
- Soporte del Cilindro: el soporte del cilindro mantiene al cilindro en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.

- Alimentador: el alimentador es un aditamento que se le coloca al cilindro para que este pueda despachar las diferentes piezas con facilidad y eficiencia.
- Sensor de Presencia: el sensor de presencia (SHARP) ayuda a la interacción entre la estación cargador y estación de pesado. En la siguiente figura se muestran los componentes de la estación cargador.

### Estación Cargador



### Estación de Pesado

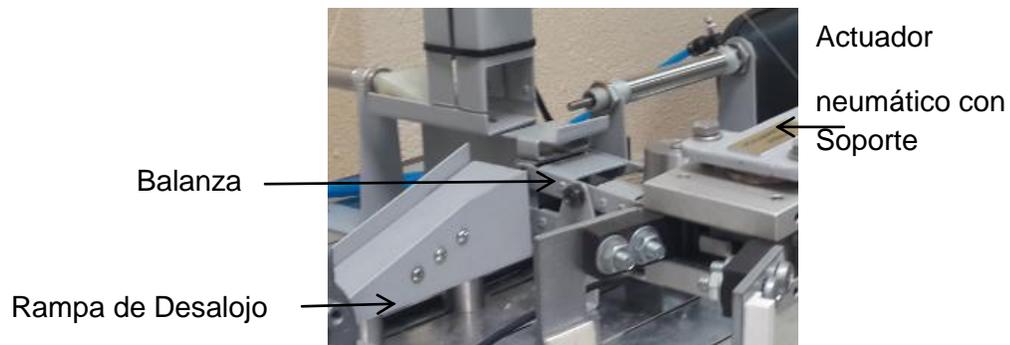
La función de la estación de pesado dentro del SPM-V1ZR es la de identificar el juego de piezas que por características y diseño son más pesadas, las mismas que tienen que ser retiradas del sistema por un actuador neumático en el momento que la balanza de este sistema detecte dicha característica.

La estación de pesado está compuesta por:

- **Balanza:** la balanza es un sensor mecánica que ayuda a la estación de pesado a detectar las piezas que contienen un mayor peso para luego ser descartadas.
- **Cilindro Neumático:** el cilindro es el actuador dentro de la estación de pesado y es el que despacha o retira las piezas del peso del sistema cuando la balanza las detectas.
- **Rampa de Desalojo:** la rampa es donde terminan las piezas de peso al ser despachadas por el actuador neumático de la estación.
- **Soporte del Cilindro:** el soporte del cilindro mantiene al cilindro en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.

En la siguiente figura se muestran los componentes de la estación de pesado.

### Estación de Pesado



### **Estación Pick & Place**

La estación pick & place es la encargada de trasladar las piezas de una estación a otra, en este caso, desde la estación de pesado hacia la banda transportadora.

La estación pick & place está compuesta por:

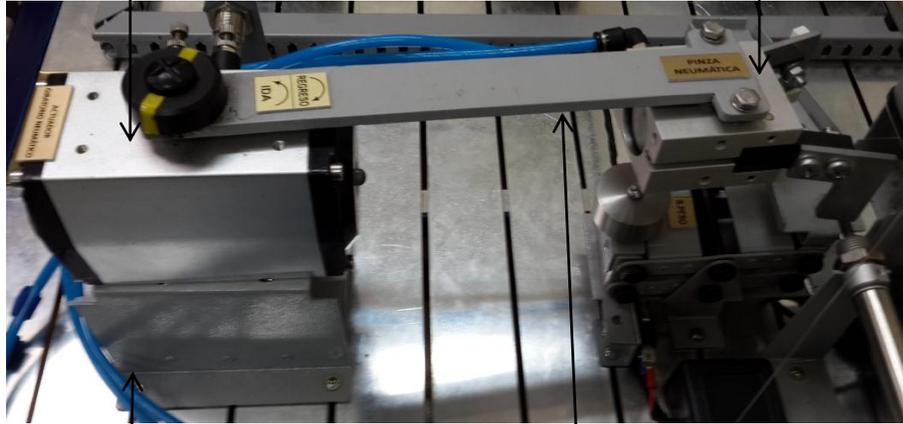
- Gripper Neumático: el gripper neumático es uno de los dos actuadores que contiene esta estación, su función es la de sostener la pieza que va a ser trasladada hacia la banda transportadora.
- Actuador Giratorio Neumático: el actuador giratorio neumático es el que realiza el movimiento de trasladar el gripper con la pieza a ser clasificadas en la banda transportadora.
- Bancada Actuador Neumático: la bancada del actuador giratorio neumático es el que mantiene al actuador en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Brazo de Giro: el brazo de giro es que enlaza el funcionamiento del actuador giratorio neumático con la piza, para poder trasladar el Gripper con la pieza a ser clasificada hacia la banda transportadora.
- Sensor Magnético: el sensor magnético ayuda a la interacción entre la estación pick & place y la banda transportadora.

En la siguiente figura se muestran los componentes de la estación pick & place.

