



**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:**

**MERA MOYA MARÍA VICTORIA  
MORA GUEVARA MIGUEL ANDRÉS**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO  
DIDÁCTICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA  
MANIPULACIÓN DE PIEZAS EN BASE A SU COLOR PARA EL  
LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA”**

**DIRECTOR: ING. HERNÁN LARA P.  
CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRÍA Y.**

**SANGOLQUÍ, DICIEMBRE 2013**

## **CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DIDÁCTICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA MANIPULACIÓN DE PIEZAS EN BASE A SU COLOR PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA” fue realizado en su totalidad por María Victoria Mera Moya y Miguel Andrés Mora Guevara, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

---

**Ing. Hernán Lara**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Luis Echeverría**

**CODIRECTOR**

Sangolquí, 17 de Diciembre de 2013

## **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DIDÁCTICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA MANIPULACIÓN DE PIEZAS EN BASE A SU COLOR PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA”

ELABORADO POR:

---

María Victoria Mera Moya

---

Miguel Andrés Mora Guevara

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

---

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

Sangolquí, 17 de Diciembre de 2013

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros: María Victoria Mera Moya y Miguel Andrés Mora Guevara

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 AUTOMÁTICO DIDÁCTICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA MANIPULACIÓN DE PIEZAS EN BASE A SU COLOR PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

---

María Victoria Mera Moya

---

Miguel Andrés Mora Guevara

Sangolquí, 17 de Diciembre 2013

## **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.

***MARÍA VICTORIA MERA MOYA***

## DEDICATORIA

Por la compañía de su luz, desde la más tenue sombra hasta las más atroces de las oscuridades.

Por el abrazo amorosamente eterno cuando lo necesitaba y que jamás lo han negado.

Por su sabiduría nacida de luchas y sacrificios, alimento de las mías.

Porque todo lo que soy es una extensión de ustedes, mis más grandes maestros.

A ustedes, *Miguel y Liliana*, mis padres.

A Ti mi Hermanita Chiquita que siempre has sido mi motivo de lucha y vivo ejemplo de que jamás existirá amor más puro e incondicional que el de una Hermana.

A todos mis Angelitos y Guerreros que cada día me acompañaron desde el cielo, o desde la tierra con una oración y ejemplo de perseverancia en la lucha. Carito, Soñita, Bryan y Kevin, a ustedes mi mayor admiración.

A la Fundación Jóvenes Contra el Cáncer por permitirme formar parte de esta gran familia que día a día ratifica que el servicio y entrega de corazón pueden lograr hasta lo imposible.

***MIGUEL ANDRÉS MORA GUEVARA***

## **AGRADECIMIENTO**

Al mirar atrás, y ver el camino que he recorrido hasta cumplir esta meta, la palabra que mejor define mis sentimientos es GRACIAS.

GRACIAS a mi Padre Dios por el regalo de la vida.

GRACIAS a mi Madre Inmaculada por ser mi guía y mi protectora.

GRACIAS a mis padres por su ejemplo, su esfuerzo, sus consejos, su ayuda incondicional, por creer en mí... En definitiva, gracias por su amor.

GRACIAS a mis hermanos por su preocupación y su apoyo.

GRACIAS a mi tía Michita porque durante mi vida universitaria, ella me recibió en su casa como a una hija y se convirtió en mi segunda madre.

GRACIAS a mis amigos incondicionales Saaid, Maggy y Diego por estar siempre a mi lado, apoyándome y animándome a seguir a delante en mis proyectos.

Y finalmente GRACIAS a todos quienes hicieron de este sueño, una realidad.

**MARÍA VICTORIA MERA MOYA**

## **AGRADECIMIENTO**

Desde mi inicio en este camino de formación hasta el día de hoy, han sido muchas las personas que han sabido aportar con un granito de arena, y sobre todo han sido mi ejemplo e inspiración para salir adelante.

A mi Tío Hugo, porque gracias a tu ejemplo y tus pasos hoy formo parte de la familia Politécnica. A mis amigos y compañeros que caminaron junto a mí, en este largo camino lleno de anécdotas, amanecidas, buenos y amargos momentos, triunfos y derrotas, pero sobre todo experiencias de vida que permanecerán.

A un gran maestro, por toda su entrega, tiempo y conocimientos impartidos, por su humildad ante sus logros y exigencia, Ing. Hernán Lara.

A todos quienes de una u otra manera hicieron que este logro no sea solo mío, sino, sea un logro alcanzado gracias al trabajo en equipo.

***MIGUEL ANDRÉS MORA GUEVARA***



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I

1.1.	Antecedentes .....	2
1.1.1.	Antecedentes institucionales .....	2
1.1.2.	Antecedentes de la automatización .....	3
1.1.3.	Antecedentes de almacenamiento .....	4
1.2.	Justificación .....	4
1.2.1.	Respecto a la Institución .....	4
1.2.2.	Respecto a su aplicación didáctica .....	5
1.2.3.	Respecto a su aplicación industrial .....	6
1.3.	Importancia .....	7
1.3.1.	Importancia de los sistemas de almacenamiento .....	7
1.3.2.	Respecto a la vinculación con la colectividad .....	9
1.4.	Objetivos .....	10
1.4.1.	Objetivo General .....	10
1.4.2.	Objetivos Específicos .....	11

### CAPÍTULO II

<b>MARCO TEÓRICO</b> .....		<b>12</b>
2.1.	Descripción General del Proyecto .....	12

2.1.1.	Descripción del Proceso.....	12
2.2.	Descripción de los Elementos del Equipo.....	16
2.2.1.	Actuadores: .....	16
2.2.1.1.	Cilindros Neumáticos: .....	17
2.2.1.2.	Gripper Neumático: .....	19
2.2.1.3.	Motor DC (Corriente Continua): .....	21
2.2.1.4.	Foco Led indicador para Tablero de Control:.....	23
2.2.2.	Sensores: .....	23
2.2.2.1.	Sensor de Color RGB .....	23
2.2.2.2.	Sensores de Posición.....	25
2.2.2.3.	Sensor de Presencia .....	27
2.2.3.	Elementos de Control.....	28
2.2.3.1.	Microcontrolador Arduino:.....	28
2.2.3.2.	PLC: .....	29
2.2.4.	Rodamientos.....	31
2.2.4.1.	Características y Clasificación de los Rodamientos .....	31
2.2.4.2.	Selección de Rodamientos .....	34
2.3.	Procesos industriales .....	36
2.3.1.	Aplicaciones del Equipo .....	36
2.3.1.1.	Sistemas de Manipulación .....	36
2.3.1.2.	Sistemas de Almacenamiento .....	38

2.4.	Técnicas para el Análisis de Alternativas y Soluciones de Diseño .....	42
2.4.1.	Benchmarking .....	43
2.4.1.1.	Tipos de Benchmarking: .....	44
2.4.2.	Análisis Morfológico .....	45
2.4.2.1.	Pasos para realizar el Análisis Morfológico: .....	46

### **CAPÍTULO III**

<b>DISEÑO DE LOS SISTEMAS</b> .....	<b>49</b>
3.1. Sistemas: .....	49
3.1.1. Sistema Mecánico .....	49
3.1.1.1. Bancada: .....	50
3.1.1.2. Módulo de Manipulación: .....	51
3.1.1.3. Módulo de almacenamiento: .....	52
3.1.1.4. Módulo dispensador: .....	53
3.1.1.5. Elementos neumáticos: .....	54
3.1.2. Sistema Electrónico/Eléctrico .....	54
3.1.2.1. Módulo de Manipulación .....	55
3.1.3. Sistemas De Control .....	57
3.2. Definición de parámetros fundamentales .....	58

3.2.1.	Definición de parámetros dimensionales .....	59
3.3.	Normativas Técnicas.....	59
3.4.	Alternativas y Soluciones.....	60
3.4.1.	Análisis de posibles alternativas .....	60
3.4.1.1.	Desagregación del Sistema .....	60
3.4.1.2.	Identificación, Selección de parámetros y Construcción de la Matriz .....	61
3.4.1.3.	Identificación de Ventajas y Desventajas .....	63
3.4.1.4.	Ampliación de la Matriz (Matriz de Criterios Ponderados) .....	79
3.4.1.5.	Selección de las Soluciones .....	82
3.5.	Diseño del Sistema Mecánico .....	83
3.5.1.	Consideraciones Generales de Diseño .....	83
3.5.2.	Diseño del Módulo de Manipulación.....	86
3.5.2.1.	Diseño del eje de giro. ....	86
3.5.2.2.	Diseño de los mecanismos de Sujeción.....	87
3.6.3.3.	Diseño del Sistema de Alimentación Neumática.....	112
3.6.3.4.	Dimensionamiento y Selección de Actuadores Lineales.....	123
3.5.3.	Diseño y Selección del Gripper .....	136
3.5.4.	Diseño de Dedos .....	139
3.5.4.1.	Cálculos de fuerza aplicada sobre la pieza .....	139
3.5.4.2.	Dedos de la pinza.....	140

3.5.5.	Diseño de la Matriz de Almacenamiento Semi - Circular .....	149
3.5.6.	Diseño y Selección de Rodamientos .....	154
3.5.7.	Elaboración de Planos Mecánicos.....	155
3.6.	Diseño del Sistema Eléctrico/Electrónico.....	155
3.6.1.	Diseño del Sistema de Alimentación Eléctrica.....	155
3.6.2.	Dimensionamiento de Protecciones: .....	158
3.6.2.1.	Fusible S2: .....	160
3.6.3.	Dimensionamiento de Cables: .....	160
3.6.4.	Dimensionamiento y Selección de Sensores.....	162
3.6.4.1.	Sensor de Color.....	162
3.6.4.2.	Sensores de Posición.....	165
3.6.4.3.	Sensor de Presencia .....	169
3.6.5.	Dimensionamiento y Selección de Actuadores Eléctricos.....	171
3.6.5.1.	Actuador de Giro .....	171
3.6.5.1.	Selección de Válvulas y Elementos Neumáticos Auxiliares .....	174
3.6.6.	Elaboración de Planos Eléctricos .....	182
3.7.	Diseño del Sistema de Control .....	182
3.7.1.	Algoritmos de Control .....	182
3.7.1.1.	Algoritmo de Control General .....	182
3.7.1.2.	Algoritmo de Control para Sensor de Color .....	184

**CAPÍTULO IV**

<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>185</b>
4.1. Pruebas de Funcionamiento .....	185
3.6.6.        4.1.1. Análisis Estadístico del equipo .....	185
4.1.1.1. Carta De Control np.....	186
4.2.        Calibración de sensor de color .....	191
4.3.        Análisis Económico .....	194

**CAPÍTULO V**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>198</b>
5.1. Conclusiones .....	198
5.2. Recomendaciones.....	204
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>206</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>208</b>
1.        Guías para la realización de prácticas .....	208
2.        Manual de usuario .....	208
3.        Planos eléctricos del equipo .....	208
4.        Planos mecánicos del equipo .....	208
5.        Catálogos y Datasheets .....	208

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema de un sistema cerrado. ....	12
Ilustración 2. Algoritmo General de Funcionamiento de la Estación de Manipulación y Almacenamiento. ....	14
Ilustración 3. Grados de libertad de un brazo cilíndrico .....	15
Ilustración 4. Área de trabajo de un brazo cilíndrico .....	16
Ilustración 5. Ejes Lineales (Serie STW) - Doble Vástago .....	18
Ilustración 6. Cilindro con vástagos paralelos (función antigiro).....	19
Ilustración 7. Ejemplos de Grippers.....	21
Ilustración 8. Gripper Neumático Angular (Serie HFY) - Doble Efecto. ....	21
Ilustración 9. Motor de Corriente Continua. ....	22
Ilustración 10. Principio de Funcionamiento motor DC .....	22
Ilustración 11. Focos Led Indicador Schneider Electric .....	23
Ilustración 12. Sensor de Color RGB TCS230 YwRobot.....	24
Ilustración 13. Diagrama de Funcionamiento de un Sensor RGB TCS230.....	25
Ilustración 14. Sensor electrónico de estado sólido para cilindros neumáticos. ....	26
Ilustración 15. Final de carrera. ....	27
Ilustración 16. Sensor de presencia Sharp 2-10cm. ....	28
Ilustración 17. Microcontrolador Arduino MEGA. ....	29
Ilustración 18. PLC Logo – Siemens. ....	29
Ilustración 19. Construcción de Rodamientos. ....	32
Ilustración 20. Clasificación de los Rodamientos.....	33
Ilustración 21. Sistema de Manipulación.....	37
Ilustración 22. Sistema de Almacenamiento Vertical.....	39

Ilustración 23. Procedimiento para Realizar Análisis Morfológico.....	46
Ilustración 24. Elementos del Sistema Mecánico .....	50
Ilustración 25. Bancada.....	51
Ilustración 26. Módulo de manipulación .....	52
Ilustración 27. Módulo de almacenamiento.....	53
Ilustración 28. Módulo Dispensador.....	53
Ilustración 29. Diagrama de Bloques del Funcionamiento del Sistema Mecánico....	54
Ilustración 30. Elementos del Sistema Eléctrico/Electrónico. ....	55
Ilustración 31. Funcionamiento del Sistema Electrónico/Eléctrico .....	57
Ilustración 32. Elementos del sistema de control.....	57
Ilustración 33: Lazo de Sistema de Control.....	58
Ilustración 34. Sistema General: Estación de Manipulación y Almacenamiento .....	60
Ilustración 35. Sub Función Fabricar Bancada .....	60
Ilustración 36. Sub Función Fabricar Módulo Dispensador .....	61
Ilustración 37. Sub Función Fabricar Módulo de Manipulación .....	61
Ilustración 38. Sub Función Fabricar Módulo de Almacenamiento .....	61
Ilustración 48. Fuerzas que intervienen en el Soporte 1. ....	88
Ilustración 49. División en Secciones del Soporte 1.....	90
Ilustración 50. Diagrama de Cuerpo Libre del Soporte 1. ....	91
Ilustración 51. Fuerzas que intervienen en el soporte 2.....	95
Ilustración 52. Fuerzas que intervienen en el soporte 3.....	101
Ilustración 53: Motor BOSCH 24V 6W. ....	107
Ilustración 54. Diagrama de Fase.....	113
Ilustración 55. Diagramas P-v y T-s de un Ciclo de Carnot (Ideal).....	115



Ilustración 56. Compresor DARI Spider 25/1850. ....	122
Ilustración 57. Viga en voladizo. ....	124
Ilustración 58. Viga en voladizo con carga distribuida. ....	125
Ilustración 59. Tipos de montaje y carga lateral segura para cada diámetro de vástago. ....	129
Ilustración 60. Diámetros y carreras para cilindros antiretorno de doble vástago. ...	129
Ilustración 61. Fuerzas que intervienen en el actuador lineal antigito (Vertical). ...	132
Ilustración 62. Diámetros y carreras para cilindros antiretorno de doble vástago. ...	134
Ilustración 63. Tipos de montaje y carga lateral segura para cada diámetro de vástago. ....	134
Ilustración 64. Diagrama para Dimensionamiento del Gripper. ....	139
Ilustración 65. Diseño de dedos. ....	141
Ilustración 66. Pinzas y sensores. ....	142
Ilustración 67. Diagrama para Verificación de Momentos. ....	148
Ilustración 68. Tipos y Características de Rodamientos. Ilustración. ....	159
Ilustración 69. Arreglos de Rodamientos. ....	154
Ilustración 70. Sistema de Alimentación Eléctrica para Estación de Manipulación y Almacenamiento. ....	156
Ilustración 71. Fuente de Alimentación Conmutada 24V 10A. ....	157
Ilustración 72. Fusibles Cilíndricos Tipo gG. ....	159
Ilustración 73. Protección mediante Fusible para Logo 12/24 RC. ....	160
Ilustración 74. Cables Serie ST. ....	161
Ilustración 75. Cables Serie AWM. ....	161
Ilustración 76. Cables Serie AWM. ....	162

Ilustración 77. Cables Serie AWM. ....	162
Ilustración 78. Vista Superior CMOS TCS230.....	163
Ilustración 79. Diagrama de Bloques: Funcionamiento TCS230. ....	164
Ilustración 80. Fotografía Real del Sensor de Color Implementado.....	164
Ilustración 81. Circuito Integrado Serie U18.....	166
Ilustración 82. Fotografía Real del Sensor Magnético de Efecto Hall implementado. ....	166
Ilustración 83. Curva Típica Sensor Magnético Serie U18. ....	167
Ilustración 84. Tipos de Conexión Sensores Serie DS1.....	168
Ilustración 85. Sensores de Estado Sólido Serie DS1.....	168
Ilustración 86. Sensor de Presencia Sharp GP2Y0D810Z0F.....	170
Ilustración 87. Diagrama de Conexión Sensor Sharp GP2Y0D810Z0F.....	170
Ilustración 88. Motor BOSCH CHP 24V.....	173
Ilustración 89. Especificaciones Técnicas Motor BOSCH CHP 24V. ....	173
Ilustración 90. Curva Característica Motor BOSCH CHP 24V.....	174
Ilustración 91. Válvula Solenoide 5/3 Serie 4V200.....	176
Ilustración 92. Válvula Solenoide 3/2 Serie 4V200.....	177
Ilustración 93. Válvula Solenoide 3/2 Serie 4V300.....	178
Ilustración 94. Válvula Solenoide 2/2 2P025-06. ....	179
Ilustración 95. Válvula de Mano Serie HSV08.....	180
Ilustración 96. Filtro regulador de Presión Serie GFR200.....	180
Ilustración 97. Regulador de Flujo Serie ASC-08. ....	181
Ilustración 98. Algoritmo de Control General .....	183
Ilustración 99. Algoritmo de Control Para Sensor de Color. ....	184

Ilustración 100. Espectro RGB .....	191
Ilustración 101. Respuesta Espectral del Sensor RGB TCS230. ....	192
Ilustración 102. Toma de Datos - Piezas Azules vs. Variable RGB: Blue. ....	192
Ilustración 103. Toma de Datos - Piezas Rojas vs. Variable RGB: Blue. ....	193
Ilustración 104. Toma de Datos - Piezas Verdes vs. Variable RGB: Green.....	193

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Equipos de Laboratorio AIM.....	2
Tabla 2. Funciones Generales: Fabricar Estación	
Manipulación Almacenamiento.....	61
Tabla 3. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función: Fabricar Bancada .....	64
Tabla 4. Matriz de Ventajas y Desventajas - Manufacturar Placa de Sujeción .....	68
Tabla 5. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función:	
Fabricar Módulo de Manipulación.....	70
Tabla 6. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función:	
Fabricar Módulo de Almacenamiento.....	77
Tabla 7. Matriz de Criterios Ponderados - Función: Fabricar Bancada.....	79
Tabla 8. Matriz de Criterios Ponderados - Función:	
Fabricar Módulo Dispensador.....	79
Tabla 9. Matriz de Criterios Ponderados - Fabricar Módulo de Manipulación .....	80
Tabla 10. Matriz de Criterios Ponderados - Función:	
Fabricar Módulo de Almacenamiento.....	81
Tabla 11. Análisis Soporte 1 .....	89
Tabla 12. Datos Referencia para Soporte 1.....	90
Tabla 13. Cargas y Sujeciones Soporte 1.....	92
Tabla 14. Detalles de Carga Soporte 1.....	92
Tabla 15. Propiedades de Material Soporte 1 .....	93
Tabla 16. Datos Referencia Soporte 2 .....	95
Tabla 17. Análisis Soporte 2 .....	96
Tabla 18. Propiedades de Material Soporte 2 .....	96

Tabla 19. Cargas y Sujeciones Soporte 2.....	97
Tabla 20. Detalle de Cargas Soporte 2.....	97
Tabla 21. Resultados del Estudio Soporte 2 .....	98
Tabla 22. Datos Referencia Soporte 3 .....	101
Tabla 23. Análisis Soporte 3 .....	102
Tabla 24. Propiedades de Material Soporte 3 .....	103
Tabla 25. Cargas y Sujeciones Soporte 3.....	103
Tabla 26. Detalle de Cargas Soporte 3.....	104
Tabla 27. Resultados del Estudio Soporte 3 .....	105
Tabla 28: Datasheet motor BOSCH 24V 13W.....	107
Tabla 29. Análisis Soporte para Motor .....	107
Tabla 30. Propiedades para Material Soporte para Motor .....	108
Tabla 31. Cargas y Sujeciones Soporte para Motor.....	109
Tabla 32. Detalle de Cargas Soporte para Motor.....	109
Tabla 33. Resultados del Estudio Soporte para Motor.....	110
Tabla 34. Coeficientes de Simultaneidad.....	118
Tabla 35. Especificaciones Técnicas Compresor DARI Spider 25/1850 .....	122
Tabla 36. Datos Referencia Actuador Lineal Horizontal.....	123
Tabla 37. Especificaciones Técnicas Cilindro TR 16x70 S.....	130
Tabla 38. Datos Referencia Actuador Lineal Vertical .....	132
Tabla 39. Especificaciones Técnicas Cilindro STM 16x150.....	134
Tabla 40. Datos Referencia Gripper .....	136
Tabla 41. Especificaciones Técnicas Gripper HFY 20.....	138
Tabla 42. Análisis Dedos Gripper.....	142

Tabla 43. Propiedades Material Dedos Gripper .....	143
Tabla 44. Cargas y Sujeciones Dedos Gripper .....	143
Tabla 45. Detalle de Cargas Dedos Gripper .....	144
Tabla 46. Resultados del Estudio Dedos Gripper .....	145
Tabla 47. Datos Referencia Matriz de Almacenamiento .....	149
Tabla 48. Propiedades Volumétricas Matriz de Almacenamiento.....	149
Tabla 49. Propiedades de Material Matriz de Almacenamiento.....	149
Tabla 50. Cargas y Sujeciones Matriz de Almacenamiento .....	150
Tabla 51. Detalle de Cargas Matriz de Almacenamiento .....	151
Tabla 52. Resultados del Estudio Matriz de Almacenamiento .....	151
Tabla 53. Selección de Electroválvulas .....	175
Tabla 54. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 5/3 Serie 4V200.....	176
Tabla 55. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V200.....	177
Tabla 56. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V200.....	178
Tabla 57. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 2/2 2P025-06. ....	179
Tabla 58. Especificaciones Técnicas Válvula de Mano Serie HSV08. ....	180
Tabla 59. Especificaciones Técnicas Filtro regulador de Presión Serie GFR200. ..	181
Tabla 60. Especificaciones Técnicas Regulador de Flujo Serie ASC-08. ....	182
Tabla 61. Carta de Control por Atributos (Azul) n=100.....	188
Tabla 62. Carta de Control por Atributos (verde) n=100.....	188
Tabla 63. Carta de Control por Atributos General.....	189

## RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto de grado corresponde al diseño e implementación de un sistema automático didáctico para la manipulación y almacenamiento de piezas cilíndricas de tres colores diferentes en una matriz de almacenamiento constituida por tres estantes semicirculares destinados cada uno para un color respectivamente.

El diseño del equipo se basa en el desarrollo de los tres sistemas fundamentales presentes en una máquina mecatrónica: sistema mecánico, sistema eléctrico electrónico y sistema de control, cada uno detallado y analizado a profundidad, con su respectiva sustentación técnica o justificación.

El equipo está constituido por tres módulos fundamentales: módulo de distribución, módulo de manipulación y módulo de almacenamiento, los cuales se juntan en completa sinergia para dar lugar a los tres grados de libertad que proporciona el equipo, y hacen que su funcionamiento sea similar a un brazo cilíndrico.

La particularidad del equipo es la flexibilidad que brinda a los usuarios para controlar todos los sensores y actuadores presentes de tres maneras diferentes: mediante el uso de un microcontrolador Arduino, un PLC Logo con su respectivo módulo de expansión, o un controlador que se adapte a los requerimientos de funcionamiento de todas las partes que conforman al equipo, teniendo en cuenta que el funcionamiento de cada uno de ellos es totalmente independiente.

Adicionalmente al desarrollo técnico del presente proyecto se elabora un manual de usuario y las respectivas guías de laboratorio con la finalidad de salvaguardar la seguridad de quien hará uso del equipo, y poder obtener el mayor beneficio del mismo.