## Estación Pick & Place

Actuador Giratorio Neumático

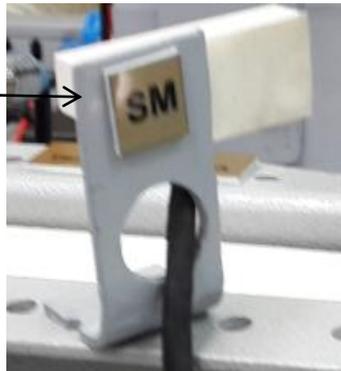
Gripper Neumático



Bancada Actuador Neumático

Brazo de Giro

Sensor Magnético



## Banda Transportadora

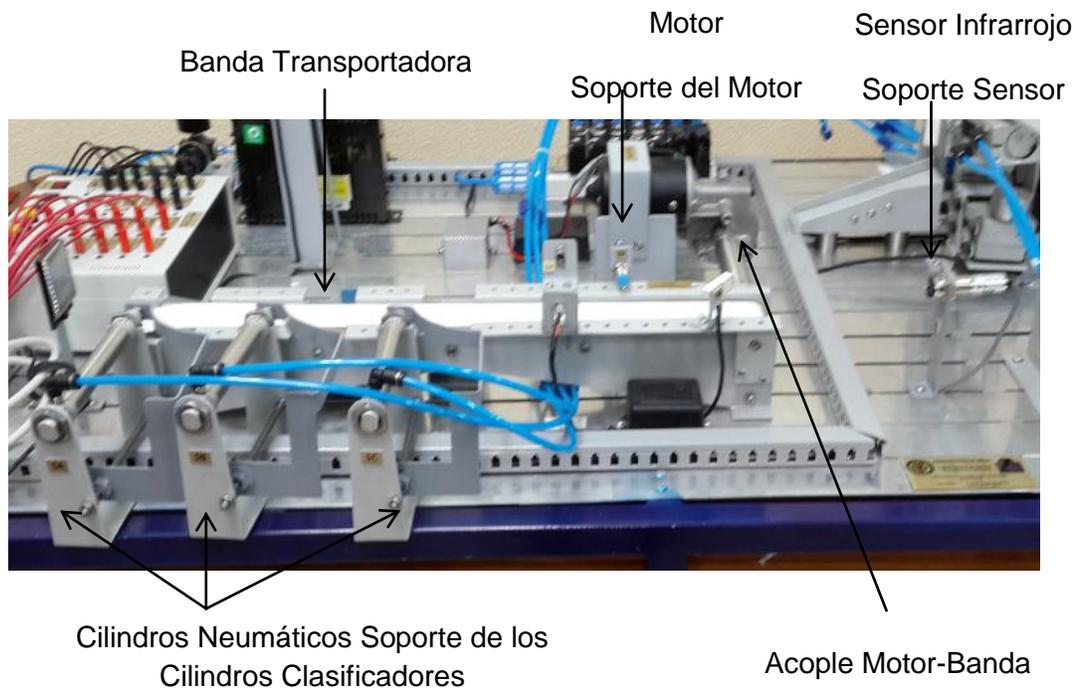
La banda transportadora es la encargada de trasladar las piezas para ser clasificadas según las especificaciones del diseño (metal, altura y descarte).

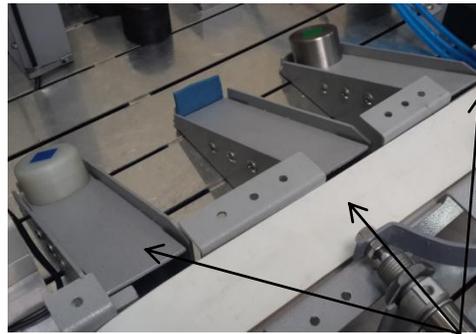
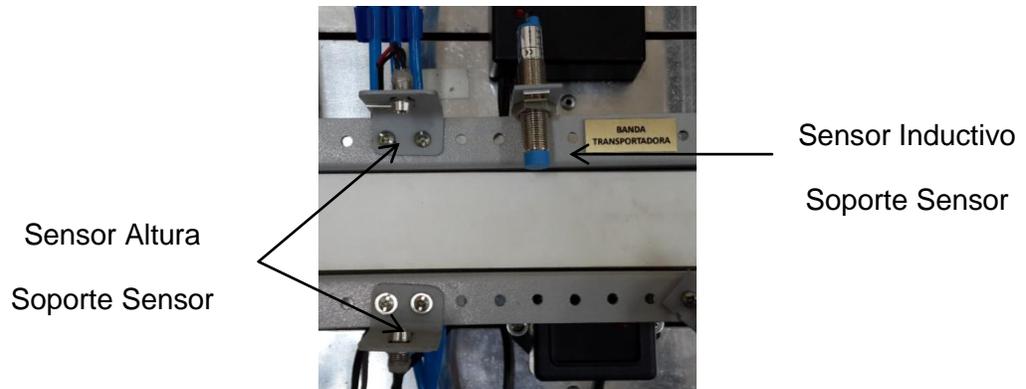
La banda transportadora está compuesta por:

- Banda Transportadora: es el cuerpo de la estación es donde las piezas dejadas por el gripper van a terminar para su posterior clasificación.
- Motor: el motor es el actuador eléctrico en la estación, y da el movimiento a la cinta que compone la banda transportadora para trasladarlas a su clasificador según sea el caso.
- Soporte del Motor: el soporte de motor es el que mantiene al actuador en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Acople Motor-Banda: el acople ayuda a transmitir el movimiento del motor hacia la banda transportadora.
- Cilindros Neumáticos: en la estación existe tres actuadores neumáticos que son los que ayudan en la banda transportadora a clasificar los diferentes tipos de piezas y sacarlos en el clasificador adecuado.
- Soporte del Cilindro: el soporte del cilindro mantiene al cilindro en el lugar adecuado, para que el actuador cumpla con su propósito dentro de la estación.
- Clasificadores: los clasificadores son un aditamento que se le coloca a los cilindros para ayudar a clasificar las piezas según corresponda.
- Rampas de Clasificación: las rampas de clasificación son donde van a terminar las piezas clasificadas dependiendo del tipo o característica que posean.
- Sensor Infrarrojo: el sensor infrarrojo, es un dispositivo que informa al usuario que existe una pieza en la banda transportadora, para activar el motor.

- Sensor Altura: el sensor de altura, es un dispositivo que informa al usuario que existe una pieza de altura en la banda transportadora, para activar el cilindro adecuado y clasificar la pieza de altura.
- Sensor Inductivo: el sensor inductivo, es un dispositivo que informa al usuario que existe una pieza de metal en la banda transportadora, para activar el cilindro adecuado y clasificar la pieza de metal.
- Soporte Sensores: el soporte de los diferentes sensores mantiene al sensor en el lugar adecuado, para que pueda identificar la pieza que está siendo trasladada en la banda transportadora cumpla con su propósito dentro de la estación.

### Banda Transportadora





Rampas Clasificadoras

### **Estación de Distribución de Aire Comprimido**

El SPM-V1ZR cuenta con actuadores neumáticos en todas sus estaciones y para su funcionamiento es necesario diseñar una estación que se encargue de distribuir y controlar el aire comprimido hacia cada uno de ellos.