**PALABRAS CLAVE:** BRAZO CILÍNDRICO, ALMACENAMIENTO SEMICIRCULAR, MANIPULACIÓN PIEZAS CILÍNDRICAS, SENSOR RGB, ARDUINO.

## **CAPÍTULO I**

### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DIDÁCTICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA MANIPULACIÓN DE PIEZAS EN BASE A SU COLOR PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA”**

Un proceso productivo es un conjunto de elementos, personas y acciones que toman componentes de entrada, conocidos como factores o recursos, y los transforman en elementos de salida que pueden ser productos o servicios, agregando algún tipo de valor con respecto a los primeros. Dentro de un proceso es muy importante tener control y dominar cada uno de sus componentes, pues el no hacerlo, puede significar que el resultado final no sea el deseado, con el consiguiente derroche de materiales, energía, tiempo, y sobre todo la insatisfacción del cliente de dicho proceso.

El almacenamiento forma parte fundamental de un proceso productivo y generalmente se encuentra al principio y final del mismo, convirtiéndose también en un limitante de la capacidad productiva. Actualmente se tiende a reducir al mínimo la manipulación manual mediante la mecanización, el proceso continuo y la automatización.

Analizar este problema y mejorar la coordinación demanda-suministro con la ayuda de un módulo de almacenamiento automatizado permite reducir costos en el producto final. Y este justamente es el objetivo de la presente estación didáctica de almacenamiento en donde el alumno con conocimientos de programación de microcontroladores y PLC's podrá darle una lógica de movimiento al equipo y tener una visión concisa de cómo funcionan este tipo de elementos en el sector industrial.



## 1.1. Antecedentes

### 1.1.1. Antecedentes institucionales

La Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) es una institución de educación superior comprometida con el desarrollo de la sociedad ecuatoriana, a través de la formación de profesionales de alto nivel, acorde con las exigencias del país.

La amplia trayectoria y el involucramiento directo en el desarrollo del Ecuador han hecho que los profesionales graduados de esta institución contribuyan a la mejora continua sobre todo del sector industrial basada en el talento humano y en la optimización de procesos a través del uso de herramientas tecnológicas de último nivel.

### Infraestructura

Tabla 1: Equipos de Laboratorio AIM.

N°	Equipos	Cantidad	Estado
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

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### **1.1.2. Antecedentes de la automatización**

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

El término automatización se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano. En los más modernos sistemas de automatización, el control de las máquinas es realizado por ellas mismas gracias a sensores de control que le permiten percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones tales como temperatura, volumen, color, etc. y actuar dependiendo de su aplicación. (Manzur, 2009)

La automatización en los procesos Industriales, se basa en la capacidad para controlar la información necesaria en el proceso productivo, mediante la aplicación de mecanismos de medición y evaluación de las normas de producción. A través de diversos instrumentos controlados por la información suministrada por el computador, se regula el funcionamiento de las máquinas u otros elementos que operan el proceso productivo.

### **1.1.3. Antecedentes de almacenamiento**

Los procesos industriales tienen su propósito principal el de transformar materias primas en producto final. En la antigüedad las tendencias de la producción se dirigían a aumentar los niveles de stocks en almacenaje, pero no se tenían en consideración las limitaciones de espacio, el costo de las instalaciones y el grado de dinamismo con que se modifican los productos, incorporando nuevas tecnologías y características que pueden hacer obsoletos elementos en depósito.

Por tal motivo, hoy en día las técnicas de almacenamiento, día a día van incorporando elementos que proporcionan mayor capacidad y facilidad de operación, para la organización y movilización de los materiales con la mayor agilidad posible.

## **1.2. Justificación**

### **1.2.1. Respecto a la Institución**

La Escuela Politécnica del Ejército es una de las universidades de mayor prestigio y aporte en el desarrollo del país debido a la calidad de profesionales que forma.

La carrera de Ingeniería Mecatrónica ocupa un sitio destacado entre las carreras que la Universidad oferta. No en vano es la ingeniería más solicitada en el Ecuador ya que se encuentra dando un aporte a la industria ecuatoriana por medio del diseño y construcción de maquinaria y equipos automatizados, modernizando y repotenciando equipos obsoletos; todo esto con el fin de aumentar la producción, mejorar la calidad, aumentar la eficiencia, disminuir importaciones, elevar el valor agregado nacional, así como también aportar a la problemática social con soluciones innovadoras por parte de profesionales con una nueva visión del mundo actual.

Lo anterior determina la necesidad de que la formación de sus alumnos sea evidentemente aplicativa, a través de laboratorios equipados con tecnología actual donde se pueda concatenar y complementar la parte teórica con la práctica pero siempre apegada al entorno industrial en el que se van a desenvolver los nuevos profesionales.

Se pretende también mejorar la calidad de enseñanza y aprendizaje práctico por parte de los estudiantes y los docentes.

### **1.2.2. Respecto a su aplicación didáctica**

Las tendencias de globalización y segmentación internacional de los mercados son cada vez más acentuadas. Y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una alternativa que es necesario considerar.

Actualmente la carrera de Ingeniería Mecatrónica no cuenta con los laboratorios o dispositivos adecuados que le permitan ofrecer a sus alumnos una formación acorde con los procesos de automatización.

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

- Reducción de Costes.
- Cantidad y Calidad de las Piezas realizadas.
- Seguridad.
- Administración de almacenamiento

Existen diferentes alternativas de equipos de laboratorio en el mercado que podrían satisfacer las necesidades y requerimientos en los que se enfoca la carrera para la formación de sus estudiantes, pero factores como el costo son la motivación para que los mismos estudiantes de la carrera desarrollen los equipos basándose en la aplicación de los conocimientos adquiridos durante su formación; obteniéndose así un producto final que pueda brindar las mismas prestaciones, a menor costo, mayor aplicabilidad y sobre todo enfocada directamente a la planificación académica en la que se basa el área de automatización industrial Mecatrónica. Además ayudará a conocer el funcionamiento y comportamiento de dispositivos como actuadores, sensores, controladores, sistemas electrónicos y computacionales, que permitan al estudiante estar apto para enfrentarse a cualquier requerimiento de la industria.

Con visión a futuro, el equipo podrá formar parte de un sistema didáctico modular que simule una línea completa de producción industrial.

### **1.2.3. Respecto a su aplicación industrial**

Hoy en día las empresas requieren de un control adecuado que les permitan desarrollar todos y cada uno de los procesos en forma oportuna, de manera que se puedan obtener los resultados más provechosos, reduciendo costos, optimizando tiempo y material.

Los sistemas de almacenamiento están conformados por equipos y elementos que permiten la manipulación adecuada del material, para su respectiva entrega y recepción, en tiempos cortos, con una alta precisión y con un alto grado de disponibilidad dentro de la industria.

Con este equipo se podrá emular de una forma más real los procesos encontrados en la industria y la detección de fallas sería más fácil, logrando así que los estudiantes quienes hacen uso del Laboratorio, puedan manejar de una manera teórica-práctica diferentes conceptos afines a la materia.

### **1.3.Importancia**

#### **1.3.1. Importancia de los sistemas de almacenamiento**

La evolución de las industrias, los factores oferta y demandas de sus productos, la necesidad de mantener un stock para el abastecimiento de una fluida comercialización, han impuesto la aplicación de nuevos sistemas que satisfagan estos requisitos.

La escasez de espacio, ha obligado a las industrias a optimizar el área destinada para el almacenaje, así como sus tiempos de producción, niveles de stock materias primas, etc.

Hoy en día los costos de almacenamiento van aumentando conforme al crecimiento de las ciudades, es por esto que las tendencias del almacenamiento actual buscan optimizar la utilización de sus recursos, lo cual puede entenderse mejor contemplando antes el entorno cambiante en el que el almacenamiento se diseña, se fabrica, se vende, se utiliza y se le presta servicio.

Si la demanda por los productos de una empresa se conociera con seguridad y los productos pudieran suministrarse instantáneamente para satisfacer la demanda, teóricamente el almacenamiento no sería necesario, ya que no se mantendría ningún inventario. De aquí se deriva que el mantenimiento de los inventarios produce la necesidad de manejar materiales y el almacenamiento se convierte en una conveniencia económica, más que una necesidad. Los costos de almacenamiento y de

manejo de materiales se justifican ya que pueden ser compensados con los costos de transportación y de producción-compras.

Existen cuatro razones básicas para la implementación de un sistema óptimo de almacenamiento:

- **Reducir costos:** el almacenamiento y su inventario asociado son gastos añadidos, pero pueden ser compensados por costos más bajos obtenidos gracias a la mejora en la eficiencia, en el transporte y la producción.
- **Coordinación de suministro y demanda:** las empresas con productos altamente estacionales, conjuntamente con una razonable demanda constante, tiene el problema de coordinar la oferta con la demanda. Cuando se hace demasiado costoso coordinar la oferta con la demanda con precisión, es necesario el almacenamiento. Por lo general se necesita el almacenamiento, pero su costo puede compensarse con el mejor precio que se obtiene de los productos ofertados.
- **Necesidades de producción:** el almacenamiento puede ser parte del proceso de producción. La fabricación de ciertos productos requiere de cierto tiempo para madurar. Los almacenes no solo sirven para mantener el producto durante ese periodo de fabricación, sino que en caso de productos gravados con impuestos, sirven para asegurar el producto hasta el momento de su venta.
- **Consideraciones del Marketing:** el marketing se preocupa frecuentemente de la rapidez con la que debe estar disponible el producto en el mercado, al almacenar el producto cerca del cliente a menudo puede reducir el tiempo de reparto o la oferta puede estar disponible sin demora.

### **1.3.2. Respecto a la vinculación con la colectividad**

Con el desarrollo de este sistema se puede proporcionar asistencia técnica, análisis y pruebas de laboratorio, consultorías, prácticas estudiantiles, trabajos de fin de carrera y otras actividades afines, que llevan a establecer relaciones entre estudiantes y profesores con el entorno social, económico y productivo.

Teniendo un concepto más claro de cómo se llevan a cabo los distintos procesos productivos en la industria, se logra promover e incentivar la investigación y desarrollo de proyectos innovativos que den solución directa a los problemas que la industria presenta en la actualidad.

Al formar personal altamente capacitado en las áreas de automatización y control industrial, se logra beneficiar a las empresas ya que con esto se ahorrarían costos elevados en capacitación especializada de personal e incrementaría el nivel de formación obtenido sin necesidad de viajar fuera del país.

Así, el presente proyecto parte de la realidad de que actualmente el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica presenta un déficit de módulos didácticos para la aplicación de conocimientos teóricos y capacitación en áreas tales como: automatización, neumática, controladores, instrumentación y sensores fundamentales en la formación de un Ingeniero Mecatrónico.



## **Alcance del Proyecto**

El presente proyecto de grado se enfoca en el diseño, construcción e implementación de un sistema automático y didáctico para la manipulación, selección y ubicación de piezas cilíndricas en una matriz de almacenamiento semi-circular.

La estación con tres grados de libertad está equipada con tres niveles de almacenamiento, cada uno con capacidad para seis piezas de distintos colores (rojas, azules y verdes).

Adicionalmente, la estación posee un manual de usuario en donde se detalla su instalación y puesta en marcha, así como las soluciones frente a posibles fallos. Cuenta también con las respectivas guías de laboratorio que contienen las distintas aplicaciones que se le pueden dar al equipo.

### **1.4.Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar, construir e implementar un sistema automático didáctico de tres grados de libertad para tomar, seleccionar y colocar piezas cilíndricas de distintos colores en una matriz de almacenamiento semi-circular empleando diferentes sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y computacionales para el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica de la Escuela Politécnica del Ejército

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar los distintos sistemas: mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos mediante técnicas y métodos de análisis para ingeniería, junto con el apoyo de software de diseño.
- Dimensionar y seleccionar los distintos sensores (detección de color, presencia y posición) y actuadores (motor, gripper y cilindros) necesarios para la construcción e implementación de la estación.
- Proporcionar flexibilidad al equipo de tal forma que permita el uso de un microcontrolador o un PLC para realizar el control del sistema, y también brinde la posibilidad, de formar parte de otros sistemas de equipos modulares orientados al aprendizaje y aplicación de la automatización en el campo industrial.
- Realizar un manual de usuario y las respectivas guías de laboratorio que permitan a los usuarios conocer las diferentes aplicaciones que se le puede dar al equipo, y a la vez, obtener el mayor beneficio del mismo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1.Descripción General del Proyecto

##### 2.1.1. Descripción del Proceso

Todo sistema cerrado, sea cual fuere su campo de aplicación, mantiene el siguiente esquema:

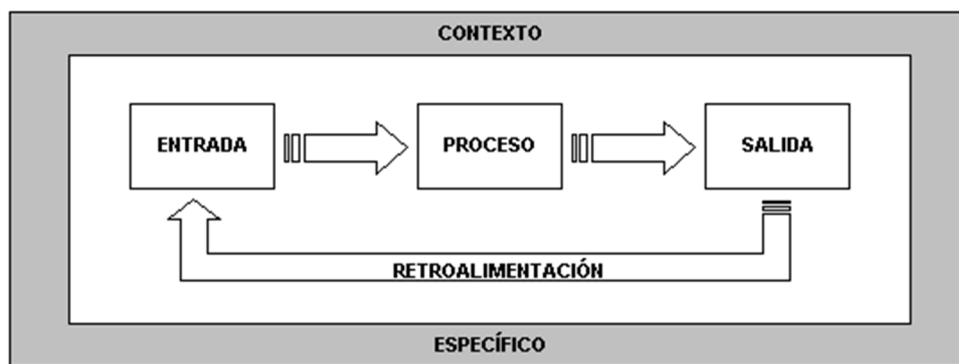


Ilustración 1: Esquema de un sistema cerrado.

(Sistema cerrado, 2013)

El caso del equipo didáctico de manipulación y almacenamiento, no es la excepción, pues todos los componentes pueden clasificarse de la siguiente forma:

**Entradas:** son todos los elementos que proporcionan una señal o los datos requeridos para realizar un proceso. Dentro de este grupo se encuentran el sensor de color y switches.

**Proceso:** son las operaciones lógico-aritméticas que permiten la interacción de elementos y son la base del algoritmo de control. El presente equipo va a proporcionar una dualidad en su operación, pues contiene dos tipos de control, uno a través de un microcontrolador (arduino) y otro a través de un PLC. Estos controladores van a trabajar de manera individual, es decir, uno a la vez.

**Salidas:** Son el resultado que se obtiene al procesar las entradas. Dentro del equipo son los denominados actuadores, que como su nombre lo indica son quienes actúan ante una señal de acuerdo al proceso establecido. En este grupo se encuentran las electroválvulas, el motor DC y los focos indicadores.

**Retroalimentación:** Se produce cuando las salidas o las influencias del contexto, vuelven a ingresar como recursos o información. Dentro de este grupo se ubican los sensores de presencia y posición.

La lógica de movimiento dependerá de los requerimientos y criterio del alumno, pero se podría tomar como base el siguiente algoritmo que encierra las acciones de todos los componentes del equipo:

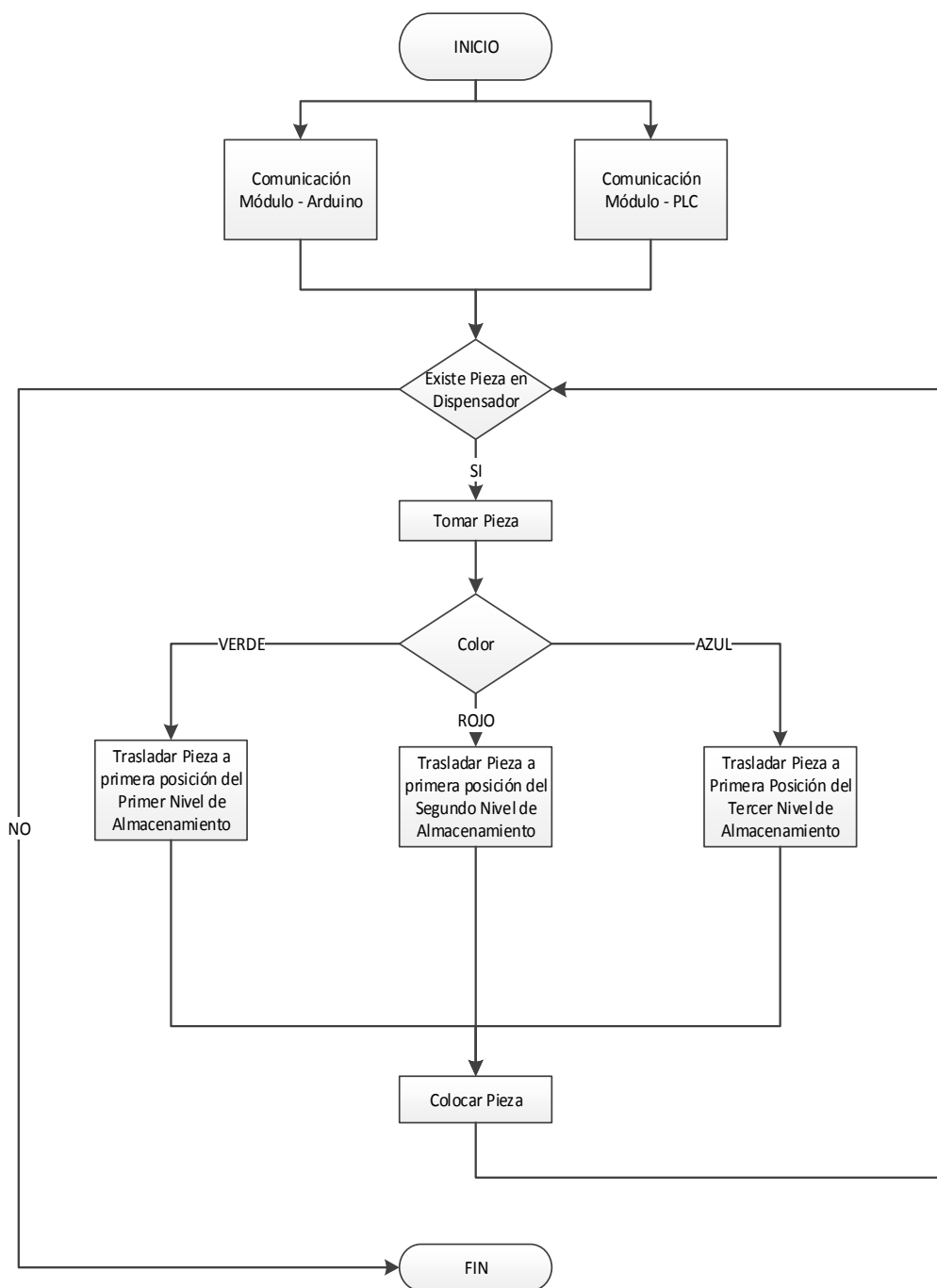


Ilustración 2. Algoritmo General de Funcionamiento de la Estación de Manipulación y Almacenamiento.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

## 2.1. Definición de Grados de Libertad del Equipo

Se denomina Grado de Libertad a cada una de las coordenadas independientes que son necesarias para describir el estado de un sistema mecánico (posición y orientación en el espacio de sus elementos). Normalmente en cadenas cinemáticas abiertas, cada par eslabón-articulación tiene un solo grado de libertad, ya sea de rotación o traslación, pero una articulación podría tener dos o más grados de libertad que operan sobre ejes que se cortan entre sí.

La configuración del sistema mecánico del equipo es la misma que posee un brazo cilíndrico, en donde el brazo tiene un movimiento de rotación sobre una base, una articulación prismática para la altura, y una prismática para el radio. Esta configuración se ajusta bien a los espacios de trabajo redondos. Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, o sea, que presenta **tres grados de libertad**.

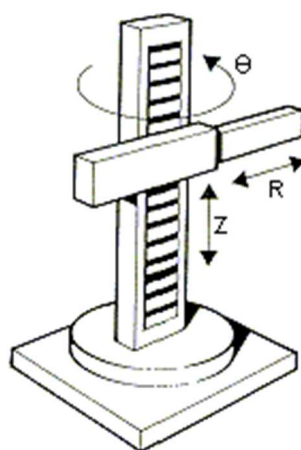


Ilustración 3. Grados de libertad de un brazo cilíndrico.

(Cómo Trabaja un Robot, 2011)

- **Espacio (volumen de trabajo)**

Las dimensiones de los elementos del manipulador, junto a los grados de libertad, definen la zona de trabajo del brazo, característica fundamental en las fases de selección e implantación del modelo adecuado.

El volumen de trabajo de un brazo o un robot en general, se refiere únicamente al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el actuador final. La razón de ello es que a la muñeca del brazo se la puede adaptar grippers de distintos tamaños.

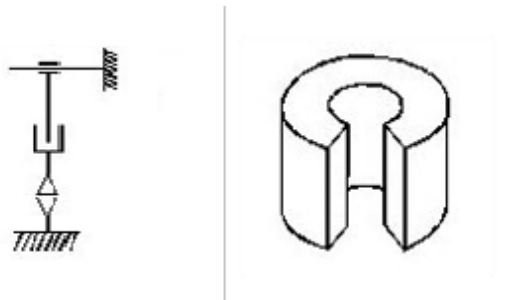


Ilustración 4. Área de trabajo de un brazo cilíndrico.

(Cómo Trabaja un Robot, 2011)

## 2.2.Descripción de los Elementos del Equipo

### 2.2.1. Actuadores:

### **2.2.1.1. Cilindros Neumáticos:**

Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Existen dos tipos fundamentales de los cuales derivan construcciones especiales.

- Cilindros de simple efecto, con una entrada de aire para producir una carrera de trabajo en un sentido.
- Cilindros de doble efecto, con dos entradas de aire para producir carreras de trabajo de salida y retroceso.

### **Sistemas Antigiro**

Uno de los principales problemas que plantean los cilindros de émbolo convencionales es el movimiento de giro que puede sufrir el vástago sobre sí mismo, ya que tanto el émbolo como el vástago, habitualmente son de sección circular al igual que la camisa, y por ellos ningún elemento evita la rotación del conjunto pistón.

En determinadas aplicaciones, esto puede tener efectos negativos y se hace necesaria la incorporación de actuadores o elementos exteriores que realicen un efecto antigiro. (USEAS, 2011).



#### **2.2.1.1.1. Eje Lineal – Doble Vástago - Antigiros (Movimiento Vertical)**

Eje lineal con carro móvil de carga pesada y guía de perfil doble fijo: accionamiento neumático de doble efecto, ideal para sistemas modulares de ejes múltiples para sistemas de manipulación 2D y 3D; apto para todos los tipos de montaje adaptable.

Cuenta con un sistema Antigiros con alta absorción de cargas transversales al eje, estabilidad, acoplamiento en cualquiera de los dos extremos y amortiguación en ambos sentidos.



Ilustración 5. Ejes Lineales (Serie STW) - Doble Vástago.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

#### **2.2.1.1.2. Cilindro Neumático - Vástagos Paralelos - Antigiros (Movimiento Horizontal)**

Presentan mayor prestación en cuanto a la absorción de cargas exteriores, pero su principal ventaja es que al disponer de doble émbolo desarrollan el doble de fuerza que uno convencional de igual tamaño.

Los cilindros antigiro suprimen los guiados externos costosos y voluminosos. Esta función se destina a múltiples tareas industriales, con la posibilidad de montar al extremo del vástago, sobre la placa de fijación, dispositivos apropiados para diversas aplicaciones (posicionamiento, control, corte...). El cilindro como estándar está equipado con amortiguaciones neumáticas, un anillo magnético en el pistón que le permite utilizar los detectores magnéticos y un casquillo de deslizamiento o rodamiento lineal a bolas.



Ilustración 6. Cilindro con vástagos paralelos (función antigiro).

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

#### **2.2.1.2. Gripper Neumático:**

##### **2.2.1.2.1. Grippers Para Mecanización y Automatización**

Los Grippers son enlaces activos entre el equipo de manipulación y la pieza de trabajo, o en un sentido más específico, entre el órgano de agarre

(normalmente los dedos de la pinza) y el objeto a ser adquirido. Su función depende de aplicaciones específicas que incluyen:

- La conservación temporal de una posición definida y la orientación de la pieza de trabajo con respecto a la pinza y el equipo de manipulación.
- Conservación de la estática (peso), dinámica (movimiento, aceleración o desaceleración) y/o fuerzas y momentos específicos.
- Determinación y cambio de la posición y la orientación del objeto con respecto al equipo de manipulación por medio de ejes de la muñeca.
- Operaciones técnicas específicas llevadas a cabo con, o en combinación con la pinza. (Monkman, Hesse, Steinmann, & Schunk, 2007)

Grippers son subsistemas de los mecanismos de manipulación que proporcionan el contacto temporal con el objeto a ser agarrado, asegurando la posición y orientación al sostener y llevar el objeto a su destino final por medio de un equipo de manipulación. Siendo el propósito del mecanismo de manipulación, el convertir una energía de entrada en el movimiento requerido y fuerza necesaria para tomar y retener un objeto.

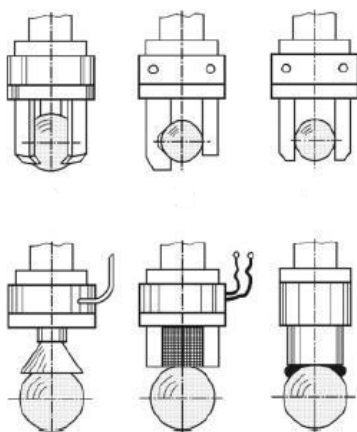


Ilustración 7. Ejemplos de Grippers.

(Monkman, Hesse, Steinmann, & Schunk, 2007)



Ilustración 8. Gripper Neumático Angular (Serie HFY) - Doble Efecto.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

### 2.2.1.3. Motor DC (Corriente Continua):

El motor de corriente continua es un convertidor electro-mecánico de energía. Transforma energía eléctrica, de naturaleza continua, en energía mecánica, provocando un movimiento rotatorio.



Ilustración 9. Motor de Corriente Continua.

(Catálogo Maxon Motors, 2010)

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos de corriente directa o continua se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán permanente cuando, de acuerdo con la Ley de Lorentz, interactúan con los polos magnéticos de un electroimán que se encuentra montado en un eje. Este electroimán se denomina “rotor” y su eje le permite girar libremente entre los polos magnéticos norte y sur del imán permanente situado dentro de la carcasa o cuerpo del motor.

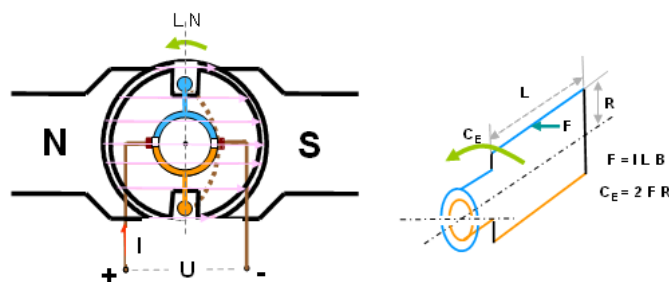


Ilustración 10. Principio de Funcionamiento motor DC.

(Motor DC, 2013)

Para invertir el sentido del par motor de los motores de corriente continua, se invierte el sentido del campo de excitación, invirtiendo la corriente de excitación o el sentido del campo del inducido por inversión de la corriente en el inducido.

#### **2.2.1.4.Foco Led indicador para Tablero de Control:**

Luces indicadoras destinadas para distintas aplicaciones, diseñadas especialmente para ser montadas en tableros o paneles de control. Su voltaje de alimentación depende del tipo de foco que se emplee, teniendo así la posibilidad de ser empleados en aplicaciones con corriente alterna o continua.



Ilustración 11. Focos Led Indicador Schneider Electric.

(GeneralElectric, 2011)

#### **2.2.2. Sensores:**

El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Es decir, un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, y transformarlas en variables eléctricas más sencillas de cuantificar. (Bolton, 2010)

##### **2.2.2.1.Sensor de Color RGB**

El color es un atributo de la percepción visual, asociado a las diferentes longitudes de onda. El "reconocimiento de color" es la capacidad de un sensor o algoritmo de distinguir colores a partir de la extracción de información de la luz. (Pérez, 2009)

RGB (Red, Green, Blue) es la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios de luz.

Un sensor RGB monitorea el contraste entre el fondo y el objetivo, y es capaz de sensar la diferencia entre los colores que usualmente son dificultosos de detectar por sensores convencionales. Para seleccionar el color específico, se usa como elemento principal un led laser de 3 colores tipo RGB, el sensor conmuta el ratio de color entre los tres colores de emisión, y con ello se asegura la detección del color aún con productos en movimiento en una banda transportadora, o rodillos de arrastre y/o de tracción de laminados a alta velocidad. (Castillo, 2010)

### **Sensor RGB (Convertidor de Color a Frecuencia)**



Ilustración 12. Sensor de Color RGB TCS230 YwRobot.

(Arduino, 2013)

Este tipo de sensor de color programable trabaja en función de la luz para convertir corriente a frecuencia mediante la combinación de un arreglo de fotodiodos de silicio configurables y un convertidor de corriente a frecuencia en un solo circuito integrado CMOS.

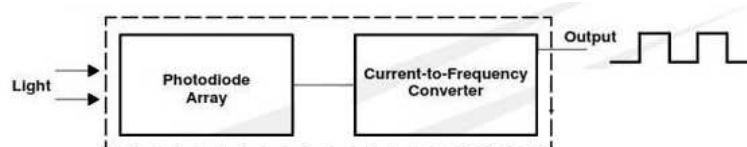


Ilustración 13. Diagrama de Funcionamiento de un Sensor RGB TCS230.

(TAOS, 2010)

#### 2.2.2.2. Sensores de Posición

En la estación de manipulación y almacenamiento, los sensores que determinan posición son los siguientes:

- Sensor magnético de efecto Hall (ubicación de las piezas en módulo de almacenamiento)
- Sensor electrónico de estado sólido (para determinar la posición de parada de los cilindros neumáticos)
- Fines de carrera (para delimitar el rango de operación o giro del motor)

##### 2.2.2.2.1. Sensor electrónico de estado sólido

El sensor electrónico de estado sólido es muy parecido al funcionamiento del sensor magnético. Al captar el campo magnético de un imán del pistón, cambia de estado a un switch que da una señal eléctrica de salida. Como no tiene partes móviles y es de construcción robusta, su vida útil es unas 5 veces superior a la del sensor magnético.



Puede disponer de 3 hilos NPN o PNP, en el caso de funcionar a base de transistor, o 2 hilos si se trata de un switch magnético. Su corriente de carga arranca desde 0 mA, por lo que pueden utilizarse con PLC u otros aparatos con un bajo consumo de corriente. (Creus, 2011)



Ilustración 14. Sensor electrónico de estado sólido para cilindros neumáticos.

(Catálogo de Elementos Neumáticos Festo, 2010)

#### **2.2.2.2.2. Finales de carrera**

El final de carrera o sensor de contacto (también conocido como “interruptor de límite”), son los dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que pueden modificar el estado de un circuito.

Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen

una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.  
(Final de Carrera, 2013)

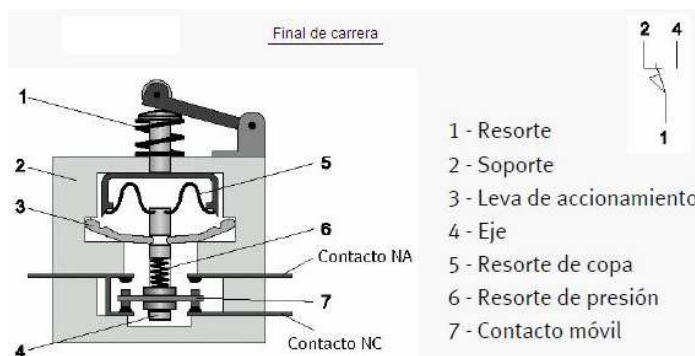


Ilustración 15. Final de carrera.

(Final de Carrera, 2013)

### 2.2.2.3. Sensor de Presencia

Los sensores de presencia son capaces de detectar la presencia o ausencia de un objeto dentro de un radio de acción determinado. Esta detección puede hacerse con o sin contacto con el objeto a detectar. Los más utilizados son:

- Interruptores mecánicos
- Sensores inductivos
- Sensores capacitivos
- Sensores ópticos

### Sensor Óptico

El sensor óptico de presencia se trata de un emisor de luz (generalmente no visible) y un receptor sintonizado con el anterior. Cuando el emisor y el receptor se sitúan en

lugares distintos, la interposición de un objeto opaco entre ambos permite la detección de éste. Cuando el emisor y el receptor se sitúan en el mismo lugar, este necesita la presencia de un elemento reflectante. (Sánchez G. , 2009)

El sensor está compuesto por una combinación integrada de un PD (fotodiodo), IRED (diodo emisor de infrarrojos) y un circuito de procesamiento de señales. La tensión de salida de este sensor se mantiene en alto en caso de que exista un objeto en el rango de distancia especificada.



Ilustración 16. Sensor de presencia Sharp 2-10cm.

(Catálogo Sharp, 2011)

### **2.2.3. Elementos de Control**

#### **2.2.3.1. Microcontrolador Arduino:**

Arduino es una plataforma electrónica abierta, ensamblada con microcontroladores ATMEGA y diseñada para la creación de prototipos, basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa

mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicarse con diferentes tipos de software.



Ilustración 17. Microcontrolador Arduino MEGA.

(Arduino, 2013)

### 2.2.3.2.PLC:

Un autómata programable o controlador lógico programable (Programmable Logic Controller) es un sistema de control basado en un microprocesador y los elementos necesarios para que este microprocesador opere de forma conveniente.



Ilustración 18. PLC Logo – Siemens.

(Catálogo Siemens, 2013)

Al estar basado en un microprocesador, permite que la función que el PLC realice sea programable por cada usuario a efectos de satisfacer cada necesidad concreta de control, lo que le convierte en una herramienta sumamente útil y flexible.

El PLC es un elemento de control de procesos de propósito general amoldable a prácticamente todas las situaciones en las que se requiera una automatización. Los campos de aplicación de los autómatas programables son hoy día extremadamente extensos debido a sus posibilidades en cuanto a la flexibilidad en su programación, así como a la facilidad de ampliación mediante módulos adicionales o incluso con más autómatas conectados en red, etc. (Peña, Caro, & García, 2009)

- **Ventajas:**

- Control preciso
- Flexibilidad en el control de procesos
- Seguridad en el proceso.
- Mejor monitoreo del funcionamiento.
- Menor mantenimiento.
- Detección rápida de averías.
- Posibilidad de modificaciones sin elevar costos.
- Posibilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómata.

- **Desventajas:**

- Mano de obra especializada.
- Centraliza el proceso.
- Mayor costo para controlar tareas muy pequeñas o sencillas.

## **2.2.4. Rodamientos**

Un rodamiento es un elemento mecánico que reduce la fricción entre el eje y las piezas conectadas a este por medio de elementos rodantes (*bolas, rodillos*), que le sirven de apoyo y facilitan su desplazamiento.

Los rodamientos, también denominados con los términos *cojinete de contacto rodante, cojinete antifricción, y cojinete de rodamiento*, se emplean para describir la clase de cojinete en la cual se transfiere la carga principal mediante elementos que experimentan un contacto rodante. (Ball and Roller Bearing Catalog NTN, 2010)

### **2.2.4.1. Características y Clasificación de los Rodamientos**

#### **2.2.4.1.1. Características:**

Los rodamientos vienen en varias formas y variedades, cada uno con sus propias características distintivas:

- El coeficiente de fricción estático es bajo y sólo hay una pequeña diferencia entre éste y el coeficiente de fricción dinámico.
- Son estandarizados internacionalmente, son intercambiables y fáciles de obtener.
- Son fáciles de lubricar y consumen muy poco lubricante.
- Como regla general un rodamiento puede soportar tanto cargas radiales, como axiales al mismo tiempo.
- Pueden utilizarse en aplicaciones a alta temperatura, así como a bajas temperaturas.
- La rigidez del rodamiento se puede mejorar al aplicarle una determinada precarga.

La mayoría de los rodamientos consisten de anillos con pistas (anillo interior y anillo exterior), elementos rodantes (pueden ser bolas o rodillos) y jaula. La jaula separa los elementos rodantes a distancias iguales, los mantiene en su lugar entre la pista interna y la externa, y les permite rodar libremente.<sup>26</sup>

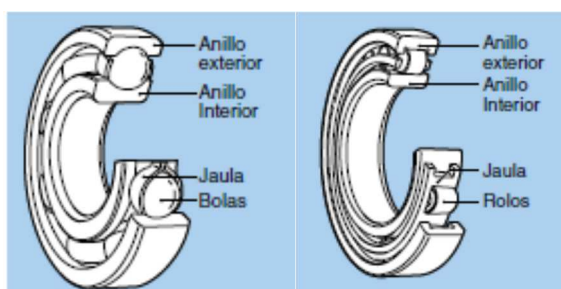


Ilustración 19. Construcción de Rodamientos.

(Ball and Roller Bearing Catalog NTN, 2010)

#### 2.2.4.1.2. Clasificación de los Rodamientos

Los rodamientos se dividen en dos categorías principales: rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos. Los rodamientos de bolas se clasifican de acuerdo a su configuración en: rodamientos rígidos de bolas y rodamientos a contacto angular. Por otro lado los rodamientos de rodillos, se clasifican de acuerdo a la forma de los elementos rodantes en: rodillos cilíndricos, agujas, rodillos esféricos.

Adicionalmente los rodamientos pueden clasificarse de acuerdo a la dirección en que se aplica la carga: así los rodamientos radiales soportan cargas radiales y los rodamientos axiales soportan cargas axiales.

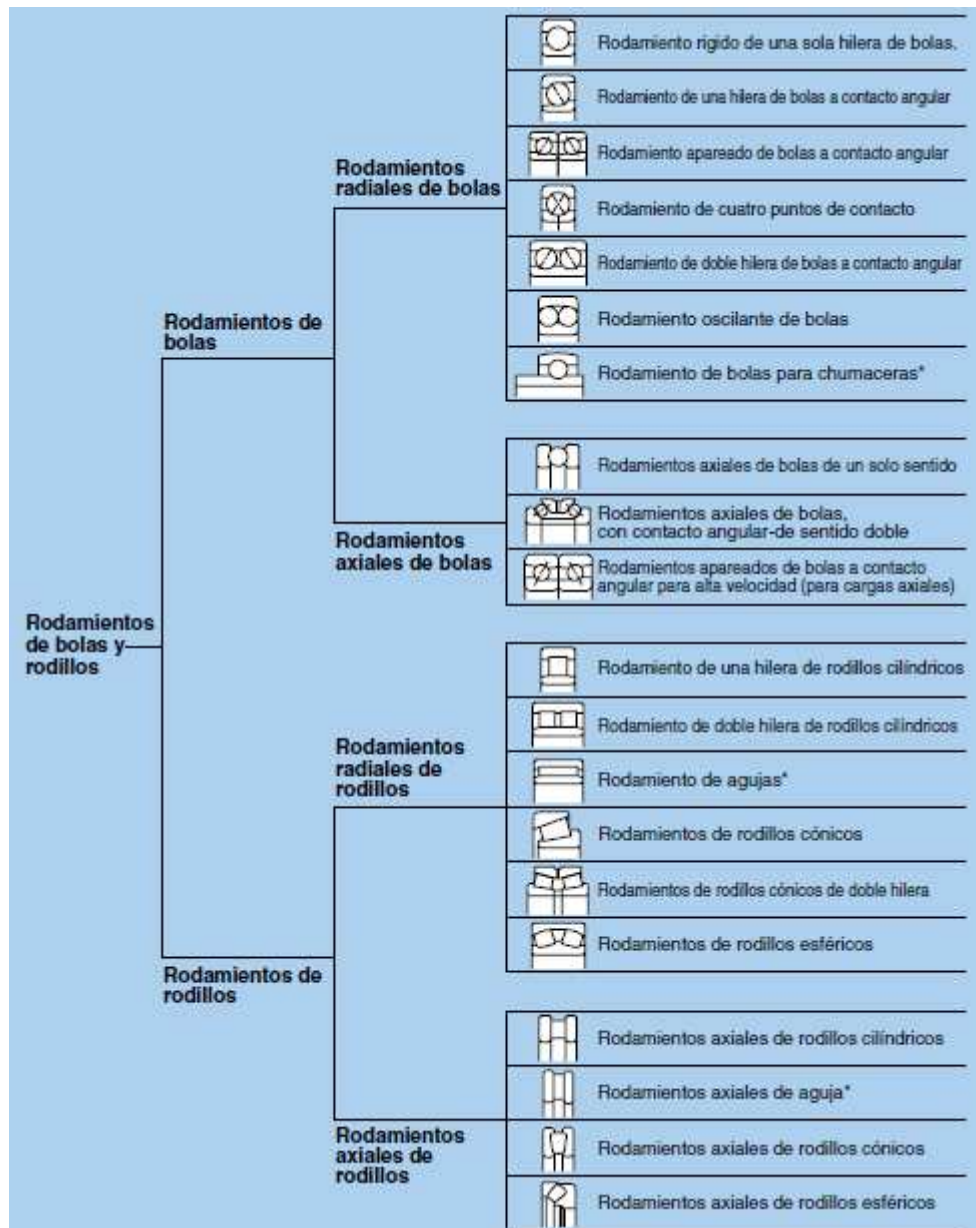


Ilustración 20. Clasificación de los Rodamientos.

(Ball and Roller Bearing Catalog NTN, 2010)



#### 2.2.4.2. Selección de Rodamientos

Los rodamientos están disponibles en una variedad de tipos, configuraciones y tamaños. Al seleccionar el rodamiento correcto para su aplicación, es muy importante considerar varios factores y analizar varias alternativas.

##### **Consideraciones:**

- **Limitaciones dimensionales:** El espacio disponible para los rodamientos es generalmente limitado. En la mayoría de los casos, el diámetro del eje (o el diámetro interior del rodamiento) se ha determinado de acuerdo a otras especificaciones de diseño de la maquinaria. Por lo tanto, **las dimensiones de los rodamientos se determinan de acuerdo a los diámetros interiores de los rodamientos.**
- **Carga del Rodamiento:** En general, las capacidades básicas de carga mostradas en las tablas de dimensiones de los rodamientos indican su capacidad de manejo de carga. No obstante, al determinar el tipo de rodamiento apropiado, se debe **prestar atención a si la carga actuante es solamente una carga radial o una carga radial y axial combinada, etc.**
- **Velocidad de Rotación:** Los rodamientos rígidos de bolas, los rodamientos de bolas a contacto angular y los rodamientos de rodillos cilíndricos son más adecuados para aplicaciones a alta velocidad.

- **Tolerancias de los rodamientos:** Los rodamientos rígidos de bolas, los de bolas a contacto angular y los de rodillos cilíndricos son recomendados para alta precisión rotacional.
- **Rigidez: Los rodamientos de rodillos exhiben una menor deformación elástica que los de bolas.** Más aún, en varios casos, a los rodamientos se les aplica una carga por adelantado (precarga) para incrementar su rigidez. Este procedimiento es comúnmente aplicado a los rodamientos rígidos de bolas, rodamientos de bolas a contacto angular y rodamientos de rodillos cónicos.
- **Instalación y Desmontaje:** Algunas aplicaciones exigen desmontajes y montajes frecuentes, a fin de permitir inspecciones periódicas y reparaciones. **Para estas aplicaciones, los rodamientos con anillos interior/ exterior separables**, tal como los rodamientos de rodillos cilíndricos, rodamientos de aguja y rodamientos de rodillos cónicos, son los más apropiados.
- **Vida del Rodamiento:** Aún en rodamientos que operen bajo condiciones normales, las superficies de las pistas y los elementos rodantes están constantemente sometidos a esfuerzos compresivos repetitivos que causan descascarillado de las superficies en cuestión. Este descascarillado es producto de la fatiga del metal y causa la falla del rodamiento.
- **Capacidad de Carga:** La medida de la posibilidad de cargar un rodamiento es la capacidad de carga dinámica. Las capacidades de carga dinámica se basan en DIN ISO 281. **La capacidad de carga es uno de los factores decisivos para la selección de los rodamientos, por lo que se debe tener en cuenta tanto la capacidad de carga estática como dinámica.**

## **2.3. Procesos industriales**

### **2.3.1. Aplicaciones del Equipo**

En el campo industrial, los manipuladores se usan, en aquellas operaciones repetitivas en que se coge una pieza o herramienta siempre en el mismo sitio y se coloca también siempre en la misma posición. Este tipo de equipos pueden estar ubicados al inicio, al medio o al final de un proceso de producción, tomando o dejando piezas en el almacén semicircular.

En el campo educativo, su principal objetivo es la simulación de un sistema automatizado presente en la industria como son los sistemas de manipulación y almacenamiento, por lo tanto, el equipo es completamente didáctico y contiene todos los componentes de un sistema mecatrónico.

#### **2.3.1.1. Sistemas de Manipulación**

Mediante sistemas neumáticos, hidráulicos, manipuladores, robots cartesianos de 4 y 6 ejes y robots cilíndricos, se realiza la maquinaria para manipulación de todo tipo de piezas para cada producto y cada aplicación.

Se puede realizar la manipulación de todo tipo de piezas para cualquier aplicación basados en un mismo sistema pero con la variación del diseño de sus efectores finales o pinzas.

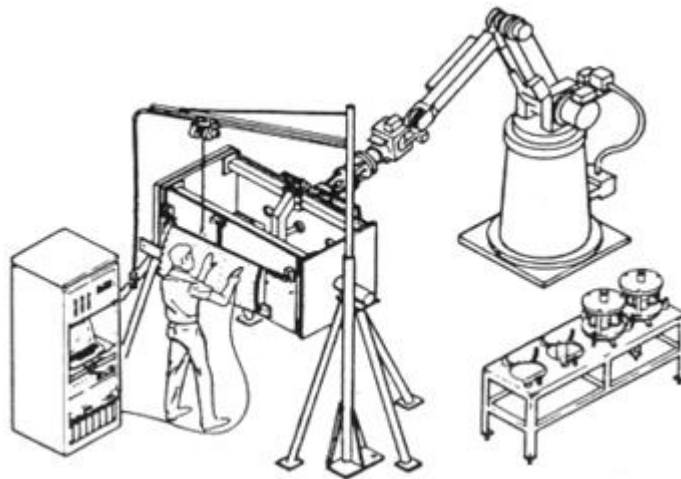


Ilustración 21. Sistema de Manipulación.

(Meyers F. & Stephen, 2010)

Los sistemas de manipulación garantizan un rápido flujo de material y aumentan considerablemente la productividad. Los rendimientos elevados, el procesamiento fiable de pedidos y el transporte efectivo representan factores integrales para el éxito económico de una industria o empresa.

### **Características y Ventajas**

- Integración flexible en casi todos los sistemas de transporte adaptables a su geometría de trabajo.
- Máxima productividad por la automatización de las actividades monótonas que requieren mucho tiempo
- Reducción de costos gracias a la entrega de los objetos almacenados justo a tiempo.

- Alta y constante calidad gracias a los procesos mecanizados y automatizados.
- Elevadas tasas de rendimiento por el procesamiento automatizado de los pedidos
- Mantenimiento especialmente sencillo gracias al diseño modular que permite un fácil acceso a los diferentes elementos integrados.
- Funcionamiento silencioso y uso de energía adaptado a la demanda
- Altamente flexibles gracias a la extensibilidad modular e integración en casi todos los sistemas de manutención conocidos

### **2.3.1.2.Sistemas de Almacenamiento**

Uno de los objetivos de la fabricación flexible es la eliminación de stocks, tanto de productos terminados como de materiales en curso de fabricación o en bruto. El stock además de un coste de financiación elevado, proporciona un elemento de rigidez en relación a la modificación y renovación del producto. Por esto, junto a las técnicas que flexibilizan la producción, se adopta la de reducción de stocks dentro del JIT – just in time. Dentro de esta tendencia se reducen y a veces se eliminan los grandes almacenes de fábricas convencionales y se tiende a colocar las piezas y las herramientas a pie de máquina, en la cantidad estrictamente necesaria para una fabricación automática y desatendida.

Se tiende a conseguir una llegada continua de material desde los proveedores situándolo directamente en el puesto de trabajo. Desaparece así el muelle de recepción

centralizado, la inspección de entrada y el almacenamiento intermedio con sus cargas y descargas. En los contratos con los proveedores se concierta una calidad, y efectividad de despacho de piezas. (Sistema de Almacenamiento, 2013)



Ilustración 22. Sistema de Almacenamiento Vertical.