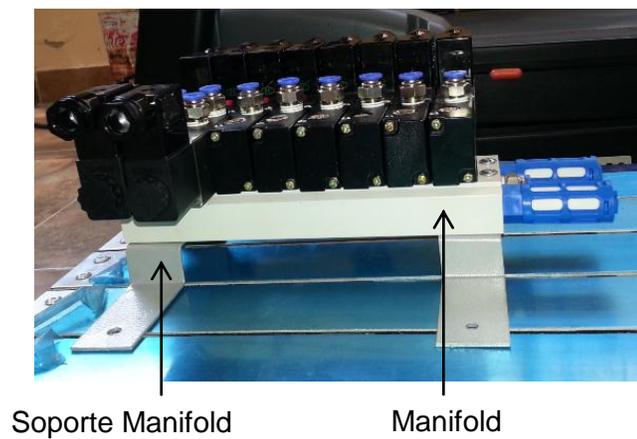
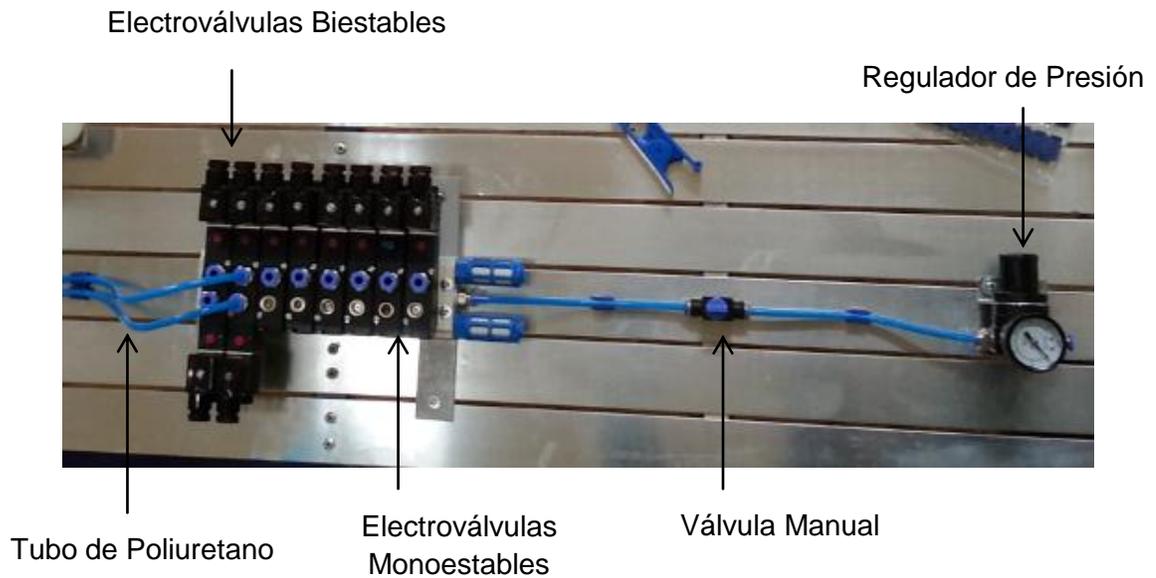
La estación de distribución de aire comprimido está compuesta por.

- Electroválvulas para Cilindro Simple Efecto: las electroválvulas monoestables son las que van a activar los cilindros simple efecto de la estación cargador, estación de pesado y de la banda transportadora.

- **Electroválvulas para Cilindro Doble Efecto:** las electroválvulas biestables son las que van a activar los actuadores de doble efecto de la estación pick & place.
- **Manifold:** el manifold es considerado un aditamento que ayuda a tener una sola línea de aire hacia las electroválvulas y disminuye el uso de líneas para alimentación.
- **Soportes Manifold:** el soporte del manifold mantiene al manifold en el lugar adecuado, para que cumpla con su propósito dentro de la estación.
- **Regulador de Presión:** el regulador de presión ayuda a controlar la presión de ingreso del aire comprimido hacia la estación.
- **Válvula Manual:** la válvula manual permite el ingreso de aire comprimido a la estación cuando esté en funcionamiento.
- **Tubo de Poliuretano de 6mm:** el tubo de poliuretano sirve para repartir aire comprimido a los diferentes actuadores neumáticos desde la estación de distribución de aire.

En la siguiente figura se muestran los componentes de la estación de distribución de aire.

## Estación de Distribución de Aire



## Estación de Visión Artificial

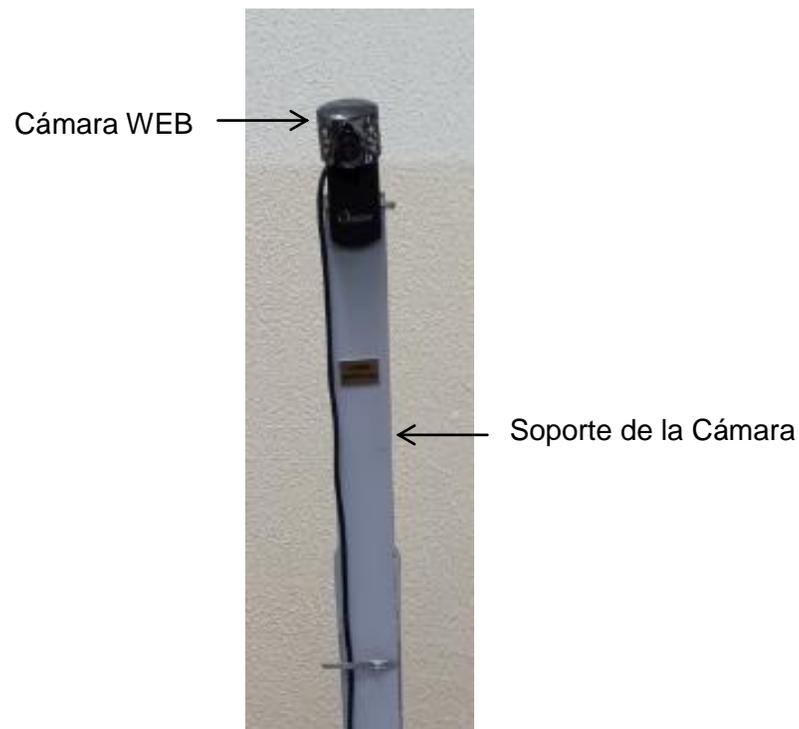
En la estación de visión artificial se va a llevar a cabo el conteo de las piezas clasificadas en el módulo, esto sirve para realizar un control de calidad de las mismas.

La estación de visión artificial está compuesta por:

- **Cámara WEB:** la cámara web es el aditamento que ayuda a la estación a conectarse hacia la computadora en el que se realiza el programa para el control por visión artificial.
- **Soporte de la Cámara:** el soporte de la cámara ayuda a la cámara a mantenerse en el lugar adecuado, para que cumplir con su propósito dentro de la estación.

En la siguiente figura se muestran los componentes de la estación de visión artificial.

### Estación de Visión Artificial



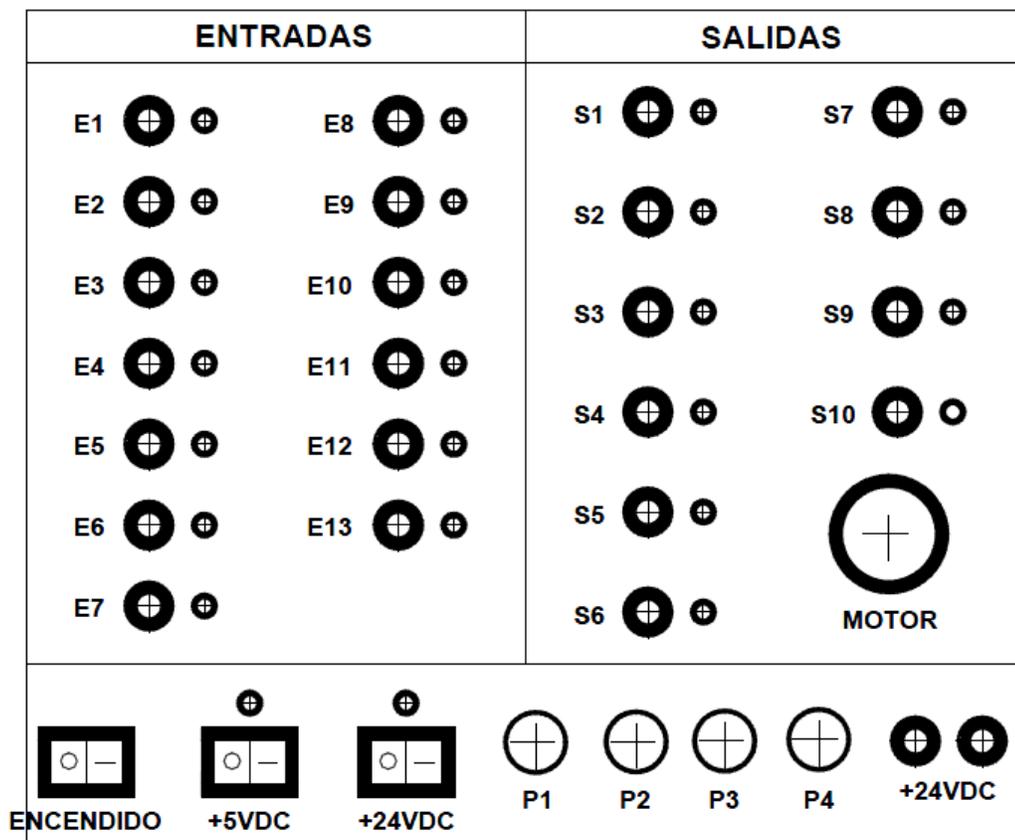
**Fuente: Propia**

## Panel de Control

En el panel de control se van a encontrar todas las salidas y entradas que tiene el módulo y los conectores hacia los diferentes controladores con los que se puede operar.

En la siguiente figura se puede observar la distribución del panel del control.

### Distribución del Panel de Control



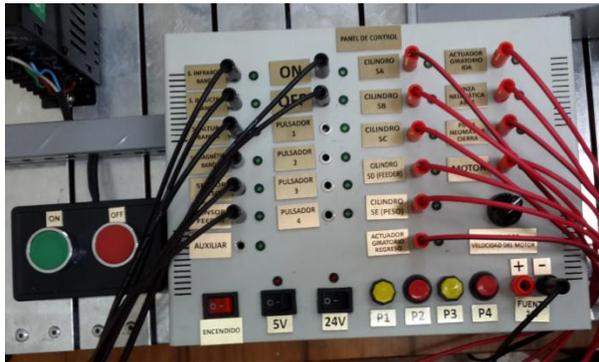
En la siguiente tabla se pueden observar el significado y la descripción de las etiquetas mostradas en la figura anterior.

## Descripción de las etiquetas del Panel de Control

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>ENTRADAS</b>	
E1	Sensor Óptico IR, detecta objetos en banda transportadora
E2	Sensor Inductivo, detecta elementos metálicos en la banda
E3	Sensor Altura, detecta objetos de altura elevada en banda
E4	Sensor Magnético, presencia gripper al inicio de la banda
E5	Sensor de peso, determina el peso para ciertas piezas
E6	Sensor Feeder, determina presencia de objetos en contenedor
E7	Entrada Auxiliar, en caso de implementar una entrada adicional
E8	Señal pulsador ON, detecta pulsador en marcha
E9	Señal pulsador OFF. Detecta pulsador de paro
E10	Señal de pulsador, detecta pulsador P1
E11	Señal de pulsador, detecta pulsador P2
E12	Señal de pulsador, detecta pulsador P3
E13	Señal de pulsador, detecta pulsador P4
<b>SALIDAS</b>	
S1	Cilindro Simple efecto, solenoide A.
S2	Cilindro Simple efecto, solenoide B.
S3	Cilindro Simple efecto, solenoide C.
S4	Cilindro Simple efecto, solenoide D.
S5	Cilindro Simple efecto, solenoide E.
S6	Actuador Giratorio regreso, S1
S7	Actuador Giratorio ida, S2
S8	Pinza neumática, soltar pieza, S1
S9	Pinza neumática, sujetar pieza, S2
S10	Actuador eléctrico, motor, movimiento banda
<b>INTERRUPTORES</b>	
ENCENDIDO	Interruptor de encendido general, fuente AC
+24 VDC	Encendido de la fuente de 24 VDC
+5VDC	Encendido de la fuente 5 VDC (manejo de señales TTL)
MOTOR	Perilla de encendido y control de velocidad del motor DC
<b>PULSADORES</b>	
PI	Pulsador adicional, propósito general
P2	Pulsador adicional, propósito general
P3	Pulsador adicional, propósito general
P4	Pulsador adicional, propósito general
<b>ALIMENTACIÓN</b>	
+24VDC	Salida de Voltaje 24VDC

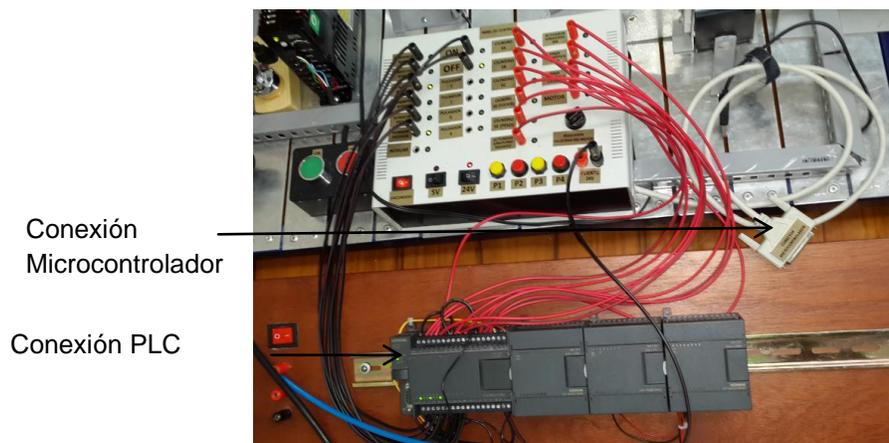
En la siguiente figura se puede observar el panel de control con las etiquetas que se le colocaron al módulo.