(Sistema de Almacenamiento, 2013)

Existen cinco razones básicas por las que una compañía realiza actividades de almacenamiento:

### **Reducción de los costos de transporte- producción**

El almacenamiento y el inventario asociado al mismo son dos factores que generan nuevos gastos. No obstante, ese aumento de costos se compensa con la disminución de los de transporte y producción, ya que se mejora la eficiencia de ambos procesos.

### **Coordinación entre el suministro y la demanda**

Las compañías que tienen una producción de carácter estacional y una demanda racionalmente constante suelen tener problemas de coordinación entre la demanda y el suministro. Un ejemplo de esta situación son las empresas de alimentación, ya que,

para mantener su oferta de frutas y vegetales enlatados, deben almacenar toda su producción en las épocas de recogida con el fin de abastecer el mercado el resto del año. Siempre que sea demasiado costoso coordinar de forma precisa la demanda y el suministro es necesario el uso de almacenes.

### **Precio de los productos**

Aquellas mercancías y artículos que experimentan grandes variaciones en el precio de un periodo a otro, (Cobre, acero, petróleo) pueden obligar a las compañías a hacer compras de los mismos por adelantado, de modo que se obtengan a precios más bajos, compensando así el costo de los almacenes necesarios para su mantenimiento.

### **Apoyo al proceso de producción**

El almacenamiento puede formar parte del proceso de producción. La fabricación de ciertos productos como quesos, vinos o licores, requiere un periodo de almacenamiento para su maduración. No obstante los almacenes no solo sirven para guardar el producto en esta fase de su fabricación, sino que también sirven para mantener el depósito la mercancía libre de impuestos hasta el momento de su venta. De esta manera la compañía puede retrasar el pago de los impuestos hasta que el producto sea vendido.

## **Apoyo al proceso de comercialización**

La comercialización generalmente se ocupa de cuándo y cómo estará disponible en el mercado. Aquí el almacenamiento se emplea para dar valor a un producto, de modo que si se almacena el mismo cerca del cliente, el tiempo de entrega, por ejemplo disminuye. Esta mejora en el servicio al comprador puede producir un incremento de las ventas.

### **2.3.1.2.1. Almacenamiento Circular**

La geometría del sistema de almacenamiento debe favorecer la dinámica del proceso optimizando tiempo y recursos.

Debido a que el manipulador de piezas es un brazo robótico cilíndrico, la geometría más apropiada es semi-circular, y todas sus ventajas y desventajas se ven referidas específicamente a los grados de libertad y área de trabajo de un robot cilíndrico.

### **Ventajas y Desventajas**

Los motivos para instalar un sistema automático de almacenamiento de varias estanterías apilables son diversos, entre ellos, ampliar la capacidad de almacenaje, reducir tiempos de transporte de material y el traslado con precisión de objetos de un lugar a otro dentro del amplio grado de trabajo del manipulador.



- Clasificación y organización precisa y eficiente.
- Son sistemas con patrones de almacenamiento homogéneos.
- Se caracterizan por su flexibilidad y escalabilidad.

Sin embargo, también presentan algunas desventajas importantes:

- Su costo es elevado, tanto del equipo manipulador y la implementación de todo el sistema de almacenaje.
- Desplazan mano de obra.
- Área de trabajo es limitada.
- Poco tolerante a fallos.

#### **2.4. Técnicas para el Análisis de Alternativas y Soluciones de Diseño**

Una de las técnicas más utilizadas para apoyar la identificación de soluciones es el Análisis Morfológico. La técnica invita a mirar de manera diferente, en cuanto a su estructura y su forma, el sistema que será analizado, siendo esta técnica una excelente opción para estimular la producción de actos creativos.

Para complementar el análisis morfológico también se aplicará un análisis de ventajas y desventajas de cada posible solución junto con el análisis de una matriz de criterios ponderados. Todos los análisis teniendo en cuenta la Técnica de Benchmarking, la cual brinda ideas o lineamientos para la generación de posibles mejoras partiendo de productos ya diseñados y probados en el mercado.

### **2.4.1. Benchmarking**

El benchmarking es el proceso de mejora a través de una continua identificación, entendimiento y adaptación de las prácticas y procesos más destacados que se encuentran dentro y fuera de una organización o mercado ya posicionado.

El benchmarking orientado a la producción o creación de nuevos productos normalmente se realiza tomando como base a empresas que ya llevan muchos años de experiencia en el área y tienen gran rendimiento en el sector industrial.

Esto es factible gracias a que muchos de los procesos aplicados para el diseño de productos son básicamente los mismos de un sector a otro.

El proceso del benchmarking implica la comparación de la ejecución de ciertas prácticas de una compañía, tomando como base parámetros mensurables de importancia estratégica con otras compañías que se sabe han obtenido el mejor rendimiento en esos parámetros.

El desarrollo del benchmarking es un proceso iterativo y continuo, que puede y suele implicar la puesta en común de información con otras organizaciones que trabajen en conjunción, con el fin de conseguir una medición de resultados comparables adecuada. (Kozak, 2010)

#### **2.4.1.1. Tipos de Benchmarking:**

Hay cuatro tipos básicos de benchmarking. La elección de un tipo u otro dependerá de aquello que se quiera resaltar como punto de referencia. A continuación se describen estos cuatro tipos de benchmarking: (Balouros & Demetrladou, 2011)

##### **Benchmarking Interno** (*evaluación comparativa de operaciones internas*)

En la mayoría de las empresas grandes se llevan a cabo funciones similares en distintos departamentos. Uno de los ejercicios de benchmarking más sencillos es comparar estas operaciones internas. El objetivo del benchmarking interno es identificar, comparando los niveles de ejecución interna en una organización.

##### **Benchmarking con Competidores** (*evaluación comparativa externa con competidores directos de producto*)

El benchmarking se puede llevar a cabo a nivel externo con los competidores. Lo más obvio, aunque más complicado es evaluarse comparativamente con los competidores directos. El objetivo es compararse con las empresas que se mueven en los mismos mercados con productos, servicios o procesos de trabajo más competitivos.

##### **Benchmarking Funcional o de la Industria** (*evaluación comparativa con las mejores operaciones funcionales externas o con los líderes de la industria*)

Se puede hacer una evaluación comparativa con otras empresas pertenecientes al mismo sector industrial, que pueden ofrecer los mismos productos o servicios, pero que no compiten en el mismo mercado. El benchmarking de la industria tiende a establecer comparaciones entre empresas que comparten las mismas características tecnológicas y de mercado y a concentrarse en funciones específicas.

**Benchmarking Genérico o de Proceso** (*evaluación comparativa de un proceso en una o varias organizaciones diferentes*)

Este tipo de benchmarking se centra más en procesos de trabajo excelentes, que en las prácticas empresariales de una determinada organización o industria. Algunas funciones o procesos empresariales son los mismos a pesar de pertenecer a sectores industriales distintos.

#### **2.4.2. Análisis Morfológico**

El Análisis Morfológico es un método analítico-combinatorio (análisis analítico y análisis empírico - heurístico) cuyo objetivo es resolver problemas mediante el análisis de todas las partes que lo componen.

Se basa en la concepción de que cualquier objeto de nuestro pensamiento está compuesto o integrado por un cierto número de elementos, y en la consideración que

estos tienen identidad propia y pueden ser aislados para su respectivo análisis y generar nuevas posibilidades.

#### 2.4.2.1. Pasos para realizar el Análisis Morfológico:

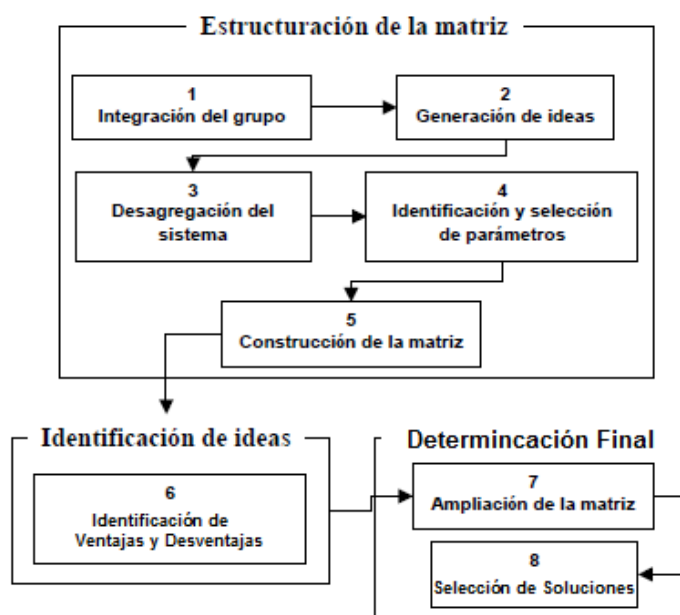


Ilustración 23. Procedimiento para Realizar Análisis Morfológico.

(Sánchez G. , 2009)

##### 2.4.2.1.1. Integración del Grupo y Generación de Ideas

El grupo se reúne en un lugar tranquilo y propicio para la concentración y óptimo desempeño de los miembros del grupo, incluido expertos o involucrados con el sistema, presto a apoyar con su conocimiento y nuevas ideas.

Una vez establecido el grupo de trabajo se expone la temática de diseño (*Fabricar una Estación de Manipulación y Almacenamiento*) seguido de los respectivos objetivos y alcance deseado para el proyecto. Se genera una lluvia de ideas, las cuales

en común acuerdo de todos los miembros del grupo serán posteriormente filtradas para seleccionar las posibles soluciones potencialmente aplicables a la temática de diseño.

#### **2.4.2.1.2. Desagregación del Sistema**

Con ayuda de las ideas seleccionadas en el paso de integración del grupo y generación de ideas, el sistema se desagrega o descompone en el nivel de análisis que se requiera: en partes, sistemas, funciones y sub funciones, variables, procesos, etc.

#### **2.4.2.1.3. Identificación, Selección de parámetros y Construcción de la Matriz**

Basándose en la información obtenida en la desagregación del sistema, se procede a identificar los parámetros necesarios para la construcción de la matriz morfológica como son: función, sub función y alternativa de solución.

Una vez armada la matriz morfológica se procede a la identificación de combinaciones que brinden opciones de solución final para la temática de diseño, las mismas que serán analizadas más a fondo en los siguientes pasos.

En este paso la Técnica de Benchmarking implica un factor muy importante para la identificación de combinaciones o soluciones ya existentes en el mercado o sector correspondiente a la temática de diseño.

#### **2.4.2.1.4. Identificación de Ventajas y Desventajas**

En este paso se analizan las ventajas y desventajas de cada sub función de la matriz morfológica, con el fin de aportar mayor información que sirva para seleccionar la solución final para la temática de diseño.

*¿Qué procedimiento elegir para solucionar cada función?*

#### **2.4.2.1.5. Ampliación de la Matriz (Matriz de Criterios Ponderados)**

Una vez establecidas las opciones de solución en la matriz morfológica, se procede a evaluarlas mediante la matriz de criterios ponderados. Esta herramienta sirve de mucha ayuda cuando se necesita seleccionar y ubicar las opciones en forma prioritaria, así mismo, esta herramienta ayuda a reducir el número de opciones, de modo que sea posible tomar decisiones con mayor facilidad, teniendo en cuenta que siempre es importante validar los resultados obtenidos de una selección cualitativa o subjetiva con una matriz de selección con información numérica como lo es la matriz de criterios ponderados. (Izar & Gonzales, 2010)

#### **2.4.2.1.6. Selección de las Soluciones**

Después de analizar las ventajas y desventajas de cada posible solución, los resultados arrojados por la matriz de criterios ponderados, el análisis de la matriz morfológica y la aplicación de la técnica de mejoramiento de la calidad ‘‘Benchmarking’’, en complemento con el aporte del conocimiento empírico heurístico y experiencia adquirida, se procede a seleccionar la mejor opción.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LOS SISTEMAS

#### 3.1.Sistemas:

##### 3.1.1. Sistema Mecánico

Un buen diseño mecánico debe producir elementos seguros, prácticos y adecuados, tal como lo especifica la ASME (3) en su Código de ética para ingenieros: **“Los ingenieros deberán mantener la supremacía de la seguridad, la salud y el bienestar del público en la realización de sus deberes profesionales”**. (ASME, 2010)

Pero a más de esto, la precisión y buena manufactura de la parte mecánica del equipo van a permitir el correcto funcionamiento y un fácil acople con los sistemas electrónicos y de control.

A continuación se detallan los componentes mecánicos del equipo:



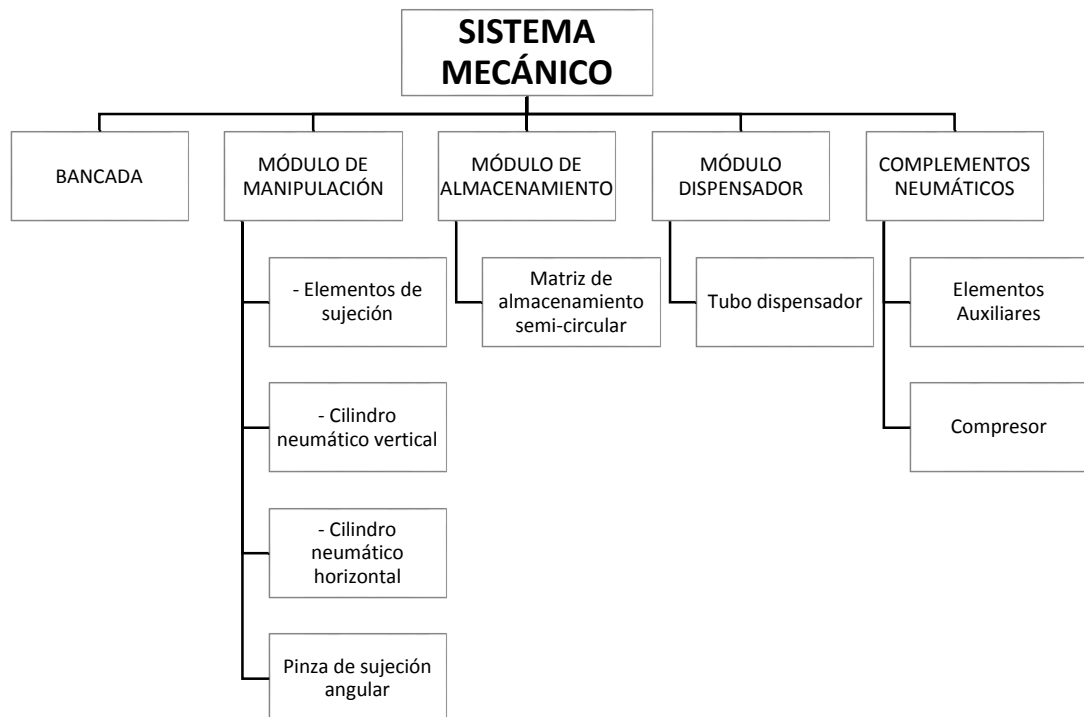


Ilustración 1. Elementos del Sistema Mecánico.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.1.1. Bancada:

Es la parte del sistema mecánico que va a servir de soporte para todos los elementos, ya sean mecánicos, eléctricos, electrónicos o de control incluidos cables y sistemas de alimentación neumática y eléctrica. Debe ser capaz de resistir el peso, movimiento, posibles vibraciones y su diseño tiene que ser ergonómico y seguro para el usuario.

Las dimensiones de la bancada son: 750mm\*470mm y de alto 200mm. El material escogido es aluminio, pues evita la corrosión, no es buen conductor de electricidad ni de calor y su peso es bajo.

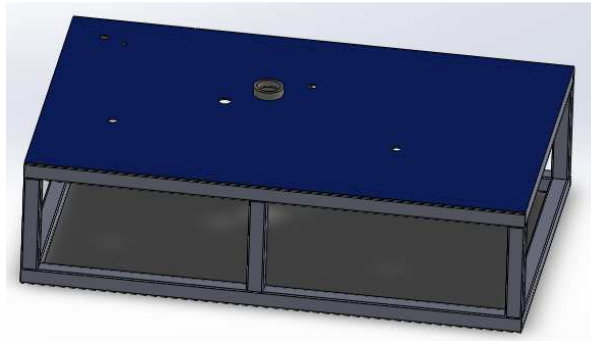


Ilustración 2. Bancada.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.1.2. Módulo de Manipulación:

Denominado así debido a que la interacción entre los componentes de este módulo permite tomar, trasladar y depositar las piezas en el lugar que les corresponde, es decir, permite la manipulación de objetos.

Este módulo comprende:

Los **cilindros neumáticos** con recorridos horizontal y vertical, que proporcionan dos de los tres grados de libertad que posee el equipo.

El **gripper neumático** para la manipulación de piezas, se encuentra ubicado en el extremo del cilindro horizontal. El gripper no necesita mucha fuerza, solo la necesaria para sostener las piezas cilíndricas de aproximadamente 20gr fabricadas en polipropileno ( $\rho=0.91 \text{ g/cm}^3$ ).

El **eje de giro y rodamientos** que están acoplados al motor eléctrico DC que proporciona el movimiento giratorio del equipo. Los rodamientos cumplen la función fundamental de reducir la fricción.

Los **mecanismos o elementos de sujeción** permiten acoplar los distintos componentes mecánicos, tomando en cuenta las fallas que se puedan presentar y el factor de seguridad impuesto.

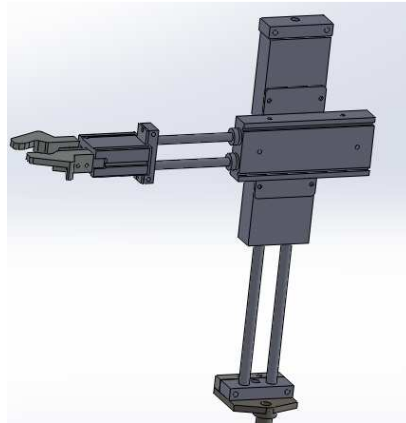


Ilustración 3. Módulo de manipulación.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.1.3. Módulo de almacenamiento:

Está compuesto por la matriz de almacenamiento semi-circular que contiene tres niveles de distribución y cada nivel posee espacio para seis piezas.

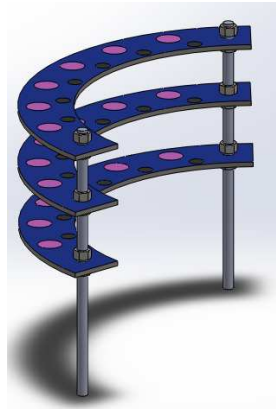


Ilustración 4. Módulo de almacenamiento.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

#### **3.1.1.4. Módulo dispensador:**

Es el lugar en donde se encuentran las piezas que van a ser seleccionadas y trasladadas al módulo de almacenamiento. Cuando el equipo trabaje independientemente, este módulo va a ser de gran utilidad, pero en el caso de que forme parte de un proceso, se lo puede omitir.

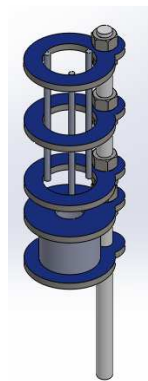


Ilustración 5. Módulo Dispensador.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.1.5. Elementos neumáticos:

Forman parte también del sistema mecánico, pues es necesario el cálculo de presión, velocidad y dimensionamiento para el correcto funcionamiento del equipo.

No hay que olvidar que al obtener el más bajo centro de gravedad de masa, se obtiene un mínimo balanceo, elevada precisión de posición y es reducido el esfuerzo del eje de giro.

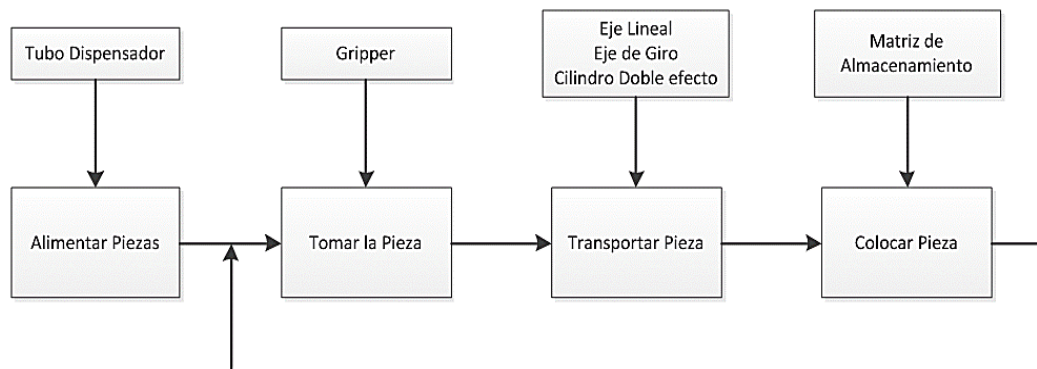


Ilustración 6. Diagrama de Bloques del Funcionamiento del Sistema Mecánico.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.2. Sistema Electrónico/Eléctrico

Sin lugar a dudas, un equipo automatizado precisa del uso de un sistema eléctrico/electrónico, en donde al trabajo manual es reducido u omitido ofreciendo una producción más eficiente y disminución de riesgos al operador.

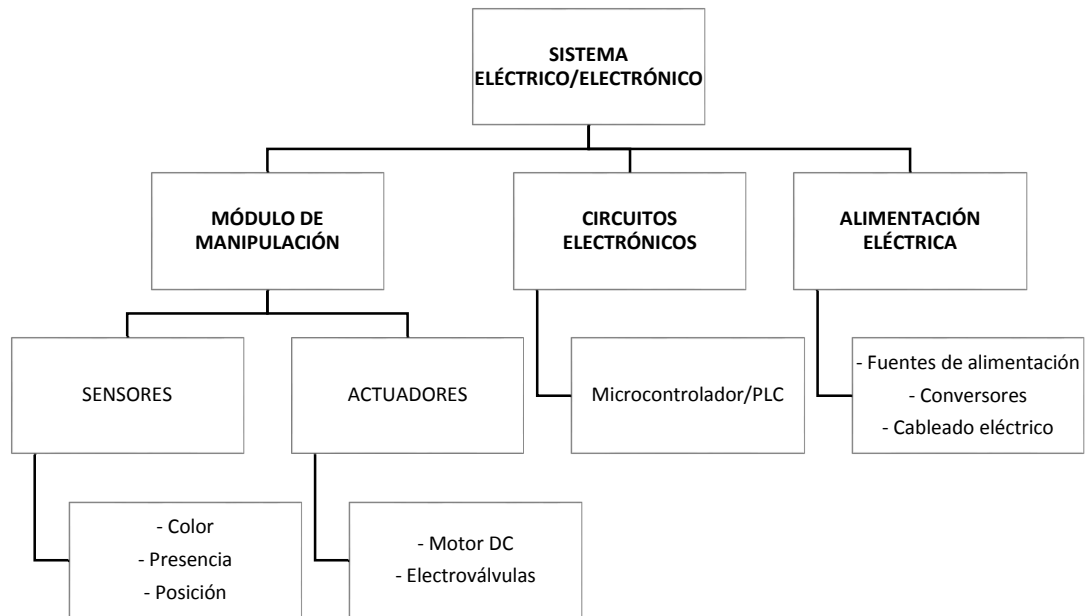


Ilustración 7. Elementos del Sistema Eléctrico/Electrónico.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.2.1. Módulo de Manipulación

Posee elementos del sistema eléctrico/electrónico tales como sensores y actuadores. Como se debe realizar la interfaz entre la planta y el PLC o el microcontrolador, los voltajes de alimentación de sensores y actuadores deben acoplarse al sistema de control con el que esté trabajando.

El sensor de color va determinar el color de la pieza y el nivel en el que debe ser ubicada.

El sensor de presencia indicará la existencia de piezas tanto en el módulo dispensador como en los espacios del módulo de almacenamiento. El sensor está ubicado en los dedos de la pinza.

El sensor de posición ayuda a ubicar el mecanismo en el espacio destinado para el depósito de piezas. De igual forma, está ubicado en los dedos de la pinza. Existen otro tipo de sensores de posición ubicados en los cilindros neumáticos y en el cuerpo del gripper para determinar la ubicación del émbolo.

Los actuadores son comandados por electroválvulas que a su vez se rigen por los parámetros de control.

El servomotor eléctrico genera el movimiento rotatorio del equipo. Su respuesta debe ser inmediata y es necesario un punto de referencia con el fin de obtener posiciones inalterables.