### Panel de Control



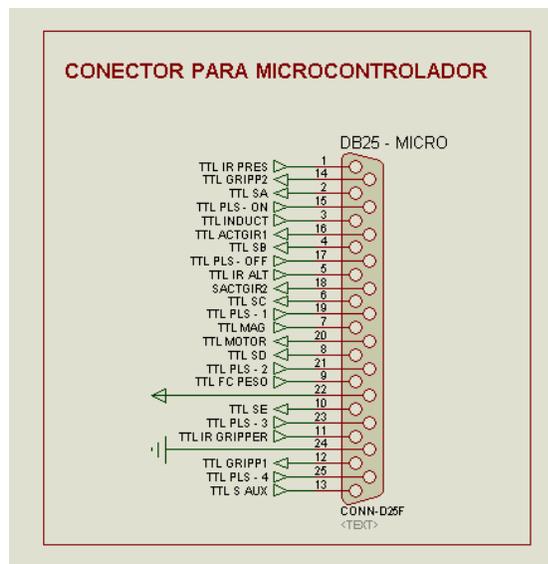
El módulo da la posibilidad de utilizar diferentes tipos de controladores para para su funcionamiento, en la siguiente figura se muestra la conexión del módulo con el PLC y el conector DB25 con el cual se puede realizar las conexiones hacia un microcontrolador.

### Conexión al PLC y Cable de Conexión a Microcontroladores



En la figura anterior se muestra lo que es la distribución de la caja del panel de control, en cual se observan las borneras, en donde se pueden colocar los conectores banana hacia el PLC, en la siguiente figura se puede observar la distribución del DB 25 y en la tabla más adelante cuál sería su equivalente en los pines.

### Conector DB 25 y distribución



### Distribución de los Pines

# Pin	Descripción
1	Sensor Infrarrojo (Presencia Banda)
2	Electroválvula Cilindro SA
3	Sensor Inductivo
4	Electroválvula Cilindro SB
5	Sensor de Altura
6	Electroválvula Cilindro SC
7	Sensor Magnético
8	Electroválvula Cilindro SD
9	Sensor Peso
10	Electroválvula Cilindro SE
11	Sensor Feeder
12	Gripper (P+)
13	Auxiliar
14	Gripper (P-)
15	Pulsador ON
16	Actuador Giratorio (G+)
17	Pulsador OFF
18	Actuador Giratorio (G-)
19	Pulsador 1
20	Motor
21	Pulsador 2
22	5V
23	Pulsador 3
24	Ground
25	Pulsador 4

#### MATERIALES Y EQUIPOS:

- Módulo SPM-V1ZR
- PLC Siemens S7-200
- Conectores Eléctrico (conectar entradas y salidas desde el panel de control al PLC)
- Compresor
- Piezas a Clasificar
- Cable de Comunicación del PLC

- Computador (con el programa correspondiente al PLC para poder realizar el programa y poder cargarlo)

### **PROCEDIMIENTO:**

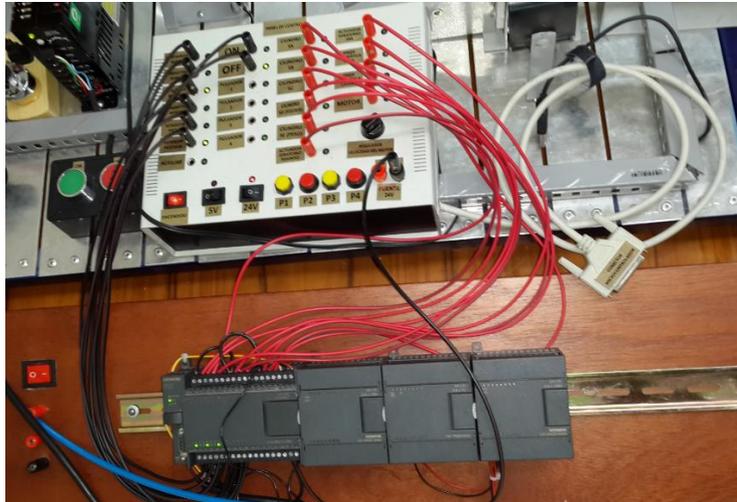


#### **Precaución**

Es importante recordar que antes de encender el modulo se debe verificar que se haya tomado en cuenta todas las precauciones de seguridad especificadas en el manual de usuario, y se tenga la respectiva aprobación del profesor responsable de la práctica.

En esta práctica se pretende que el alumno mediante la utilización de las diferentes entradas y salidas del módulo ubicadas en el panel de control, realice una conexión al PLC (Siemens S7-200) disponible en el laboratorio, para obtener que la maquina cumpla con un ciclo de clasificación cada vez que se presione el botón de ON en el módulo.

- 1) Verificar el estado del módulo y del PLC.
- 2) Describir cual va a ser el proceso que se va a realizar en el módulo.
- 3) Con los conectores eléctricos, conectar las entradas/salidas del panel de control hacia el PLC como se muestra en la figura siguiente.



### Precaución

Recordar que la tierra de la fuente de 24V ubicada en el panel de control de ser conectada a la tierra del PLC para que los sistemas se enlacen y tengan un funcionamiento adecuado.

- 4) Crear un programa de acuerdo al funcionamiento descrito en el paso 2 del procedimiento.
- 5) Conectar a la red eléctrica el SPM-V1ZR y el PLC.
- 6) Con ayuda del cable PPI cargar el programa en el PLC.
- 7) Encender el módulo, la fuente de 24V ubicada en el panel de control y poner en run el PLC.



### Precaución

Recordar que todos los actuadores deben estar en su posición inicial como se indica en la sección 5.1.11 del manual del usuario.

- 8) Dar ON en el módulo y ver como se cumple el un ciclo cada vez que se presione este botón.

**RESULTADOS:****Funcionamiento del SPMV1-ZR para un ciclo**

Fecha:	Grupo #:
Nombres de los Integrantes del Grupo	
Nombre del Profesor Responsable	

- Describir cual es el proceso que realiza el módulo.
- Describir la asignación de variables

**MAPEO DE ENTRADAS**

DIRECCIÓN PLC	SÍMBOLO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
---------------	---------	---------	-------------

**MEMORIAS**

DIRECCIÓN PLC	SÍMBOLO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
---------------	---------	---------	-------------

**MAPEO DE SALIDAS**

DIRECCIÓN PLC	SÍMBOLO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
---------------	---------	---------	-------------

- Programa que se cargó en el PLC para realizar el funcionamiento del SPM-V1ZR

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:****BIBLIOGRAFÍA:****INFORME:**

En el informe el alumno debe incluir objetivos, conclusiones, recomendaciones, Resultados de su auditoria y sustentar teóricamente con tablas o gráficas.