Circuitos Electrónicos permiten acoplar voltajes o corrientes, dependiendo de los requerimientos del proceso. Estos circuitos son necesarios debido a la dualidad del control del equipo y de los diferentes componentes electrónicos.

**Alimentación eléctrica:** el equipo va a conectarse directamente a la red eléctrica, pero los elementos no trabajan a 110V, por lo que son necesarias fuentes de poder con diferentes voltajes y amperajes.

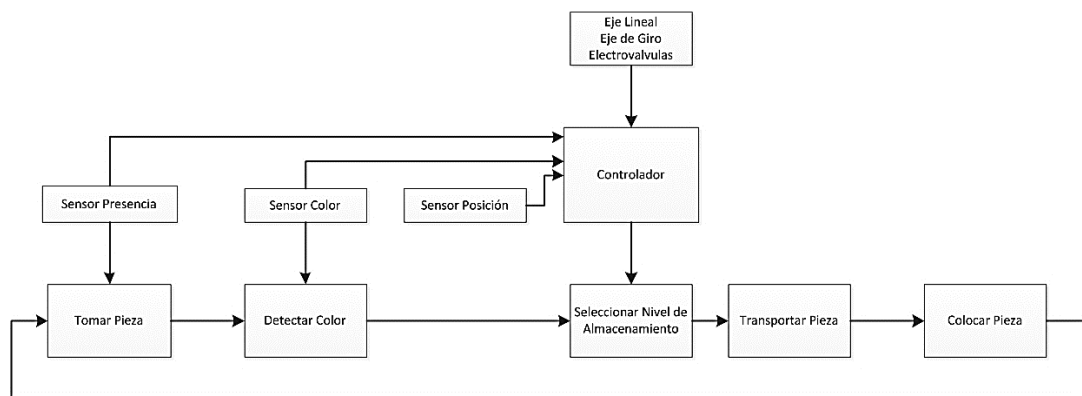


Ilustración 8. Funcionamiento del Sistema Electrónico/Eléctrico.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.1.3. Sistemas De Control

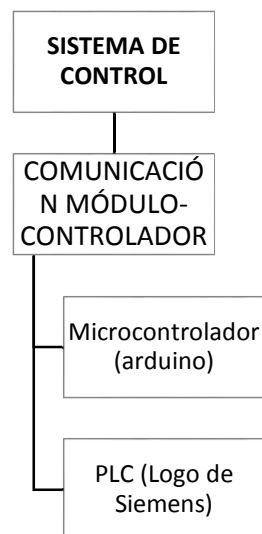


Ilustración 9. Elementos del sistema de control.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Como se trata de un equipo didáctico, el control de la estación se lo va a realizar por dos métodos:



**PLC:** Este controlador permite el funcionamiento del equipo y el desarrollo de las capacidades lógicas del alumno cuando este realiza la secuencia de operación. El tipo de PLC depende de la cantidad y tipo de entradas y salidas requeridas.

**Microcontrolador:** Realiza el mismo trabajo que el PLC, inclusive la lógica de programación no es alterada, pero el lenguaje de programación que manejan los dos controladores es diferente, por lo que el estudiante deberá poseer conocimientos de ambos métodos.

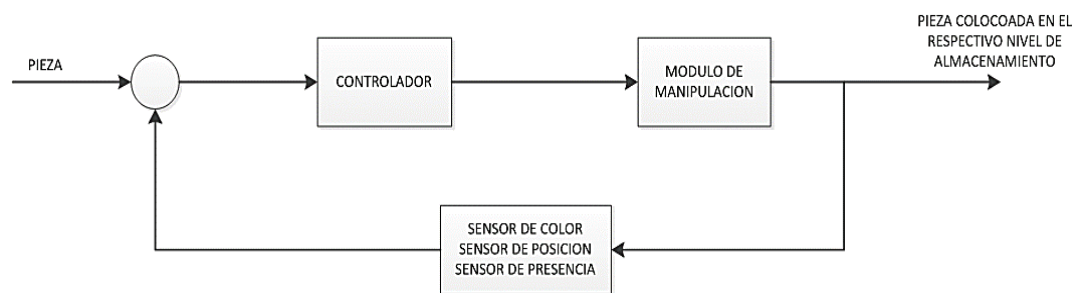


Ilustración 10: Lazo de Sistema de Control.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.2. Definición de parámetros fundamentales

- Factor de seguridad mínimo:  $FS=2$
- Masa de las piezas a sostener:  $m=20\text{gr}$
- Aceleración en paro de emergencia:  $a_N=10\text{ m/s}^2$
- Aceleración gravitacional:  $G=9.8\text{ m/s}^2$
- Presión de diseño:  $P=4\text{ bar}$
- Potencia del motor:  $6\text{W } 24\text{V}$  (Catálogo de Motores Eléctricos Bosch, 2012)
- Material de las piezas: Nylon Poliamida (duralón)

- Material de la bancada: Perfiles de acero, tubo cuadrado 20mm espesor 2mm
- Material de la plancha base: Aluminio corrugado 2mm de espesor
- Material para el eje de giro: Acero de transmisión AISI-SAE 1018
- Material de soportes: Aluminio 1060 H18
- Material para placas de dispensador: Acero comercial AISI 1010
- Material de los dedos de la pinza: Aluminio 1060 H18

### **3.2.1. Definición de parámetros dimensionales**

- Ángulo de apertura de las pinzas:  $\text{Ángulo}=30^\circ$  (Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)
- Carrera del cilindro horizontal: 70mm
- Carrera del cilindro vertical: 150mm
- Cantidad de piezas en cada nivel: 6
- Cantidad de niveles: 3

### **3.3. Normativas Técnicas**

Norma IEC 6061 / UNE EC 60617 para planos eléctricos.

Norma INEN CPE-003 para planos mecánicos

Norma UNE-101 149 86 / ISO 1219 para instalaciones neumáticas

### 3.4. Alternativas y Soluciones

#### 3.4.1. Análisis de posibles alternativas

Las alternativas que se analizarán a continuación corresponden al diseño de los sistemas: mecánico, eléctrico/electrónico y de control acorde a lo especificado al inicio del presente capítulo. (Kozak, 2010)

##### 3.4.1.1. Desagregación del Sistema

- **Función General del Sistema:**

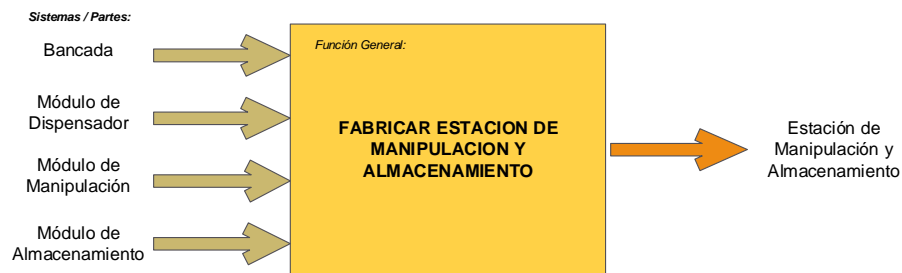


Ilustración 11. Sistema General: Estación de Manipulación y Almacenamiento.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

- **Sub Funciones del Sistema:**

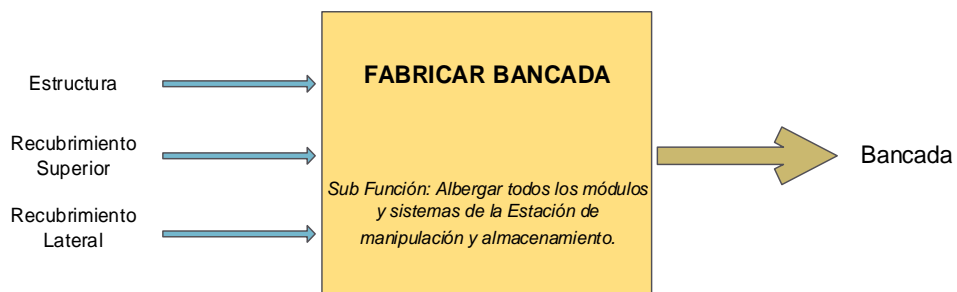


Ilustración 12. Sub Función Fabricar Bancada.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

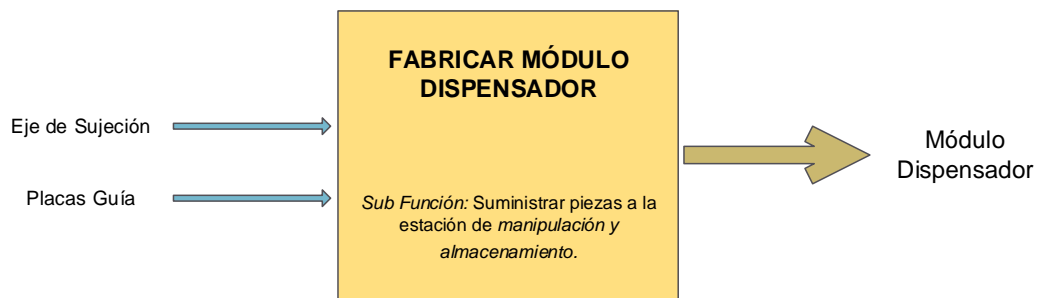


Ilustración 13. Sub Función Fabricar Módulo Dispensador.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.



Ilustración 14. Sub Función Fabricar Módulo de Manipulación.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

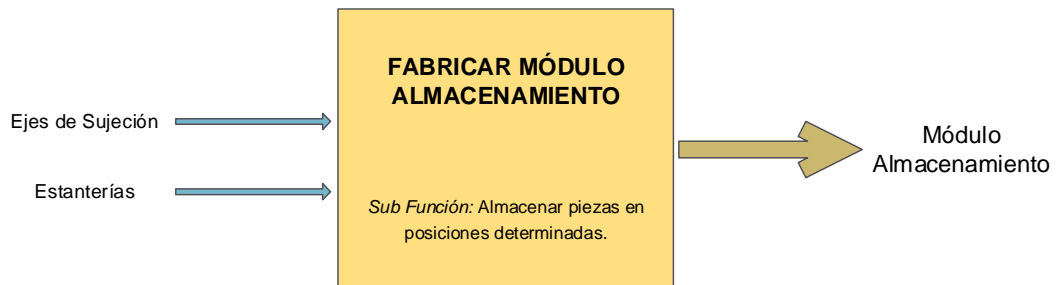


Ilustración 15. Sub Función Fabricar Módulo de Almacenamiento.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.4.1.2. Identificación, Selección de parámetros y Construcción de la Matriz

Tabla 2. Funciones Generales: Fabricar Estación de Manipulación y Almacenamiento.

---

**Función\_1: Fabricar BANCADA**

<i>Sub Función</i>	<b>A1</b>	<b>B1</b>	<b>C1</b>
<b>SF11: Construir Estructura</b>	Soldada con perfiles acero rectangulares	Remachada con perfiles aluminio rectangulares	-----
<b>SF21: Seleccionar Recubrimiento Superior</b>	Plancha de Acero laminado con labrado	Plancha de Acero laminado liso	Armada con perfiles de Aluminio
<b>SF31: Seleccionar Recubrimiento Lateral</b>	Acrílico acoplado a estructura con alzas	Acrílico totalmente pegado a la estructura	Policarbonato

o11

o21

o31

---

**Función\_2: Fabricar MÓDULO DISPENSADOR**

<i>Sub Función</i>	<b>A2</b>	<b>B2</b>	<b>C2</b>
<b>SF12: Seleccionar Eje de Sujeción</b>	Eje de Acero (torneado)	Eje Galvanizado Roscado	-----
<b>SF22: Construir Placas Guía</b>	Aluminio	Acero	----

o12

o22

---

**Función\_3: Fabricar MÓDULO DE MANIPULACIÓN**

<i>Sub Función</i>	<b>A3</b>	<b>B3</b>	<b>C3</b>
<b>SF13: Seleccionar Efecto Final</b>	Gripper Neumático (Paralelo)	Gripper Neumático (Angular)	Ventosa de Vacío



Tabla 3. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función: Fabricar Bancada

<i>SF11: Construir Estructura</i>		
Solución	Ventajas	Desventajas
<b>Soldada con perfiles aceros rectangulares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite darle forma sin dificultad.</li> <li>• Rigidez.</li> <li>• Resistente.</li> <li>• Seguridad.</li> <li>• Permite soldadura con electrodo revestido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor peso</li> </ul>
<b>Remachada con perfiles aluminio rectangulares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor peso</li> <li>• Fácil y Rápido ensamblaje</li> <li>• Permite darle forma sin mayor dificultad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca rigidez.</li> <li>• No permite el acople de otras piezas.</li> <li>• Requiere de soldadura especializada (TIG)</li> <li>• Rango de Carga limitada.</li> <li>• Demasiados remaches no ayudan a la estética del producto final.</li> </ul>

---

*SF21: Seleccionar Recubrimiento Superior*


---

<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Plancha de Acero laminado con labrado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto Estético y agradable a la vista</li> <li>• Facilidad para fijarlo a la estructura</li> <li>• Brida rigidez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No permite que etiquetas de información se adhieran uniformemente en toda la superficie.</li> <li>• Peso</li> </ul>
<b>Plancha de Acero laminado liso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad para fijarlo a la estructura</li> <li>• Brida rigidez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> </ul>
<b>Armada con perfiles de Aluminio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor Peso</li> <li>• Estética</li> <li>• Requiere de mayor tiempo para dejarlo en la forma final deseada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para darle forma</li> <li>• Poca resistencia de carga</li> <li>• Requiere de soldadura especializada para poder añadir nuevas piezas o fijarlo a la estructura.</li> <li>• Costo</li> </ul>

---



---

*SF31: Seleccionar Recubrimiento Lateral*

---

Procedimiento	Ventajas	Desventajas
<b>Acrílico acoplado a estructura con alzas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere de un corte preciso en todos sus lados para poder acoplarse con facilidad a la estructura sin generar ningún tipo de fricción o pandeo de la plancha de acrílico.</li> <li>• Permite ventilar a los elementos presentes dentro de la estructura.</li> <li>• No presenta daños cuando está expuesto a largos periodos de tiempo a la intemperie.</li> <li>• Puede fácilmente adquirir formas por diversos métodos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere de mayor tiempo y cuidado al momento de ensamblar la plancha de acrílico junto con las alzas.</li> <li>• Requiere de varios puntos de sujeción para quedar sujeta con total seguridad y brindar rigidez.</li> </ul>

---

---

convencionales

como una cuchilla

con punta de corte.

- Más resistente que el vidrio, no se astilla y es un buen aislante eléctrico.

<p><b>Acrílico totalmente pegado a la estructura</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presenta daños cuando está expuesto a largos periodos de tiempo a la intemperie.</li> <li>• Puede fácilmente adquirir formas por diversos métodos convencionales como una cuchilla con punta de corte.</li> <li>• Más resistente que el vidrio, no se astilla y es un buen aislante eléctrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de cortes con total precisión, y una estructura totalmente simétrica para poder acoplarse sin generar inconvenientes.</li> <li>• No es fácilmente desmontable.</li> <li>• No permite la ventilación para los elementos que se encuentran dentro de la estructura.</li> </ul>
--	---	--

---

---

<b>Policarbonato</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia elevada a golpes</li> <li>Resistencia y rigidez</li> <li>Estabilidad dimensional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo elevado</li> <li>Susceptible a fisuras causadas por esfuerzos</li> <li>Requiere de experiencia y herramientas adecuadas para poder darle forma.</li> </ul>
----------------------	--	---

---

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

***Función\_2:* Manufacturar PLACA DE SUJECIÓN**

Tabla 4. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función: Manufacturar Placa de Sujeción

***SF12: Seleccionar Eje de Sujeción***

---

<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Eje de Acero (torneado)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia y durabilidad elevada</li> <li>Rigidez</li> <li>Permite cargas elevadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo de material y manufactura elevado</li> <li>Requiere de mucho material</li> <li>Peso Elevado</li> <li>Requiere de un recubrimiento externo para que</li> </ul>

---

tenga un acabado agradable a la vista.

<b>Eje Galvanizado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al tener un solo punto de sujeción y altura, es susceptible a vibraciones causadas por elementos del proceso en movimiento.</li> </ul>
<b>Roscado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo</li> <li>• Estético, agradable a la vista</li> <li>• No requiere de recubrimiento externo</li> <li>• Al ser roscado permite acoplar piezas a diferentes alturas con facilidad.</li> <li>• Fácil ensamblaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No brinda mucha rigidez.</li> </ul>

***SF22: Construir Placas Guía***

<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Aluminio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo Peso</li> <li>• No requiere de mucho esfuerzo para agujerearlo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al tener solo dos puntos de sujeción, no brinda rigidez homogénea a lo largo de toda la placa, siendo un factor crítico la altura a la que se ubica cada placa.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• No resiste al corte por plasma</li> </ul>
<b>Acero</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga Vida útil</li> <li>• Permite corte con plasma, lo cual es de vital importancia cuando se requiere realizar cortes con perfiles circulares y bien definidos.</li> <li>• Alta capacidad de Carga</li> <li>• Brinda rigidez a lo largo de toda la placa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> <li>• Requiere de mayor esfuerzo para poder agujerearlo</li> </ul>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### ***Función\_3:* Fabricar MÓDULO DE MANIPULACIÓN**

Tabla 5. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función: Fabricar Módulo de Manipulación

<b><i>SF13: Seleccionar Efactor Final</i></b>		
<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Gripper</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiten el montaje de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo Elevado</li> </ul>
<b>Neumático</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dedos de sujeción largos.</li> </ul>	
<b>(Paralelo)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de Carga elevado</li> </ul>	

- Garantizan precisión y flexibilidad durante la instalación.
- Algunos modelos permiten regular la apertura entre dedos.
- Bajo consumo de suministro neumático.

<b>Gripper Neumático (Angular)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo Costo</li> <li>• Rango de Carga elevado</li> <li>• Garantizan precisión y flexibilidad durante la instalación.</li> <li>• Bajo consumo de suministro neumático.</li> <li>• Brinda flexibilidad de diseño para los dedos de sujeción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No permiten regular el grado de apertura de los dedos.</li> </ul>
<b>Ventosa de Vacío</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se limita a una forma definida del objeto a sujetar.</li> <li>• No requiere del acople de dedos externos para poder sujetar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo Elevado</li> <li>• Requiere de accesorios extra para poder funcionar.</li> </ul>

- Al ser las piezas a sujetar con forma cilíndrica no tiene una amplia área de sujeción.
- Mayor consumo de suministro neumático.

**SF23: Seleccionar Actuador Movimiento Vertical**

Procedimiento		Ventajas	Desventajas
<b>Eje Neumático (Sencillo)</b>	<b>Lineal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere de mantenimiento continuo</li> <li>• Brindan velocidad</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Bajo Peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasa capacidad de Carga</li> <li>• Requieren de accesorios extra para su fijación</li> <li>• No brindan sistema antigiro</li> </ul>
<b>Eje Neumático (Vástagos Paralelos Antigiro)</b>	<b>Lineal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta capacidad de carga</li> <li>• Brindan sistema antigiro y antitorsión</li> <li>• Soportan relativamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo</li> <li>• Peso</li> </ul>

---

grandes momentos y

cargas laterales

- Brindan velocidad
- No necesita de unidad de lubricación
- Montaje simple, sin accesorios extra
- No requieren de mantenimiento continuo

<p><b>Eje Eléctrico</b></p>	<p><b>Lineal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brindan precisión y repetitividad de posicionamiento.</li> <li>• Alta capacidad de carga</li> <li>• Fácil montaje</li> <li>• Movimiento seguro y limpio</li> <li>• No requiere de mantenimiento continuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo excesivamente Elevado</li> <li>• Requieren de un contralor extra para administrar el motor.</li> </ul>
-----------------------------	---	---



**SF33: Seleccionar Actuador Movimiento Horizontal**

<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Cilindro Neumático (Sencillo)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere de mantenimiento continuo</li> <li>• Brindan velocidad</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Bajo Peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasa capacidad de Carga</li> <li>• Requieren de accesorios extra para su fijación</li> <li>• No brindan sistema antigiro</li> </ul>
<b>Cilindro Neumático (Vástagos Paralelos Antigiro)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta capacidad de carga</li> <li>• Brindan sistema antigiro y antitorsión</li> <li>• Soportan relativamente grandes momentos y cargas laterales</li> <li>• Brindan velocidad</li> <li>• No necesita de unidad de lubricación</li> <li>• Montaje simple, sin accesorios extra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo</li> <li>• Peso</li> </ul>

- No requieren de mantenimiento continuo

***SF43: Seleccionar Actuador de Giro***

<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Motor a Pasos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiten realizar un control del ángulo de rotación el cual es proporcional a los pulsos de entrada.</li> <li>• No requiere de mantenimiento continuo</li> <li>• No genera vibraciones</li> <li>• Alto par de torsión</li> <li>• Velocidad constante</li> <li>• Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda el doble de entradas de las que necesitaría un motor dc para realizar su control.</li> </ul>
<b>Motor DC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto par de Torsión</li> <li>• Velocidad constante</li> <li>• Potencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren de elementos o sistemas externos para realizar</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son de tamaño relativamente reducido.</li> <li>• Control de velocidad sencillo</li> <li>• No requiere de mantenimiento continuo</li> <li>• No genera vibraciones</li> <li>• Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa.</li> </ul>	<p>el control de su posición.</p>
<b>Actuador Neumático</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta ante arranque, parada y reversa instantánea.</li> <li>• No requiere de mantenimiento continuo</li> <li>• Par y potencia regulables variando la presión de trabajo</li> <li>• No pueden quemarse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al necesitar el control de varias posiciones de giro, requeriría de un número elevado de sensores de posición.</li> <li>• Genera vibraciones en el arranque.</li> <li>• Costo elevado</li> </ul>

**Función\_4:** Fabricar **MÓDULO ALMACENAMIENTO**

Tabla 6. Matriz de Ventajas y Desventajas - Función: Fabricar Módulo de Almacenamiento

<i>SF14: Seleccionar Eje de Sujeción</i>		
Procedimiento	Ventajas	Desventajas
<b>Eje de Acero (torneado)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia y durabilidad elevada</li> <li>Rigidez</li> <li>Permite cargas elevadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo de material y manufactura elevado</li> <li>Requiere de mucho material</li> <li>Peso Elevado</li> <li>Requiere de un recubrimiento externo para que tenga un acabado agradable a la vista.</li> </ul>
<b>Eje Galvanizado Roscado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo peso</li> <li>Bajo costo</li> <li>Estético, agradable a la vista</li> <li>No requiere de recubrimiento externo</li> <li>Permite acoplar piezas a diferentes alturas con facilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al tener un solo punto de sujeción y altura, es susceptible a vibraciones causadas por elementos del proceso en movimiento.</li> <li>No brinda mucha rigidez.</li> </ul>

---

**SF24: Construir Placas Guía**

<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Aluminio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo Peso</li> <li>• No requiere de mucho esfuerzo para agujerearlo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al tener solo dos puntos de sujeción, no brinda rigidez homogénea a lo largo de toda la placa, siendo un factor crítico la altura a la que se ubica cada placa.</li> <li>• No resiste al corte por plasma</li> </ul>
<b>Acero</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga Vida útil</li> <li>• Permite corte con plasma, lo cual es de vital importancia cuando se requiere realizar cortes con perfiles circulares y bien definidos.</li> <li>• Alta capacidad de Carga</li> <li>• Brinda rigidez a lo largo de toda la placa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> <li>• Requiere de mayor esfuerzo para poder agujerearlo</li> </ul>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### 3.4.1.4. Ampliación de la Matriz (Matriz de Criterios Ponderados)

Tabla 7. Matriz de Criterios Ponderados - Función: Fabricar Bancada

<b>Función_1: Fabricar BANCADA</b>								
Valor del Criterio	Criterio	Opción	O11		O21		O31	
			C	A	C	A	C	A
4,5	Montaje		7	0,315	5	0,225	7	0,315
7,2	Manufacturabilidad		8	0,576	7	0,504	6	0,432
6,1	Seguridad		9	0,549	8	0,488	7	0,427
5,5	Mantenimiento		7	0,385	5	0,275	6	0,33
9,1	Costos		5	0,455	4	0,364	5	0,455
6,2	Vibraciones		9	0,558	9	0,558	7	0,434
2,1	Tamaño		5	0,105	5	0,105	5	0,105
1,3	Peso		2	0,026	4	0,052	4	0,052
7,5	Durabilidad		9	0,675	9	0,675	9	0,675
8,2	Funcionalidad		8	0,656	8	0,656	7	0,574
7,5	Piezas Estándar		8	0,6	8	0,6	8	0,6
7,5	Acceso a Repuestos		8	0,6	8	0,6	8	0,6
<b>Calificación Total</b>			<b>5,50</b>		<b>5,10</b>		<b>5,00</b>	