### **5.2.3 Guía de la Practica N°3**

#### **TÍTULO:**

Funcionamiento del SPM-V1ZR en modo automático y conteo de piezas por Visión Artificial

#### **OBJETIVOS:**

El alumno concluido la práctica de ser capaz de realizar lo siguiente:

- Describir cual va a ser el funcionamiento del SPM-V1ZR
- Describir una tabla de Entradas/Salidas del módulo y generar una tabla para la conexión con el PLC.
- Obtener la solución para que el módulo clasifique las diferentes piezas (metal, altura, peso, descarte), cada vez que se presione el botón de ON.
- Realizar un programa con visión artificial que realice el conteo de las piezas en los clasificadores (metal, altura y descarte)

#### **TRABAJO PREPARATORIO:**

- Familiarizarse con el PLC Siemens S7-200 y con la programación del mismo.

- Tener instalado el programa Siemens Simatic S7-200, utilizado para poder programar el PLC.
- Familiarizarse con el programa LabVIEW 2011 para la realización del programa de visión artificial
- Tener instalado el Programa en la computadora con la que se va a trabajar, con todos los toolkit de Visión Artificial.
- Instalar el software para que la cámara web sea reconocida en el computador que se va a utilizar (el instalador del software está en el CD que se entrega con la tesis).

### **MARCO TEÓRICO:**

El marco teórico para la presente práctica será el mismo utilizado en la guía de práctica N° 2.

### **MATERIALES Y EQUIPOS:**

- Módulo SPM-V1ZR
- PLC Siemens S7-200
- Conectores Eléctrico (conectar entradas y salidas desde el panel de control al PLC)
- Compresor
- Piezas a Clasificar
- Cable de Comunicación del PLC

- Computador (con el programa correspondiente al PLC para poder realizar el programa y poder cargarlo, programa adecuado para poder realizar la visión artificial)

## PROCEDIMIENTO:

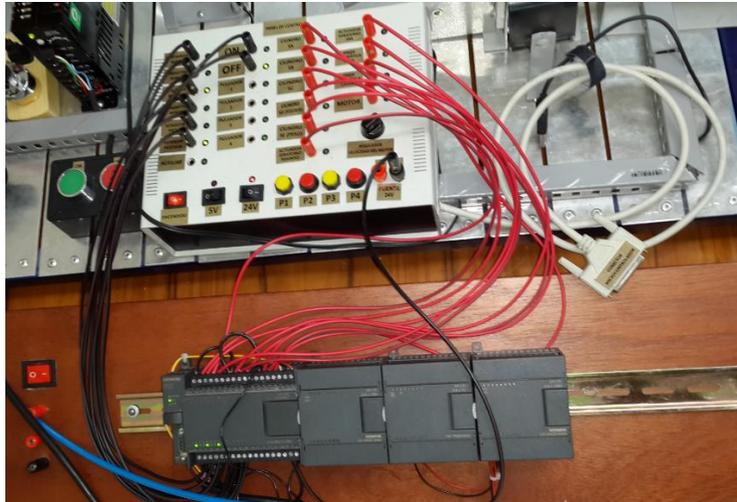


### Precaución

Es importante recordar que antes de encender el modulo se debe verificar que se haya tomado en cuenta todas las precauciones de seguridad especificadas en el manual de usuario, y se tenga la respectiva aprobación del profesor responsable de la práctica.

En esta práctica se pretende que el alumno utilice los conocimientos aprendidos en las practicas anteriores para hacer que el módulo clasifique (4 piezas de diferente tipo) de modo automático, y adicional a esto realice el conteo de las diferentes piezas clasificadas en su respectivo clasificador mediante el uso de Visión Artificial.

- 1) Verificar el estado del módulo y del PLC.
- 2) Describir cual va a ser el proceso que se va a realizar en el módulo.
- 3) Con los conectores eléctricos, conectar las entradas/salidas del panel de control hacia el PLC como se muestra en la figura siguiente.



### Precaución

Recordar que la tierra de la fuente de 24V ubicada en el panel de control de ser conectada a la tierra del PLC para que los sistemas se enlacen y tengan un funcionamiento adecuado..

- 4) Conectar la Cámara WEB al computador.
- 5) Crear un programa para el PLC y un programa de visión artificial, que vaya de acuerdo al funcionamiento descrito en el paso 2 del procedimiento.
- 6) Conectar a la red eléctrica el SPM-V1ZR y el PLC.
- 7) Con ayuda del cable PPI cargar el programa en el PLC.
- 8) Encender el módulo, la fuente de 24V ubicada en el panel de control y poner en run el PLC.



### Precaución

Recordar que todos los actuadores deben estar en su posición inicial como se indica en la sección 5.1.11 del manual del usuario.

- 9) Dar ON en el módulo y al HMI de visión artificial realizado, y ver como se cumple el un ciclo para clasificar la cuatro piezas.

**RESULTADOS:****Funcionamiento del SPMV1-ZR para un ciclo**

Fecha:	Grupo #:
Nombres de los Integrantes del Grupo	
Nombre del Profesor Responsable	

- Describir cual es el proceso que realiza el módulo.
- Describir la asignación de variables

**MAPEO DE ENTRADAS**

DIRECCIÓN PLC	SÍMBOLO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
---------------	---------	---------	-------------

**MEMORIAS**

DIRECCIÓN PLC	SÍMBOLO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
---------------	---------	---------	-------------

**MAPEO DE SALIDAS**

DIRECCIÓN PLC	SÍMBOLO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
---------------	---------	---------	-------------

- Programa que se cargó en el PLC para realizar el funcionamiento del SPM-V1ZR.
- Colocar el programa de Visión Artificial y el HMI junto con una breve explicación de lo que realiza el programa.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:****BIBLIOGRAFÍA:****INFORME:**

En el informe el alumno debe incluir objetivos, conclusiones, recomendaciones, Resultados de su auditoria y sustentar teóricamente con tablas o gráficas.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 6.1 Análisis Económico/Financiero

En esta sección se va a realizar unos análisis del costo del SPM-V1ZR y una comparación del mismo con los módulos FESTO existentes en el laboratorio de AIM.

##### 6.1.1 Costo de los Materiales y Construcción

En la tabla 97 se observa el costo de todos los materiales y el costo construcción de los diferentes componentes de cada estación para el SPM-V1ZR.

**Tabla 97. Costo de los Materiales y Construcción**

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Final
<b>Estación Cargador</b>			
1	Tocho de Grilon Negro	10,08	10,08
1	Tocho de Acero Inoxidable	3,10	3,10
1	Tocho de Grilon Blanco	7,50	7,50
4	Piezas Plásticas	3,00	12,00
4	Piezas Metálicas	7,00	28,00
2	Piezas de Peso	2,00	4,00
4	Piezas de Altura	3,00	12,00
1	Cilindro Neumático	59,76	59,76
1	Soporte del Cilindro	10,60	10,60
1	Alimentador	8,00	8,00
1	Sensor de Presencia	33,67	33,67
1	Contenedor de Piezas	60,10	60,10
<b>Estación de Pesado</b>			

Continúa.....

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Final</b>
1	Balanza	67,00	67,00
1	Cilindro Neumático	59,76	59,76
1	Rampa de Desalojo	20,00	20,00
1	Soporte del Cilindro	10,60	10,60
1	Sensor Peso	1,98	1,98
<b>Estación Pick &amp; Place</b>			
1	Gripper Neumático	94,38	94,38
1	Actuador Giratorio Neumático	117,36	117,36
1	Bancada Actuador Neumático	53,00	53,00
1	Brazo de Giro	7,00	7,00
1	Sensor Magnético	1,98	1,98
<b>Banda Transportadora</b>			
1	Estructura Banda Transportadora	150,00	150,00
4	Rodamientos	7,50	30,00
1	Motor	135,00	135,00
1	Soporte del Motor	10,00	10,00
1	Acople Motor-Banda	22,32	22,32
3	Cilindros Neumáticos	59,76	179,28
3	Soporte del Cilindro	10,60	31,80
3	Clasificadores	10,00	30,00
3	Rampas de Clasificación	15,00	45,00
1	Sensor Infrarrojo	72,00	72,00
1	Sensor Altura	13,34	13,34
1	Sensor Inductivo	15,60	15,60
6	Soporte Sensores	4,00	24,00
<b>Estación de Distribución de Aire Comprimido</b>			
5	Electroválvulas para Cilindro Simple Efecto	35,33	176,65
2	Electroválvulas para Cilindro Doble Efecto	59,54	119,08
1	Manifold (para 8 electroválvulas)	75,19	75,19
2	Soportes Manifold	2,00	4,00
1	Regulador de Presión	25,20	25,20
1	Válvula Manual	10,20	10,20
12	Tubo de Poliuretano de 6mm	0,76	9,12
<b>Estación de Visión Artificial</b>			

Continúa.....

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Final</b>
1	Cámara WEB	13,39	13,39
1	Soporte de la Cámara	15,00	15,00
<b>Extras</b>			
2	Canaletas Color Gris 25x25	4,35	8,70
1	Pulsador al Ras Metálico Rojo	1,42	1,42
1	Pulsador al Ras Metálico Verde	1,42	1,42
2	Bloque de Contactos	0,54	1,08
1	Construcción de Placa Panel de Control	99,28	99,28
1	Plancha de Aluminio y Cortes	77,68	77,68
1	Útiles de Ferrería	50,00	50,00
1	Fuente de Poder de la Estación	95,00	95,00
1	Etiquetas	30,00	30,00
1	Varios	57,20	57,20
1	Construcción Bancada	40,00	40,00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>2.321,43</b>
		<b>IMPUESTO S 12%</b>	<b>278,57</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>2.600,00</b>

**Fuente: Propia**

### **6.1.2 Comparación con Módulos Existentes**

El costo total de diseño, construcción, instalación y puesta en marcha del SPM-V1ZR es de \$ 2600, de acuerdo a investigaciones previas, comprar el kit FESTO (Estación Almacén Apilador, Estación Cinta Transportadora, Estación Manipulación y Compresor) cuesta aproximadamente \$ 5000, lo que indica que el módulo está dentro de un valor considerado excelente, tomando en cuenta que el valor del módulo podría disminuir conociendo ciertas correcciones que se debieron realizar y que el módulo realiza el proceso de las tres estaciones FESTO en conjunto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se finalizó con la implementación de los sistemas mecánicos, eléctrico/electrónico y de control, constituyendo un equipo Mecatrónico, mediante la aplicación de diferentes técnicas de diseño de ingeniería, lo cual complementa los conocimientos adquiridos durante el periodo de formación académica de la carrera.
- Se realizó el Manual de Usuario y Guías de Prácticas de Laboratorio que brindan a los usuarios la información necesaria para operar correctamente el equipo, resolver problemas que se podrían generar y brindar soporte para sacar el mayor provecho del mismo en el desarrollo de sus diferentes aplicaciones.
- La presión óptima de trabajo probada para que los elementos neumáticos del SPM-V1ZR trabajen correctamente es de 1,5 bar (22,05 psi), lo cual se regula al ingreso de aire comprimido al módulo. Para asegurar que la presión sea constante cuando se implemente el diseño de la red de aire comprimido de laboratorio se requiere un compresor con potencia mínima de 1.4 Hp y 30[cfm].
- En los actuales momentos el laboratorio de AIM tiene un compresor (DARI Spider 0.75Hp) que podría ser utilizado para alimentar al SPM-V1ZR, pero no es el óptimo en el caso de alimentar varias estaciones del laboratorio a la vez.
- El diseño de varios actuadores neumáticos y acoplamientos se ha realizado en base al peso de las piezas que serán manipuladas en el sistema.

Como se maneja variedad de peso, se ha considerado tomar la de mayor valor (0.18kg) en algunos casos y en otros la suma total de todo el kit de piezas cilíndricas (2.06kg). Otro de los puntos importantes fue tomar un factor de diseño de 1.3 para varios elementos neumáticos en base a que ya fueron probados y pesados.

- Se implementó una fuente con varios valores de alimentación de voltaje DC (5, 12, 24 Vdc) y amperajes a suministrar (0,120/ 5/ 1.2 A) para brindar mayor flexibilidad de uso al módulo, es decir, que los usuarios puedan utilizar elementos eléctrico/electrónicos y controladores que operen en estos valores de voltaje. La fuente tiene protección contra sobrecorrientes y cortos circuitos, pero adicional a esto se ha precautelado con mayor seguridad implementando filtros RC para cada una de ellas.

- Al existir sensores y actuadores con diversidad en los voltajes de alimentación, se decidió implementar en los acondicionamientos de señal dispositivos integrados electrónicos que permitan regularizar todas las alimentaciones eléctricas de sensores y actuadores a 24Vdc.

- Uno de los factores claves para brindar al usuario flexibilidad en la operación fue diseñar un panel de control con su respectiva placa electrónica donde se realice el acoplamiento de señales entre 24Vdc y 5Vdc mediante optoacopladores NPN que contribuyan también a separar eléctricamente las señales en el caso de un corto circuito.

- Uno de los factores más importantes que se corrigió durante las pruebas en vacío del SPM-V1ZR fue la implementación de reguladores de aire en la

mayoría de actuadores neumáticos para reducir las vibraciones y movimientos bruscos. La corrección realizada no significa un fallo en el diseño, más bien corresponde a un tema de disponibilidad de equipos neumáticos en el mercado local, por el cual todos los equipos del SPMV1-ZR poseen características superiores a las de diseño.