*C: Calificación*

*A: Alternativa = (valor del Criterio\*C)/100*

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 8. Matriz de Criterios Ponderados - Función: Fabricar Módulo Dispensador

<b>Función_2: Fabricar MÓDULO DISPENSADOR</b>								
Valor del Criterio	Criterio	Opción	O12		O22		O32	
			C	A	C	A	C	A
4,5	Montaje		6	0,27	8	0,36		

7,2	Manufacturabilidad	6	0,432	9	0,648
6,1	Seguridad	7	0,427	7	0,427
5,5	Mantenimiento	7	0,385	8	0,44
9,1	Costos	6	0,546	8	0,728
6,2	Vibraciones	3	0,186	6	0,372
2,1	Tamaño	6	0,126	6	0,126
1,3	Peso	8	0,104	5	0,065
7,5	Durabilidad	7	0,525	9	0,675
8,2	Funcionalidad	8	0,656	8	0,656
7,5	Piezas Estándar	7	0,525	7	0,525
7,5	Acceso a Repuestos	7	0,525	7	0,525
<b>Calificación Total</b>		<b>4,71</b>		<b>5,55</b>	

*C: Calificación*

*A: Alternativa = (valor del Criterio\*C)/100*

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 9. Matriz de Criterios Ponderados - Función: Fabricar Módulo de Manipulación

<b>Función_3: Fabricar MÓDULO DE MANIPULACIÓN</b>							
Valor del Criterio	Opción Criterio	O13		O23		O33	
		C	A	C	A	C	A
4,5	Montaje	8	0,36	8	0,36	5	0,225
7,2	Manufacturabilidad	7	0,504	7	0,504	7	0,504
6,1	Seguridad	8	0,488	8	0,488	8	0,488
5,5	Mantenimiento	9	0,495	9	0,495	7	0,385
9,1	Costos	7	0,637	4	0,364	2	0,182
6,2	Vibraciones	8	0,496	8	0,496	9	0,558
2,1	Tamaño	9	0,189	9	0,189	9	0,189
1,3	Peso	6	0,078	6	0,078	7	0,091

7,5	Durabilidad	7	0,525	9	0,675	7	0,525
8,2	Funcionalidad	9	0,738	8	0,656	8	0,656
7,5	Piezas Estándar	7	0,525	7	0,525	7	0,525
7,5	Acceso a Repuestos	8	0,6	8	0,6	8	0,6
<b>Calificación Total</b>		<b>5,64</b>		<b>5,43</b>		<b>4,93</b>	

*C: Calificación*

*A: Alternativa = (valor del Criterio\*C)/100*

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 10. Matriz de Criterios Ponderados - Función: Fabricar Módulo de Almacenamiento

<b>Función_4: Fabricar MÓDULO ALMACENAMIENTO</b>								
Valor del Criterio	Criterio	Opción	O14		O24		O34	
			C	A	C	A	C	A
4,5	Montaje		6	0,27	8	0,36		
7,2	Manufacturabilidad		6	0,432	9	0,648		
6,1	Seguridad		7	0,427	7	0,427		
5,5	Mantenimiento		7	0,385	8	0,44		
9,1	Costos		6	0,546	8	0,728		
6,2	Vibraciones		3	0,186	6	0,372		
2,1	Tamaño		6	0,126	6	0,126		
1,3	Peso		8	0,104	5	0,065		
7,5	Durabilidad		7	0,525	9	0,675		
8,2	Funcionalidad		8	0,656	8	0,656		
7,5	Piezas Estándar		7	0,525	7	0,525		
7,5	Acceso a Repuestos		7	0,525	7	0,525		
<b>Calificación Total</b>			<b>4,71</b>		<b>5,55</b>			

*C: Calificación*

*A: Alternativa = (valor del Criterio\*C)/100*

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel



### 3.4.1.5. Selección de las Soluciones

#### **Función 1:** Fabricar **BANCADA**

Opción 1 (O11) que corresponde a:

- Sub función SF11 (*Construir Estructura*) la solución por: *Estructura soldada con perfiles de acero rectangulares.*
- Sub función SF21 (*Seleccionar Recubrimiento Superior*) la solución por: *Plancha de Acero Laminado con Labrado.*
- Sub función SF31 (*Seleccionar Recubrimiento Lateral*) la solución por: *Acrílico acoplado a estructura con alzas.*

#### **Función 2:** Fabricar **MODULO DISPENSADOR**

Opción 2 (O21) que corresponde a:

- Sub función SF12 (*Seleccionar Eje de Sujeción*) la solución por: *Eje Galvanizado Roscado.*
- Sub función SF22 (*Construir Placas Guía*) la solución por: *Placas Guía de Acero.*

#### **Función 3:** Fabricar **MODULO DE MANIPULACION**

Opción 2 (O23) que corresponde a:

- Sub función SF13 (*Seleccionar Efector final*) la solución por: *Gripper Neumático (Angular)*

- Sub función SF23 (*Seleccionar Actuador Movimiento Vertical*) la solución por: *Eje Lineal Neumático (Vástagos Paralelos - Sistema Antigiro)*.
- Sub función SF33 (*Seleccionar Actuador Movimiento Horizontal*) la solución por: *Cilindro Neumático (Vástagos Paralelos - Sistema Antigiro)*.
- Sub función SF43 (*Seleccionar Actuador de Giro*) la solución por: *Motor DC*.

#### **Función 4:** Fabricar **MODULO DE ALMACENAMIENTO**

Opción 2 (O24) que corresponde a:

Sub función SF14 (*Seleccionar Eje de Sujeción*) la solución por: *Eje Galvanizado Roscado*.

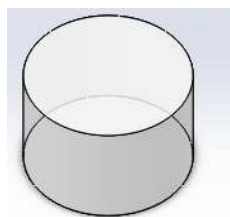
Sub función SF24 (*Construir Placas Guía*) la solución por: *Placas Guía de Acero*.

### **3.5. Diseño del Sistema Mecánico**

#### **3.5.1. Consideraciones Generales de Diseño**

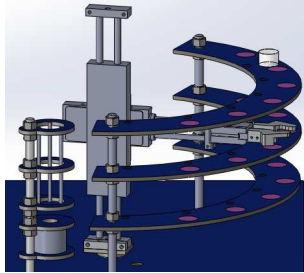
Para llegar al diseño definitivo del equipo didáctico de almacenamiento se han tomado algunas consideraciones, sobre todo geométricas. A continuación se detalla el orden e importancia de cada consideración:

##### **1. Peso de las piezas**



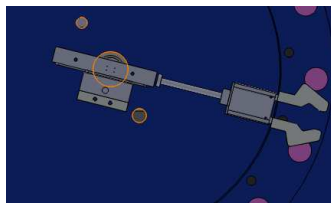
El diseño del equipo se basa principalmente en el peso de las piezas (20gr) que se van a transportar, pues de este y otros factores depende la selección de cilindros y el torque del motor.

**2. Carrera del cilindro neumático  
de movimiento vertical.**



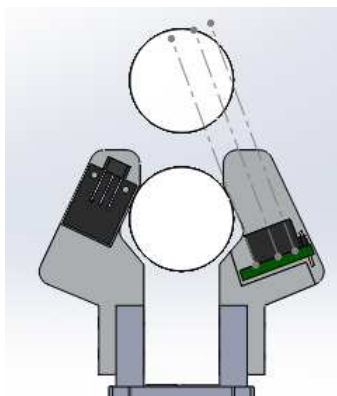
La carrera que posee este elemento determina la separación entre estantes del módulo de almacenamiento y la altura del módulo dispensador.

**3. Carrera del cilindro neumático  
de movimiento horizontal**



De la carrera de este cilindro depende la ubicación y tamaño del módulo de almacenamiento.

**4. Ubicación del sensor magnético**

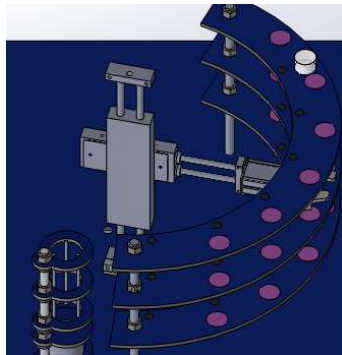


La localización de este sensor tiene diferentes posiciones dependiendo del tipo de controlador que se esté utilizando. Pero para el diseño se tomó una posición constante que corresponde a la mitad de la carrera del cilindro neumático de recorrido horizontal y determina la ubicación de los imanes en los estantes.

### 5. *Movimiento del equipo*

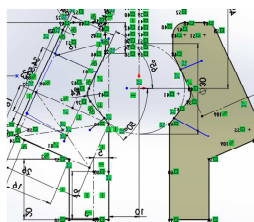
El tipo de movimiento determina la geometría de los estantes y la ubicación de todos los elementos.

### 6. *Posición de pieza en estante*



Determinarán la geometría del módulo de almacenamiento.

### 7. *Geometría de las piezas*



El diseño de los dedos del gripper se lo elaboró de acuerdo a la geometría de las piezas.

### 8. *Factor de seguridad >2*

Valor mínimo que debe tener cada uno de los componentes para garantizar el buen funcionamiento del equipo.  $fs=2$

es utilizado para estructuras bajo cargas estáticas. (Mott, 2010)

### 9. Presión de operación

Otro elemento que debe ser considerado para el diseño, es la presión a la cual el equipo va a funcionar. Las presiones más utilizadas son 0.4 (equipo) y 0.6 MPa (compresor).

## 3.5.2. Diseño del Módulo de Manipulación

### 3.5.2.1. Diseño del eje de giro.

El eje de giro posee fuerzas axiales y de torsión:

**Datos:**

$$F = 24 \text{ N}$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$T = 7.5 \text{ Nm}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x = F$$

$$\sum F_z = 0$$

$$A_z + B_z = 0$$

$$A_z = -B_z$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_y - B_z \cdot (35) = 0$$

$$B_z = \frac{M_y}{35}$$

$$\sigma_{Fuerza} = \frac{F}{A} \qquad \tau = \frac{T \cdot r}{J} \qquad \sigma_M = \frac{M \cdot r}{I}$$

$$\sigma_{Fuerza} = 0.2 \text{ N/mm}^2 \qquad \tau = 37.3 \text{ N/mm}^2 \qquad \sigma_M = 0.6 \text{ N/mm}^2$$

Utilizando como material un Acero de transmisión comercial AISI 1018 que es el más común, se obtiene los siguientes valores de factor de seguridad:

**Datos:**

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_F + \sigma_M$$

$$\tau_{max} = 37.3$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \mathbf{275}$$

$$n = \frac{S_y}{\tau} = \mathbf{5.89}$$

Lo cual indica que el material elegido: Acero de transmisión comercial AISI 1018.

Y el diámetro: 16mm, SI cumplen con las condiciones de diseño  $fs > 2$

### 3.5.2.2. Diseño de los mecanismos de Sujeción

**Consideraciones:**

Para el análisis del diseño de los diferentes mecanismos utilizados para la sujeción de los elementos que forman parte del equipo, se ha utilizado como herramienta de diseño al Software de Ingeniería SolidWorks, el cual que permite realizar una simulación estructural de las piezas y ensamblajes a implementarse.

Para determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos con el software, se desarrollarán manualmente los cálculos de una de las sujeciones que posteriormente serán comparados con los resultados obtenidos mediante Solidworks.

Para determinar el área de aplicación de las cargas fijas debido a la sujeción con pernos, se ha tomado en cuenta el cono de presión de Rotscher con un ángulo  $\alpha$  constante de  $30^\circ$ .

### 3.6.2.2.1. Soporte 1

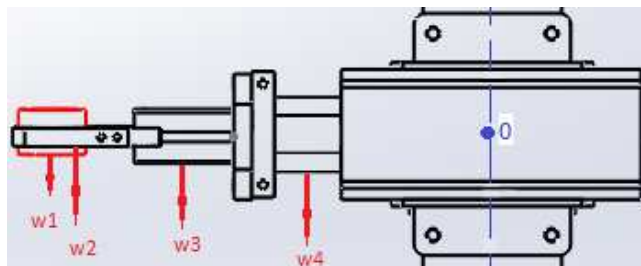


Ilustración 16. Fuerzas que intervienen en el Soporte 1.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Tabla 11. Datos Referencia Soporte 1.

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa pieza	w <sub>1</sub>	0.020	Kg
masa dedo	w <sub>2</sub>	0.040	Kg
Masa gripper	w <sub>3</sub>	0.200	Kg
Masa vástago	w <sub>4</sub>	0.024	Kg
DISTANCIA 0 - d <sub>1</sub>		247.00	mm
W <sub>1</sub>			
DISTANCIA 0 - d <sub>2</sub>		234.50	mm
W <sub>2</sub>			

<b>DISTANCIA 0 - d<sub>3</sub></b>	178.50	mm
<b>W<sub>3</sub></b>		
<b>DISTANCIA 0 - d<sub>4</sub></b>	107.00	mm
<b>W<sub>4</sub></b>		

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

$$\sum M_0 = (w_1 * d_1 + 2 * w_2 * d_2 + w_3 * d_3 + 2 * w_4 * d_4) * g$$

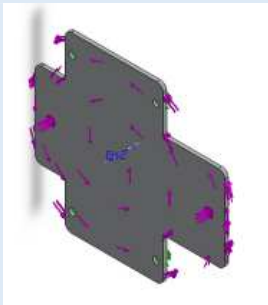
$$\sum M_0 = 0.55 [Nf.m]$$

$$\sum F = m_{total} * g$$

$$\sum F = 1.5 [N]$$

**Análisis:**

Tabla 12. Análisis Soporte 1

<b>PIEZA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>PROPIEDADES</b>
<b>VOLUMÉTRICAS</b>		
	Acople	Masa:0.0599443 kg
	entre	Volumen:2.21605e-005 m <sup>3</sup>
	cilindros	Densidad:2705 kg/m <sup>3</sup>
	neumáticos	Peso:0.587454 N

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel



El análisis se lo ha realizado tomando en cuenta los diferentes modos de falla que pueden darse debido a la conexión con pernos excéntricos.

Para el análisis de una unión a cortante, es importante la ubicación del centro del movimiento relativo de los dos elementos. Bajo este supuesto, el punto pivote está en el centroide del patrón del área de la sección transversal de los pernos. Para este efecto, se ha dividido al elemento en tres rectángulos de la siguiente forma:

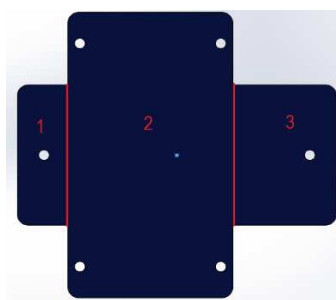


Ilustración 17. División en Secciones del Soporte 1.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Tabla 13. Datos Referencia para Soporte 1

COMPONENTE	$A_i$	$\bar{X}_i$	$\bar{Y}_i$	$A_i\bar{X}_i$	$A_i\bar{Y}_i$
<b>Rectángulo 1</b>	1026	9.5	55	9747	56430
<b>Rectángulo 2</b>	6820	50	55	341000	375100
<b>Rectángulo 3</b>	2106	100.5	55	211653	115830
$\Sigma$	9952			562400	547360

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

$$\bar{X} = \frac{\sum A_i\bar{X}_i}{\sum A_i} = 56.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum A_i\bar{Y}_i}{\sum A_i} = 55$$

$$Ci = (56.5; 55)$$

El diagrama de cuerpo libre del elemento es:

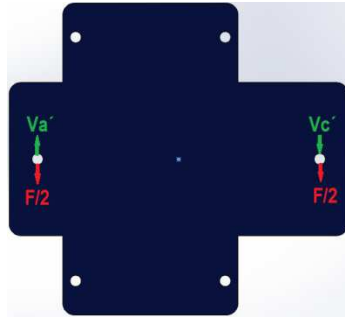


Ilustración 18. Diagrama de Cuerpo Libre del Soporte 1.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Se realiza el análisis en el agujero de lado derecho, pues en esta parte los esfuerzos se suman, convirtiendo al agujero en punto crítico.

La cortante total en este punto está dado por:

$$V_T = \frac{F}{2} + V_{c'}$$

Donde:

$$V_{c'} = \frac{M * r_n}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2 + \dots}$$

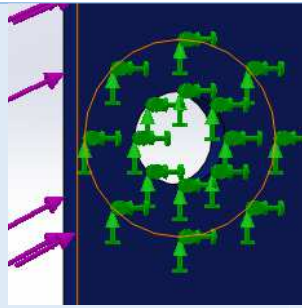
$$V_{c'} = 5.3[N]$$

$$V_T = 6.69[N]$$

En el Software (*Solid Works*) se representa de la siguiente manera:


**Cargas y Sujeciones:**

Tabla 14. Cargas y Sujeciones Soporte 1

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		<b>Entidades:</b>	<b>4 cara(s)</b>	
		<b>Tipo:</b>	<b>Geometría fija</b>	
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	<b>-11.6382</b>	<b>4.50033</b>	<b>-0.00848988</b>	<b>12.478</b>
Momento de reacción(N-m)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 15. Detalles de Carga Soporte 1

Nomb. de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza -2		<b>Entidades:</b>	<b>2 cara(s)</b>
		<b>Referencia:</b>	<b>Arista&lt; 1 &gt;</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Aplicar fuerza</b>
		<b>Valores:</b>	<b>---, ---, -1.5 N</b>

**Análisis de Fallas:**

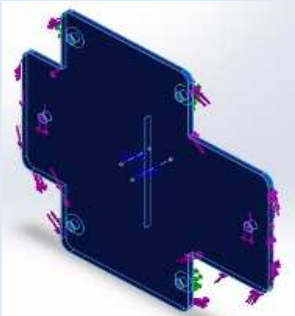
Para el análisis de factor de seguridad por falla, es necesario conocer las propiedades del material que son las mismas que el software utiliza para el estudio.

<p>Torsión -3</p> 	Entidades:	8 cara(s)
	Referencia:	Eje3
	Tipo:	Aplicar momento torsor
	Valor:	-0.55 N-m

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### *Propiedades de material*

Tabla 16. Propiedades de Material Soporte 1

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Desconocido
	Límite elástico:	250 N/mm <sup>2</sup>
	Límite de tracción:	400 N/mm <sup>2</sup>
	Módulo elástico:	200000 N/mm <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson:	0.26 N/D
	Densidad:	7850 kg/m <sup>3</sup>
	Módulo cortante:	79300 N/mm <sup>2</sup>
	Coefficiente de dilatación térmica:	2.4e-005 /Kelvin

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

- **Fluencia**

$$n = \frac{S_y * A_{TOTAL}}{V_T} = 6726.45$$

- **Fractura**

$$n = \frac{S_{ut} * A_{PROY}}{V_T} = 5246.64$$

- **Aplastamiento**

$$n = \frac{S_y * A_{PROY}}{V_T} = 56.5$$

- **Cortante**

$$n = \frac{S_{ut} * A_{AGUJERO}}{V_T} = 733.74$$

Estos son los factores de seguridad debido a los diferentes tipos de falla. Se tomará como factor de seguridad general al menor valor, que corresponde a falla por aplastamiento con 56.5

Al comparar este resultado con lo obtenido mediante el análisis por software se obtiene:

Comparando los dos análisis, el error porcentual es de:

$$\bar{\varepsilon}_r = \left| \frac{x_i - x_v}{x_v} \right| * 100\%$$

$$\bar{\varepsilon}_r = 4.3\%$$

### 3.1.1.1.1. Soporte 2

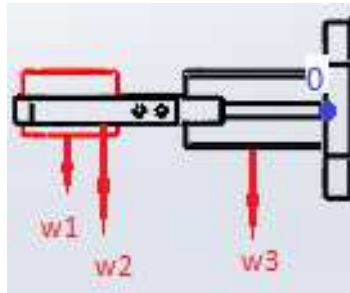


Ilustración 19. Fuerzas que intervienen en el soporte 2. Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Tabla 17. Datos Referencia Soporte 2

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa pieza	$w_1$	0.02	Kg
Masa dedo	$w_2$	0.04	Kg
Masa gripper	$w_3$	0.200	Kg
Distancia 0 - $w_1$	$d_1$	92.00	mm
Distancia 0 - $w_2$	$d_2$	79.50	mm
Distancia 0 - $w_3$	$d_3$	23.50	mm

$$\sum M_0 = (w_1 * d_1 + 2 * w_2 * d_2 + w_3 * d_3) * g$$

$$\sum M_0 = 126.42 [N \cdot mm]$$

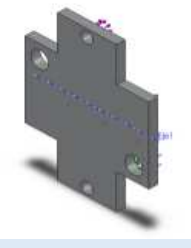
$$\sum M_0 = 0.1264 [N \cdot m]$$

$$\sum F = m_{total} * g$$

$$\sum F = 2.94 [N]$$

*Análisis:*

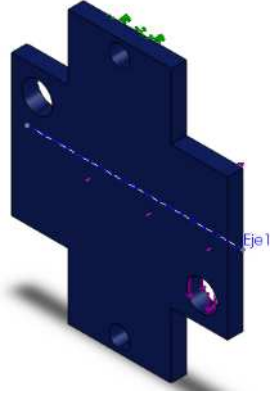
Tabla 18. Análisis Soporte 2

PIEZA	MATERIAL	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
	Acople gripper-cilindro neumático	Masa:0.0128486 kg Volumen:4.74996e-006 m <sup>3</sup> Densidad:2705 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.125917 N

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Propiedades de material:*

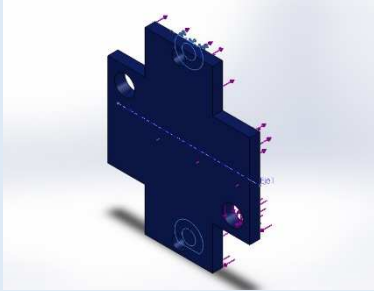
Tabla 19. Propiedades de Material Soporte 2

Referencia de modelo	Propiedades	
	<b>Nombre:</b>	ASTM A36 Acero
	<b>Tipo de modelo:</b>	Isotrópico elástico lineal
	<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Desconocido
	<b>Límite elástico:</b>	250 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Límite de tracción:</b>	400 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Módulo elástico:</b>	200000 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.26 N/D
	<b>Densidad:</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Módulo cortante:</b>	79300 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de dilatación térmica:</b>	2.4e-005 /Kelvin

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

**Cargas y sujeciones:**

Tabla 20. Cargas y Sujeciones Soporte 2

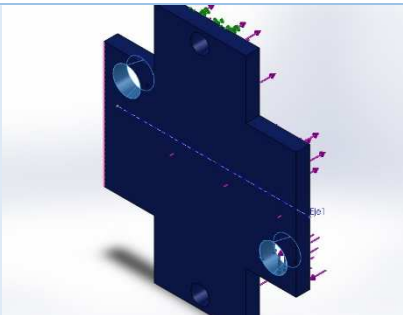
Nombre	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-2		<b>Entidades:</b>	2 cara(s)
		<b>Tipo:</b>	Geometría fija

**Fuerzas resultantes**

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	<b>0.000363309</b>	<b>5.88076</b>	<b>0.0086323</b>	<b>5.88077</b>
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

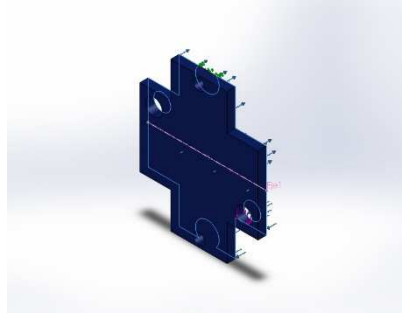
Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 21. Detalle de Cargas Soporte 2

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		<b>Entidades:</b>	2 cara(s)
		<b>Referencia:</b>	Arista< 1 >
		<b>Tipo:</b>	Aplicar fuerza
		<b>Valores:</b>	---, ---, 2.94N



Torsión-1

**Entidades:** 1 cara(s)**Referencia:** Eje2**Tipo:** Aplicar momento torsor**Valor:** 0.1264 N-m

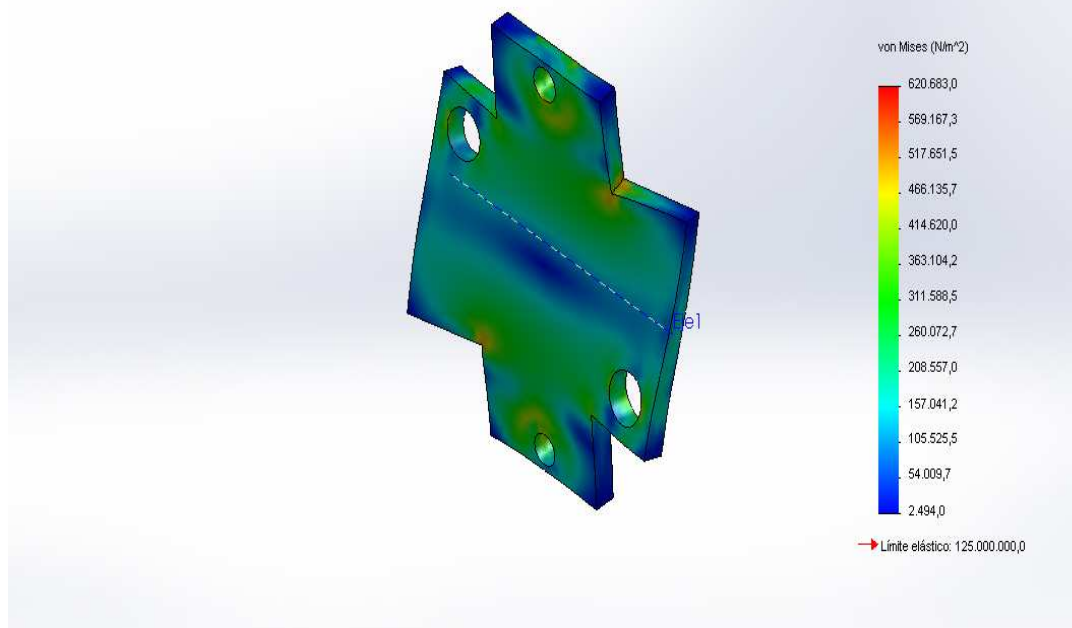
Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

**Resultados del estudio**

Tabla 22. Resultados del Estudio Soporte 2

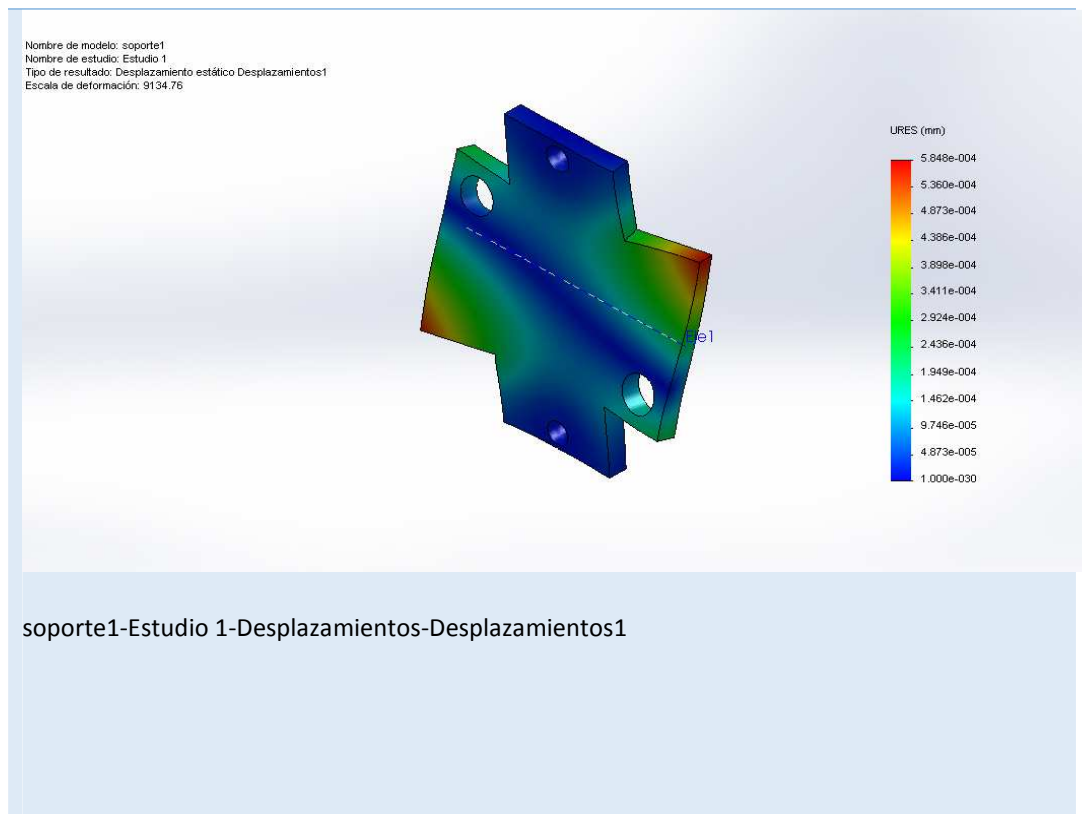
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de	2493.98 N/m <sup>2</sup>	620683 N/m <sup>2</sup>
	von Mises	Nodo: 7559	Nodo: 198

Nombre de modelo: soporte1  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 9134.76



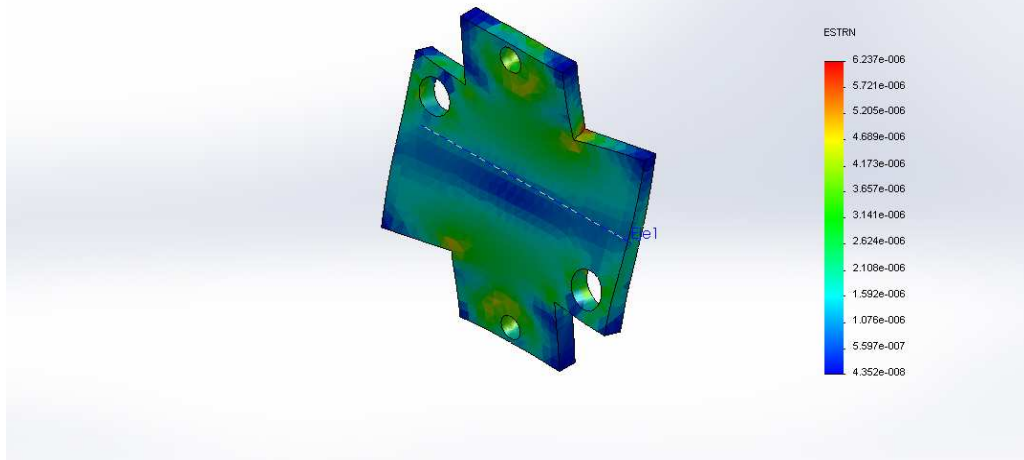
soporte1-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES:	0 mm	0.000584753 mm
	Desplazamiento resultante	Nodo: 6	Nodo: 136



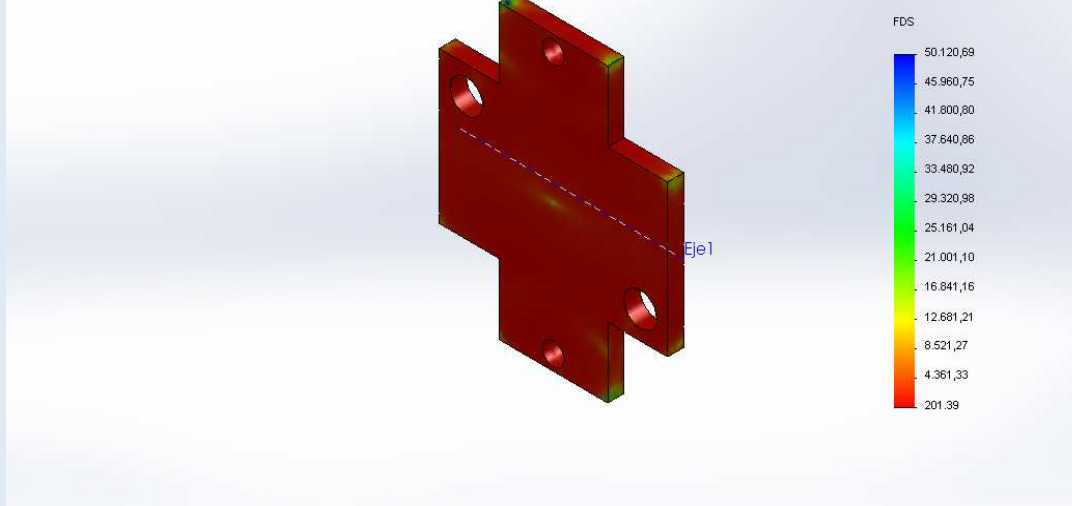
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Deformaciones unitarias1	ESTRN:	4.3521e-008	6.23749e-006
	Deformación unitaria equivalente	Elemento: 1644	Elemento: 4203

Nombre de modelo: soporte1  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
 Escala de deformación: 9134.76



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	201.391	50120.7
		Nodo: 198	Nodo: 7559

Nombre de modelo: soporte1  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2e+002



soporte1-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### 3.1.1.1.2. Soporte 3

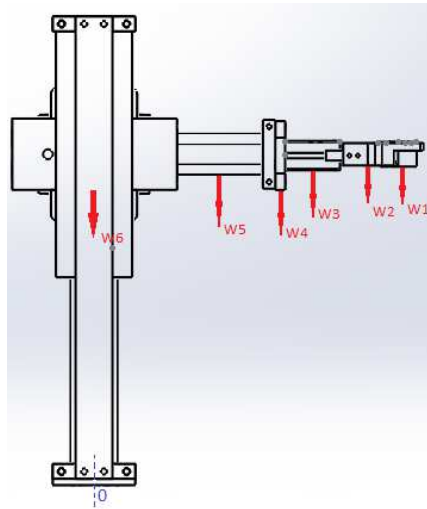


Ilustración 20. Fuerzas que intervienen en el soporte 3.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Tabla 23. Datos Referencia Soporte 3

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa pieza	w <sub>1</sub>	0.020	Kg
Masa dedo	w <sub>2</sub>	0.040	Kg
Masa gripper	w <sub>3</sub>	0.200	Kg
Masa soporte 1	w <sub>4</sub>	0.028	Kg
Masa vástago	w <sub>5</sub>	0.024	Kg
Masas cilindro	w <sub>6</sub>	2.073	Kg
<b>horizontal+2 soportes 2 +</b>			
<b>soporte 3 + cilindro vertical</b>			
Distancia 0 - w <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	247.00	mm
Distancia 0 - w <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	234.50	mm
Distancia 0 - w <sub>3</sub>	d <sub>3</sub>	178.50	mm

<b>Distancia 0 – w4</b>	d <sub>4</sub>	155.00	mm
<b>Distancia 0 – w5</b>	d <sub>5</sub>	107.00	mm

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

$$\sum M_0 = (w_1 * d_1 + 2 * w_2 * d_2 + w_3 * d_3 + w_4 * d_4 + 2 * w_5 * d_5) * g$$

$$\sum M_0 = 674.985 [N \cdot mm]$$

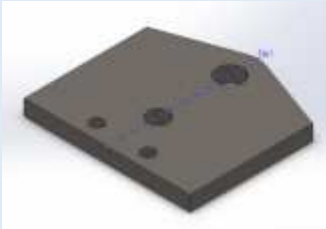
$$\sum M_0 = 0.675 [Nf \cdot m]$$

$$\sum F = m_{total} * g$$

$$\sum F = 24 [N]$$

## Análisis

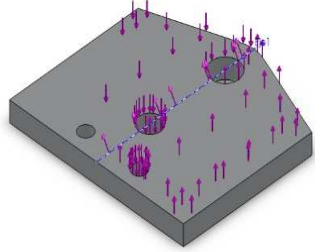
Tabla 24. Análisis Soporte 3

PIEZA	MATERIAL	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
	Base móvil	Masa:0.0540829 kg Volumen:1.99937e-005 m <sup>3</sup> Densidad:2705 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.530012 N

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Propiedades de material

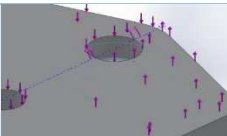
Tabla 25. Propiedades de Material Soporte 3

Referencia de modelo	Propiedades	
	<b>Nombre:</b>	ASTM A36 Acero
	<b>Tipo de modelo:</b>	Isotrópico elástico lineal
	<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Tensión máxima de von Mises
	<b>Límite elástico:</b>	250 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Límite de tracción:</b>	400 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Módulo elástico:</b>	200000 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.26 N/D
	<b>Densidad:</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Módulo cortante:</b>	79300 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de dilatación térmica:</b>	2.36e-005 /Kelvin

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Cargas y sujeciones

Tabla 26. Cargas y Sujeciones Soporte 3

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		<b>Entidades:</b>	1 arista(s)
		<b>Tipo:</b>	Geometría fija

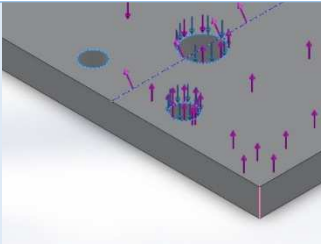
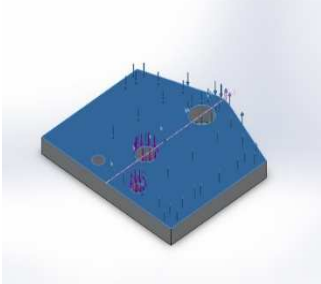
## Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante

Fuerza de reacción(N)	-0.0143968	71.8171	-0.0203712	71.8171
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 27. Detalle de Cargas Soporte 3

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		<b>Entidades:</b>	3 arista(s)
		<b>Referencia:</b>	Arista< 1 >
		<b>Tipo:</b>	Aplicar fuerza
		<b>Valores:</b>	---, ---, 24 N
Torsión-1		<b>Entidades:</b>	1 cara(s)
		<b>Referencia:</b>	Eje1
		<b>Tipo:</b>	Aplicar momento torsor
		<b>Valor:</b>	0.675 N-m

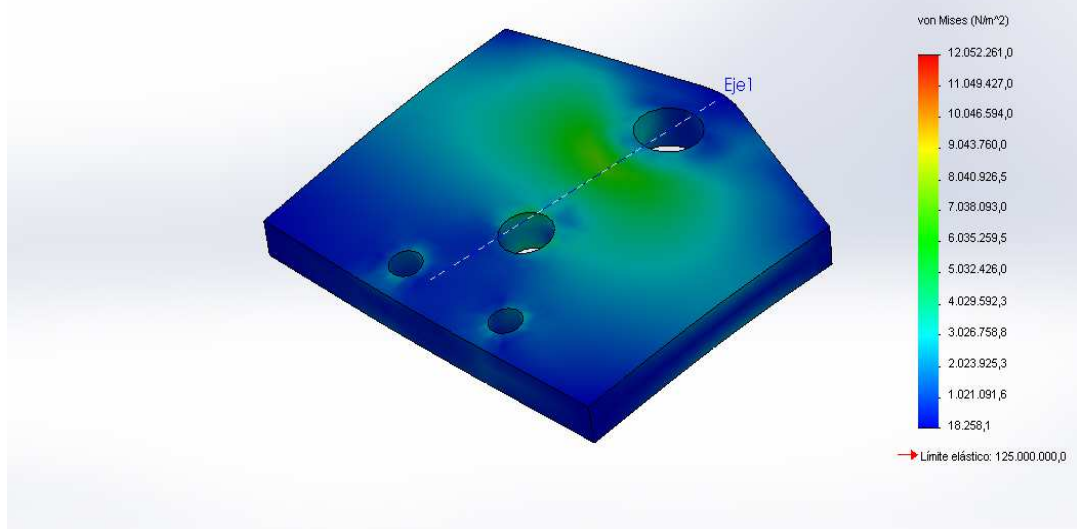
Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Resultados del estudio

Tabla 28. Resultados del Estudio Soporte 3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	18258.1 N/m <sup>2</sup> Nodo: 132	1.20523e+007 N/m <sup>2</sup> Nodo: 5152

Nombre de modelo: soporte eje  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 327.533

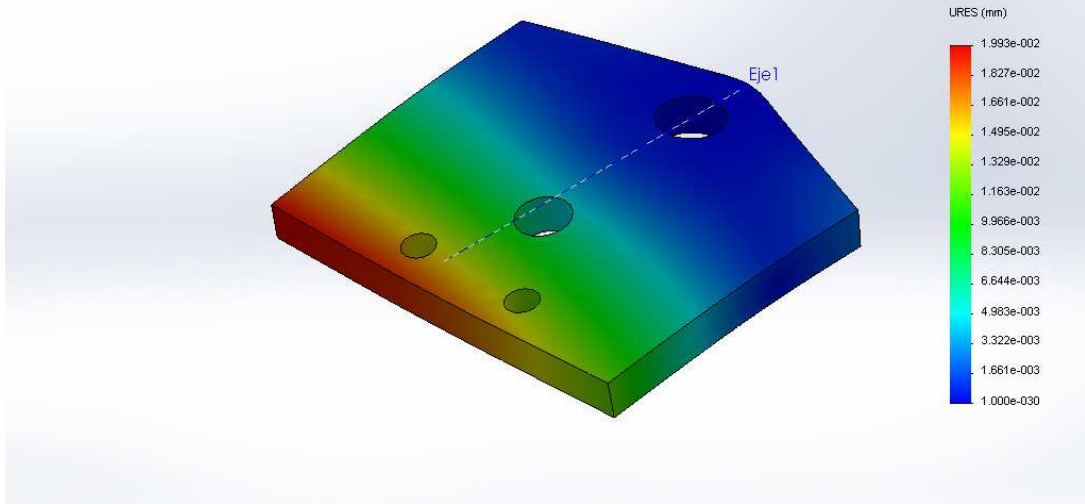


soporte eje-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 6	0.0199329 mm Nodo: 377



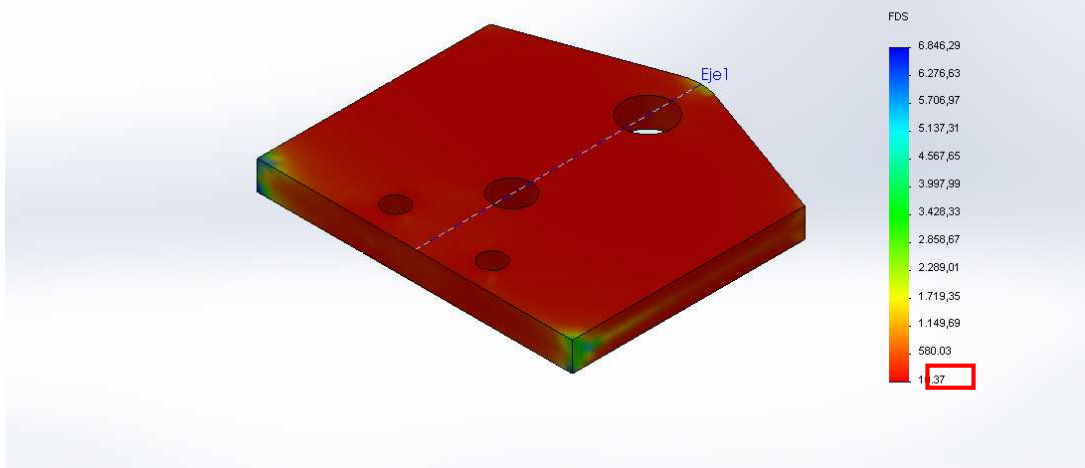
Nombre de modelo: soporte eje  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 327.533



soporte eje-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	10.3715	6846.29
		Nodo: 5152	Nodo: 132

Nombre de modelo: soporte eje  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 10



soporte eje-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Este es el soporte más crítico pues transmite el movimiento generado por el motor y a su vez soporta todo el peso del módulo de manipulación. El material utilizado es aluminio 1060 H18 debido a sus propiedades y como resultado se obtuvo un factor de seguridad de 10,37.

### 3.1.1.1.3. Soporte para el Motor

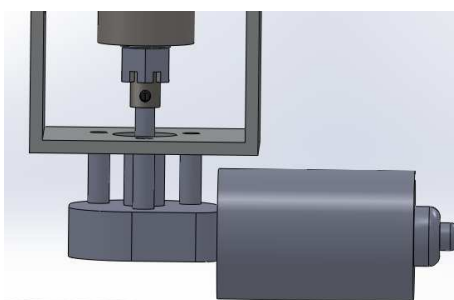


Ilustración 21: Motor BOSCH 24V 6W.