- Desde la perspectiva de la optimización del espacio para ubicar todos los componentes eléctrico/electrónicos y mecánicos en la bancada fue necesario recurrir a sistemas de agrupación de elementos como el manifold para las electroválvulas de los actuadores lineales y canaletas para los cables eléctricos de sensores y actuadores.

- Durante las pruebas con carga se decidió implementar un mecanismo guía- anti giro en los acoples de los cilindros neumáticos de la banda transportadora encargados de clasificar las piezas, para permitir que el sistema de clasificación sea 100% eficiente y no generar ningún mal funcionamiento. Además, fue necesario modificar el diseño del alimentador en la estación cargador para que las piezas caigan en posición vertical una tras otra después de ser alimentadas a la estación de pesado.

- Durante las pruebas de automatización del SPM-V1ZR fue clave la programación de varios temporizadores on delay para brindar sincronización al sistema en cuanto la activación de los actuadores neumáticos y eléctrico/electrónicos.

- La luz del medio ambiente genera interferencia para el reconocimiento de piezas en la visión artificial, por tanto, es necesario implementar patrones de

reconocimiento de color sobre las piezas para la creación de los templates que permiten comparar los patrones mediante la cámara web.

- El SPM-V1ZR posee varios recursos que brindan flexibilidad al usuario y le permitirá idear nuevas prácticas y modificaciones al sistema ya que se ha contemplado en el diseño del equipo implementar varias entradas y salidas auxiliares para que se puedan generar mejoras continuas al módulo.

- Las pruebas de confianza determinan que las piezas de color son las que menor error presentan con un 29,1%, seguida de las piezas metálicas con 41,2% de error, piezas de peso con 45,04% y finalmente las piezas de altura con 46,29 % de error. Lo que indica que si se requiere una eficiencia del 90% en el rendimiento del SPM-V1ZR se recomienda utilizar las piezas de color.

- Las pruebas de confianza determinan un alto porcentaje de error del 49,35% cuando se realizan las pruebas generales utilizando las 14 piezas del módulo, provocándose la mayor parte de complicaciones en la estación cargador debido a que las piezas se traban en el contenedor o Feeder. Así mismo, si se requiere una eficiencia del 90% en el rendimiento del SPM-V1ZR se recomienda utilizar 4 piezas, es decir, 1 pieza por característica, debido a que las pruebas ofrecen un error del 29% que es significativamente menor al mencionado en un principio.

- El SPM-V1ZR fue diseñado sin la necesidad de producir ganancias o utilidad cuantificable, pero tendrá un valor agregado que se verá reflejado en el aprendizaje de cada estudiante que haga uso del módulo. Por tal motivo, al ser un proyecto financiado al 100% por recursos propias de los autores, el capital

toma el mismo valor del costo total del proyecto, lo cual da como resultado un Valor Actual Neto VAN igual a 0, índice de relación beneficio-costos igual a 1 y una tasa interna de retorno TIR del 0% que se traduce en la viabilidad positiva del proyecto sin generación de ganancias pero tampoco pérdidas, es decir, tiene un punto de equilibrio neutro.

### **Recomendaciones**

- Implementar el diseño de la red de aire comprimido y red eléctrica para el laboratorio de AIM para garantizar la disponibilidad de aire comprimido a 6 [bar] y energía eléctrica [110VAC, 60Hz], lo que permitirá al estudiante realizar varias prácticas en distintos módulos a la vez, lo que puede garantizar la finalización de prácticas de todos los módulos en un semestre y generar enriquecimiento en los conocimientos de automatización del usuario.
- En el caso de la pérdida de alguna pieza o componente mecánico del módulo, referirse al plano en ANEXO A para la respectiva fabricación, caso contrario el módulo no funcionara de la manera adecuada.
- En el caso que se detecte algún dispositivo eléctrico/electrónico en mal estado, reemplazarlo con uno de las mismas características indicadas en el apartado de lista de componentes de cada circuito, caso contrario no se garantiza el correcto funcionamiento de sensores y panel de control.
- Antes del inicio de cada semestre realizar una lista de repuestos para el módulo, garantizando de esta manera la operatividad durante todo el periodo.

- En el caso de requerir realizar una modificación en la ubicación de las distintas estaciones, referirse al manual del usuario para identificar las respectivas sugerencias y advertencias.
- Al finalizar cada semestre realizar un plan de posibles modificaciones y mejoras continuas para el módulo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barambio, D. M. (Septiembre de 2003). Sistema de visión artificial. Italia.
2. *Capalex*. (2013). Obtenido de <http://www.capalex.com.uk>
3. Carrobles García Martín. (2010). Manual de mecánica industrial.
4. Copco, A. (2012). *Compressed air manual*.
5. Ebel, F. (2008). *Actuadores neumáticos*. FESTO.
6. ESPE. (2012). *Carrera de ingeniería mecatrónica*. Obtenido de [www.espe.edu.ec](http://www.espe.edu.ec)
7. Gallardo Hidalgo. (Noviembre de 2011). Diseño e implementación de un sistema modular didáctico para el control y monitoreo de un proceso de tapado de café. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.
8. Guillen, A. (1999). *Introducción a la neumática*. Marcombo: Alfaomega.
9. Hesse, S. (2002). *Aire comprimido*. FESTO.
10. Huttner, A. (2007). *Enseñar con MecLab*. FESTO.
11. MecLab. (2010). Técnica para escuelas de enseñanza general y bachilleratos tecnológicos. FESTO.
12. MindMan. (2012). Standar cylinders. *Technical Data*. MindMan.
13. MindMan. (2013). Catálogo pinza neumática angular. MindMan.
14. Navarra, U. (2008). *Cálculo de instalaciones neumáticas*.
15. Nisbett Budynas, R. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mc Graw Hill.
16. *NTH*. (2013). Obtenido de <http://www.nth.com.ar>
17. Nunez Jácome. (Octubre de 2011). Diseño e implementación de un módulo didáctico para controlar una prensa neumática con sistema de

carga-descarga automática, utilizando PLC. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.

18. Robert Norton. (2008). *Diseño de máquinas*. Pearson.
19. Rojas Rojas. (2006). *Diseño asistido por computadora*.
20. SMC. (2013). *Cátalogo pinza neumática angular*. SMC.
21. Solé, A. (2007). *Neumática e hidráulica*. México: Alfaomega.
22. SR Majumdar. (1998). *Sistemas neumáticos-principios y mantenimiento*. México.
23. *Sumiteccr*. (2013). Obtenido de <http://www.sumiteccr.com>
24. Tixi Marco. (Abril de 2009). *Configuración e implementación de un sistema de control aplicando la tecnología Bluetooth con PLC*. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.

## **ANEXOS**

- A. Planos mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos y diagrama de bloques Labview
- B. Resultados estudio CAE/Solidworks
- C. Catálogos y Datasheets

# ANEXOS