(Catálogo de Motores Eléctricos Bosch, 2012)

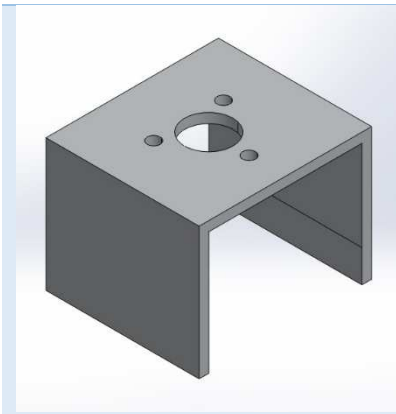
Tabla 29: Datasheet motor BOSCH 24V 13W

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa del motor	$W_M$	1.1	Kg
Momento generado	$M_N$	7.5	N.m

### Análisis:

Tabla 30. Análisis Soporte para Motor

PIEZA	MATERIAL	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
	Soporte del motor	Masa:0.385419 kg Volumen:0.000142484 m <sup>3</sup> Densidad:2705 kg/m <sup>3</sup> Peso:3.77711 N



Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### *Propiedades de material*

Tabla 31. Propiedades para Material Soporte para Motor

Referencia de modelo	Propiedades
	<p><b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión máxima de von Mises</p> <p><b>Límite elástico:</b> 250 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 400 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 200000 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.26 N/D</p> <p><b>Densidad:</b> 7850 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 79300 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 2.36e-005 /Kelvin</p>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Cargas y Sujeciones

Tabla 32. Cargas y Sujeciones Soporte para Motor

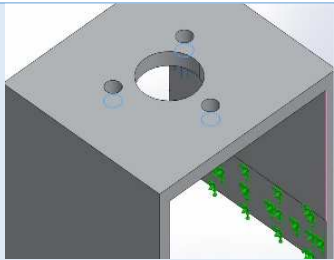
Nombre	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija

### Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.00472891	-32.3327	0.000986099	32.3327
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 33. Detalle de Cargas Soporte para Motor

Nombre	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 3 arista(s) <b>Referencia:</b> Arista< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, 10.78 N

Torsión-1		<b>Entidades:</b>	1 cara(s)
		<b>Referencia:</b>	Cara< 1 >
		<b>Tipo:</b>	Aplicar momento torsor
		<b>Valor:</b>	7.5 N-m

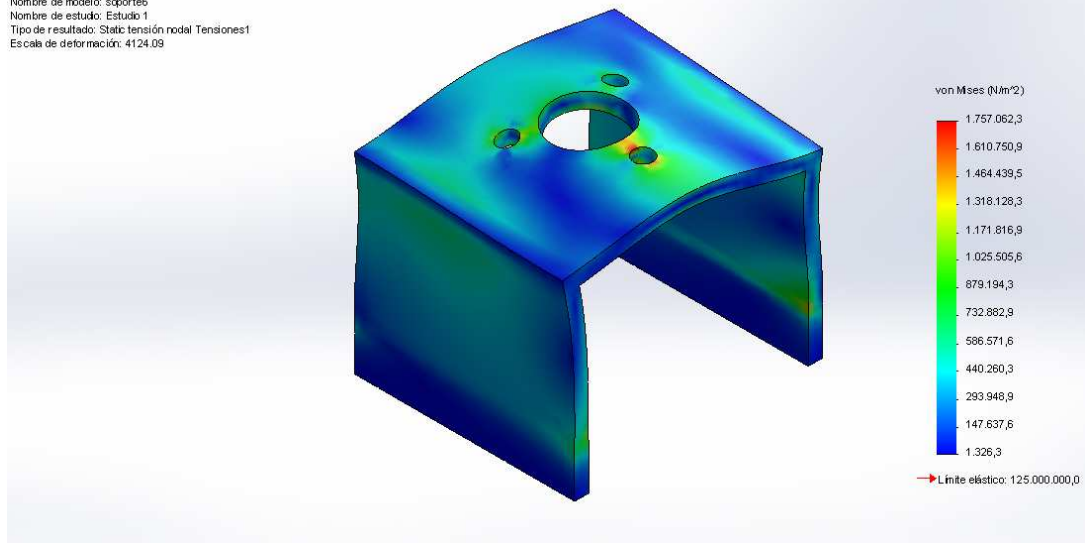
Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Resultados del estudio

Tabla 34. Resultados del Estudio Soporte para Motor

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1326.28 N/m <sup>2</sup> Nodo: 6110	1.75706e+006 N/m <sup>2</sup> Nodo: 45

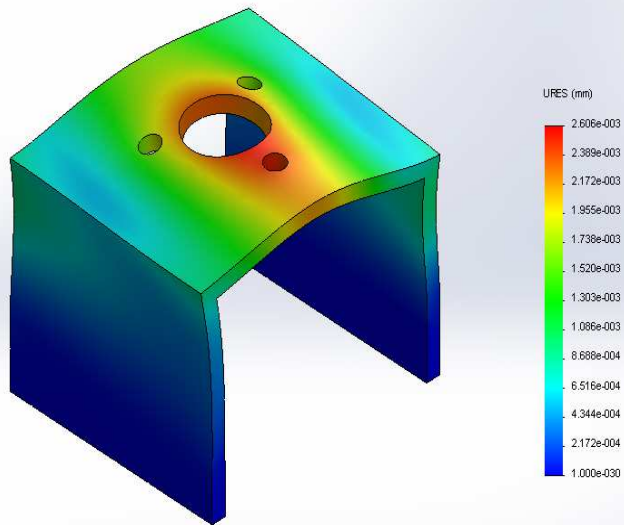
Nombre de modelo: soporte6  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: 'Static tensión nodal' Tensiones1  
Escala de deformación: 4124.09



soporte6-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 98	0.0026064 mm Nodo: 11603

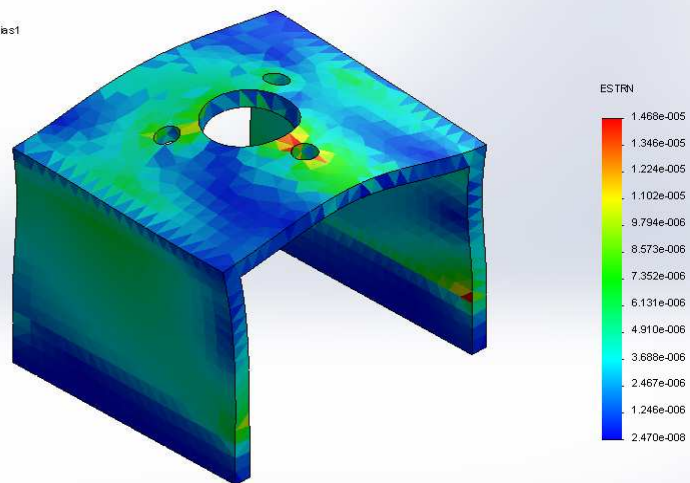
Nombre de modelo: soporte6  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 4124.09



soporte6-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

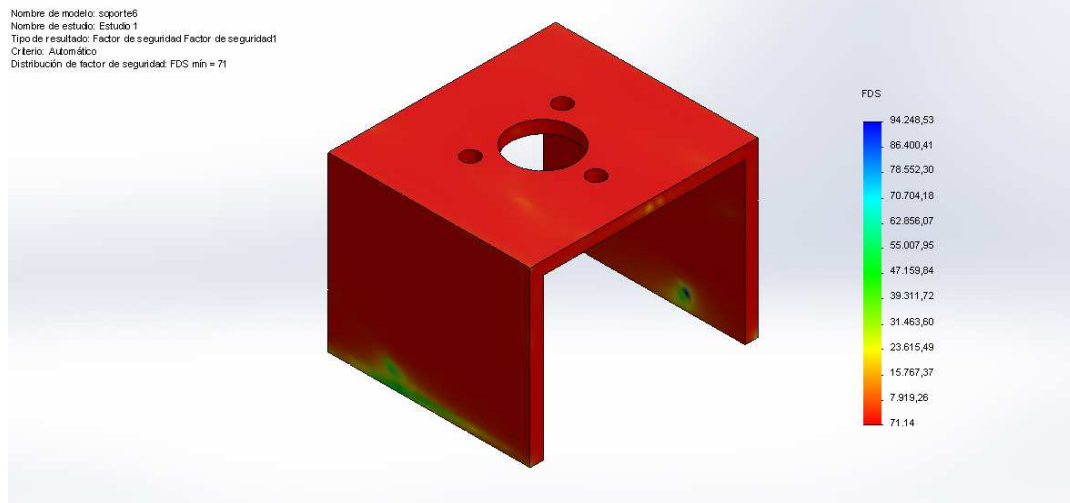
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación	2.46951e-008	1.46793e-005
	unitaria equivalente	Elemento: 4485	Elemento: 7344

Nombre de modelo: soporte6  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria y estática Deformaciones unitarias1  
 Escala de deformación: 4124.09



soporte6-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	71.1415	94248.5
		Nodo: 45	Nodo: 6110



soporte6-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Este elemento debe soportar el torque nominal del motor pues es el que lo va a sostener. El material utilizado es aluminio y el factor de seguridad obtenido es 71,34 que garantiza la estabilidad del motor.

### 3.6.3.3. Diseño del Sistema de Alimentación Neumática

#### 3.6.3.3.1. Caudal Demandado por el Equipo

Tras realizar varias pruebas de funcionamiento se pudo establecer que la presión óptima de trabajo para todos los elementos neumáticos de la Estación de Manipulación y Almacenamiento corresponde 4 bar (400 KPa).

Pero para asegurar que esa presión de trabajo se mantenga constante durante todo el tiempo de funcionamiento, y teniendo en cuenta que la estación cuenta con un Regulador de Presión (1.5 a 9 Bar) en la entrada principal de aire, el compresor debe entregar entre un 30% o 50% más de la presión de trabajo establecida, lo que correspondería a una presión de 6 bar (600 KPa), que es lo que el compresor realmente debería entregar a la estación para compensar las posibles pérdidas causadas por distintas circunstancias como pérdidas por fricción, fugas de aire, etc.

Para Calcular el caudal máximo requerido para el funcionamiento de todos los elementos neumáticos del sistema se necesita de la construcción de un diagrama de fase correspondiente a la secuencia de mayor exigencia a realizarse para posteriormente identificar el momento crítico, es decir, el momento de mayor demanda de Caudal.

### Diagrama de Fase:

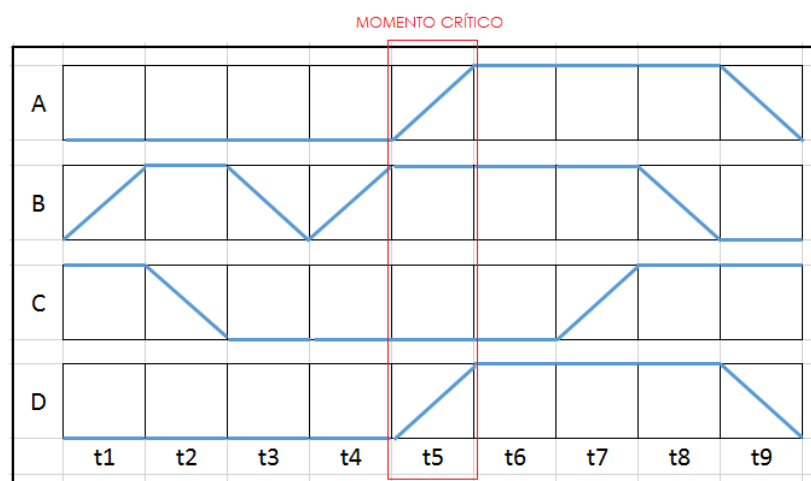


Ilustración 22. Diagrama de Fase.



Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

### 3.6.3.3.2. Cálculo del Caudal Requerido:

Tabla 35. Cálculo del Caudal

Elemento	Área Transversal (Unitaria) <i>mm</i> <sup>2</sup>	Velocid ad <i>mm/s</i>	# Émb olos	Caudal <i>mm</i> <sup>3</sup> / <i>s</i>
(C) Gripper Angular HFY 20 mm	490	800	1	392000
(B) Cilindro Twin Mov. Horizontal TC 16 mm	402,1	500	2	402100
(A) Eje Lineal Mov. Vertical STW 16 mm	245	500	2	245000
(D) Cilindro Sencillo Doble Efecto 16mm	201,0	800	1	161360
			<b>Total</b>	<b>1200460</b>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

El caudal requerido para el funcionamiento de la estación en el momento crítico de mayor demanda corresponde a **72 L/min**.

### 3.6.3.3.3. Dimensionamiento y Selección 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: (Cengel, 2012)

- 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 ( $25^{\circ}\text{C}$ ).
- 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

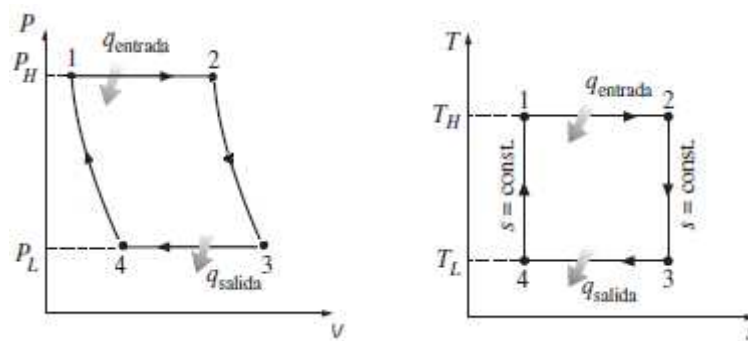


Ilustración 23. Diagramas P-v y T-s de un Ciclo de Carnot (Ideal).

(Cengel, 2012)

**Requerimientos:** Presión de trabajo constante a 4bar (400 Kpa) y caudal estable.

**Datos:**

$$P_H = 600 \text{ Kpa}$$

$$P_L = 400 \text{ KPa}$$

$$T_L = 300 \text{ K}$$

**Propiedades del Aire como gas ideal (25°C): Tabla A2***Termodinámica – Y. Cengel*

$$R = 0.287 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$c_p = 1.005 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$c_v = 0.718 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$k = 1.4$$

**3.6.3.3.4. Análisis Termodinámico:**

$$T_H = T1 = T2 \quad P_H = P2 = P3$$

$$T_L = T3 = T4 \quad P_L = P1 = P4$$

**Temperatura 2 (T2):**

$$T2 = T3 \left( \frac{P1}{P3} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T2 = 500.55 \text{ K}$$

**Eficiencia Térmica ( $\eta_T$ ):**

$$\eta_{T=1} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_T = 40.1 \%$$

**Calor de Salida ( $q_{out}$ ):**

$$q_{out} = C_v * (T2 - T3)$$

$$q_{out} = 144 \text{ KJ/Kg}$$

**Calor de Entrada ( $q_{in}$ ):**

$$\eta_T = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$

$$q_{in} = \frac{q_{out}}{1 - \eta_T}$$

$$q_{in} = 240.26 \text{ KJ/Kg}$$

**Trabajo Neto ( $w_{neto}$ ):**

$$w_{neto} = \eta_T * q_{in}$$

$$w_{neto} = 96.26 \text{ KJ/Kg}$$

**Caudal Real ( $Q_{Real}$ ):**

- Para seleccionar un compresor adecuado para la estación de Manipulación y Almacenamiento, es necesario contemplar la hipótesis de consumos reales de caudal, que dependerán de los siguientes factores:
- Cantidad de elementos neumáticos y consumo de aire de cada uno.
- Momento crítico de consumo.
- Factor de simultaneidad.
- Pérdidas por desgaste de los elementos neumáticos y por fugas en la red.
- Pérdidas por Fricción y cambios de Temperatura.
- Duración de la conexión de los elementos neumáticos.
- Factor de Seguridad.

### **Coefficiente de Simultaneidad ( $C_s$ )**

Los elementos neumáticos que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todos funcionan al mismo tiempo, lo cual se expresa mediante el coeficiente de simultaneidad de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 36. Coeficientes de Simultaneidad. (Greene, 2010)

Cantidad de equipos	Coefficiente Simultaneidad $C_s$
1	1.00
2	0.94
3	0.89
4	0.86
5	0.83
6	0.80
7	0.77
8	0.75
9	0.73
10	0.71
11	0.69
12	0.68
13	0.67
14	0.66
15	0.65
100	0.20

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

$$C_s = 0.89$$

### **Coefficiente de mayoración por fugas ( $C_{MF}$ )**

Las fugas de aire son inherentes en toda instalación neumática, por lo que se va a cifrar un coeficiente mínimo de 1.03 (3%).

$$C_{MF} = 1.03$$

**Coefficiente de mayoración para futuras ampliaciones ( $C_{MA}$ )**

Este coeficiente establece un porcentaje de mayoración destinado para posibles ampliaciones o requerimientos para el compresor en caso de alimentar simultáneamente a otras estaciones existentes en el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica.

$$C_{MA} = 1.3$$

**Factor de Seguridad ( $F_s$ )**

$$F_s = 2$$

**Coefficiente de mayoración de pérdidas por Fricción y Cambios de Temperatura ( $C_{PF}$ )**

Factores como la fricción generada en el pistón y los cambios en la compresibilidad del aire producidos por los cambios de temperatura propios del proceso se consideran en el siguiente factor:

$$C_{PF} = 1.3$$

$$Q_{Real} = C_s * C_{MF} * C_{MA} * C_{PF} * Q_{Requerido}$$

$$Q_{Real} = 0.0056 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Densidad del Aire ( $\rho_{Aire,T2}$ ): (Termotecnia, 2012)**

200	0,7461
227	$\rho$
250	0,6748

$$\rho_{Aire,T2} = 0.71 \text{ Kg/m}^3$$

**Flujo Másico ( $\dot{m}$ ):**

$$\dot{m} = Q_{Real} * \rho_{Aire, T_2}$$

$$\dot{m} = 0.00396 \text{ Kg/s}$$

**Potencia ( $P_{Carnot}$ )**

$$P_{Carnot} = \dot{m} * w_{neto}$$

$$P_{Carnot} = 0.38 \text{ KJ/s}$$

$$P_{Carnot} = 0.5 \text{ Hp}$$

### 3.6.3.3.5. Modelo Isentrópico

Este modelo es adiabático y reversible, así tenemos:

$$-W_{isentrópico} = h_{3,s} - h_2$$

El modelo Isentrópico responde a la ecuación:

$$P * V^k = P_2 * V_2^k = cte$$

Donde  $k$  es el coeficiente Isentrópico y se define por:

$$k = c_p / c_v$$

Donde  $c_p$  es la capacidad calorífica a presión constante y  $c_v$  es la capacidad calorífica a volumen constante, las cuales se calculan para un gas ideal como:

$$c_v = c_p - \frac{R}{M}$$

$$c_p = \frac{Rk}{[M(k - 1)]}$$

Por otro lado teniendo en cuenta la ecuación de los gases perfectos tenemos para las temperaturas la relación:

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Ahora se puede integrar para obtener la ecuación del trabajo en una transformación isentrópica:

$$W = \int_{P_2}^{P_3} V dP = P_2^{1/k} V_2 \int_{P_2}^{P_3} \frac{dP}{P^{1/k}}$$

Resolviendo la integral y substituyendo la expresión de la temperatura se tiene:

$$-W_{Isentrópico} = \frac{RkT_2}{M(k-1)} \left[ \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$M = \frac{Q_{out}}{(h_{2,T2} - h_{3,T3})}$$

$$h_{3,T3} = 300.19 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{2,T2} = 503.02 \text{ KJ/Kg}$$

\*Ref: Tabla A-17 Termodinámica – Y. Cengel

$$M = 0.72$$

Reemplazando valores en la ecuación del Trabajo Isentrópico ( $W_{Isentrópico}$ ) se tiene:

$$-w_{isentrópico} = -279.798 \text{ KJ/Kg}$$

**Potencia Isentrópica ( $P_{Isentrópica}$ ):**

$$P_{Isentrópica} = \eta_T * w_{isentrópico} * \dot{m}$$

$$P_{Isentrópica} = 0.387 \text{ KJ/Kg}$$

$$P_{Isentrópica} = 0.52 \text{ Hp}$$



Una vez realizado el análisis termodinámico mediante un Ciclo de Carnot y el análisis mediante la Potencia Isentrópica de un Ciclo de Compresión Estándar se obtuvieron los siguientes valores: 0.5Hp y 0.52Hp respectivamente, con lo cual se determina necesario un compresor con una potencia mínima de 0.5 Hp y un caudal mínimo de 72 L/min.

Debido a la disponibilidad del compresor existente en el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica se procede a comprobar si éste cumple con los requerimientos necesarios:

#### **Compresor DARI Spider 25/1850**



Ilustración 24. Compresor DARI Spider 25/1850.

(Dari, 2012)

#### **Especificaciones Técnicas:**

Tabla 37. Especificaciones Técnicas Compresor DARI Spider 25/1850<sup>44</sup>

<b>Voltaje</b>	110 V AC
<b>Potencia</b>	0.75 Hp
<b>Caudal</b>	80 L/min
<b>Reservorio</b>	24 L

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Con lo cual se determina que teóricamente el compresor existente (DARI Spider 25/1850) SI cumple con los requerimientos mínimos de operación para la Estación de Manipulación y Almacenamiento.

### 3.6.3.4. Dimensionamiento y Selección de Actuadores Lineales

#### 3.6.3.4.1. Actuador Lineal Antigiro (carrera=70mm; horizontal)

Se analizará el cilindro como una viga en voladizo con dos cargas una al extremo y la otra central que van a representar el peso del gripper y la pieza y el peso del vástago respectivamente (esta fuerza es distribuida). El otro extremo es empotrado.

Tabla 38. Datos Referencia Actuador Lineal Horizontal

<b>DATOS</b>	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Masa pieza	masa.pieza	0.02	Kg
Masa dedo	masa.dedo	0.04	Kg
Masa gripper	masa.g	0.200	Kg
Carrera del pistón	carrera	70	mm
Carga distribuida	qp	0.0024	N/mm
Factor de seguridad	FS	2	-----

Esfuerzo máximo	$\sigma_{\text{teórico}}$	169	MPa
Capacidad	ce	1	$\text{Kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^2$
Gravedad	gravedad	9.8	$\text{m} / \text{s}^2$
Densidad material	$\rho_{\text{material}}$	7800	$\text{Kg} / \text{m}^3$
Presión de diseño	$P_{\text{diseño}}$	0.6	MPa
Aceleración en an		10	$\text{m} / \text{s}^2$

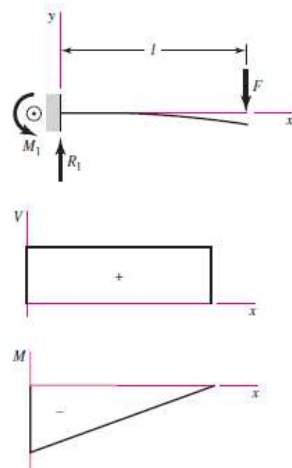
paro de emergencia

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Utilizando las fuerzas de superposición se obtiene:

- *Viga en voladizo con carga puntual en el extremo*

1 Cantilever—end load



$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fl$$

$$M = F(x - l)$$

$$y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3l)$$

$$y_{\text{max}} = -\frac{Fl^3}{3EI}$$

Ilustración 25. Viga en voladizo. TABLA A-9 Mecánica de Shigley 8va Ed.

$F_1$  (fuerza aplicada)

$$= (\text{masa. pieza} + 2 * \text{masa. dedo} + \text{masa. gripper}) * \text{gravedad}$$

$$F_1 = 2.94 \text{ [N]}$$

$$R_1 (\text{reacción}) = V_1 (\text{cortante}) = F_1$$

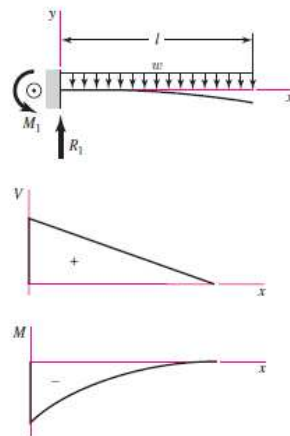
$$R_1 = V_1 = 2.94 [N]$$

$$M_1(\text{momento}) = F_1 * \text{carrera}$$

$$M_1 = 0.2058[N.m]$$

- *Viga en voladizo con carga distribuida*

3 Cantilever—uniform load



$$R_1 = wl \quad M_1 = \frac{wl^2}{2}$$

$$V = w(l-x) \quad M = -\frac{w}{2}(l-x)^2$$

$$y = \frac{wx^2}{24EI}(4lx - x^2 - 6l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{wl^4}{8EI}$$

Ilustración 26. Viga en voladizo con carga distribuida. *TABLA A-9 Mecánica de Shigley octava edición.*

**Datos:**

$$qp = 0.0024 \text{ N/mm}$$

$$\text{carrera} = 70 \text{ mm}$$

$$R_2(\text{reacción}) = qp * \text{carrera}$$

$$R_2 = 0.168[N]$$

$x = 0$	$x = \text{carrera (70mm)}$
$V_2 = qp * (\text{carrera} - x)$	$V_3 = qp * (\text{carrera} - x)$
$V_2 = 0.168[N]$	$V_3 = 0[N]$

---

$M_2(\text{momento})$

$$= \frac{-qp}{2} * (\text{carrera} - x)^2$$

$$M_2 = -0.00588[N.m]$$

$$M_3(\text{momento}) = \frac{-qp}{2} * (\text{carrera} - x)^2$$

$$M_3 = 0[N.m]$$

---

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Estos valores muestran que el peso del vástago no tiene mucha influencia en el diseño, por lo que su valor puede ser despreciable.

**Datos:**

$$R_1 = 2.94 \text{ N}$$

$$R_2 = 0.168 \text{ N}$$

$$V_1 = 2.94 \text{ N}$$

$$V_2 = 0.168 \text{ N}$$

$$M_1 = 0.2058 \text{ N.m}$$

$$M_2 = 0.00588 \text{ N.m}$$

- **Superposición**

$$R_{total} = R_1 + R_2$$

$$R_{total} = 3.108[N]$$

$$V_{total} = V_1 + V_2$$

$$V_{total} = 3.108[N]$$

$$M_{total} = M_1 + M_2$$

$$M_{total} = 0.1999[N.m]$$

El lugar crítico para cortante y momento flector es la parte de sujeción pues contiene los valores más altos.

### **Análisis de Momento Flector**

#### **Datos:**

$$\sigma_{teórico} = 169 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{máx} = 84.5 \text{ MPa}$$

$$f_s = 2$$

$$V_{total} = 3.108 \text{ N}$$

$$\sigma_{máx} = \frac{\sigma_{teórico}}{f_s}$$

$$\sigma_{máx} = 84.5 \text{ MPa}$$

Para determinar el diámetro mínimo, nos valemos del análisis de falla por flexión:

$$dm_{cilindro}(\text{diámetro}) = \left( \frac{64 * M_{total} * ce}{\pi * \sigma_{máx}} \right)^{1/4}$$

$$dm_{cilindro} = 14.82 \text{ mm}$$

*Análisis de la Cortante***Datos:**

$$\text{área\_cortante} = \frac{V_{total}}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$\text{área\_cortante} = 3.678 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

$$dv_{cilindro}(\text{diámetro}) = \left( \frac{4 * \text{área\_cortante}}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$d_{cilindro} = 0.216 \text{ mm}$$

Como  $dm_{cilindro} > dv_{cilindro}$

Entonces se tomará  $dm_{cilindro}$  para la selección del cilindro en el catálogo.

Como el diámetro obtenido mediante cálculos es muy pequeño, se seleccionará el cilindro de diámetro de vástago más pequeño existente en stock y que la carga a aplicar esté dentro de las curvas de carga lateral del catálogo del proveedor.

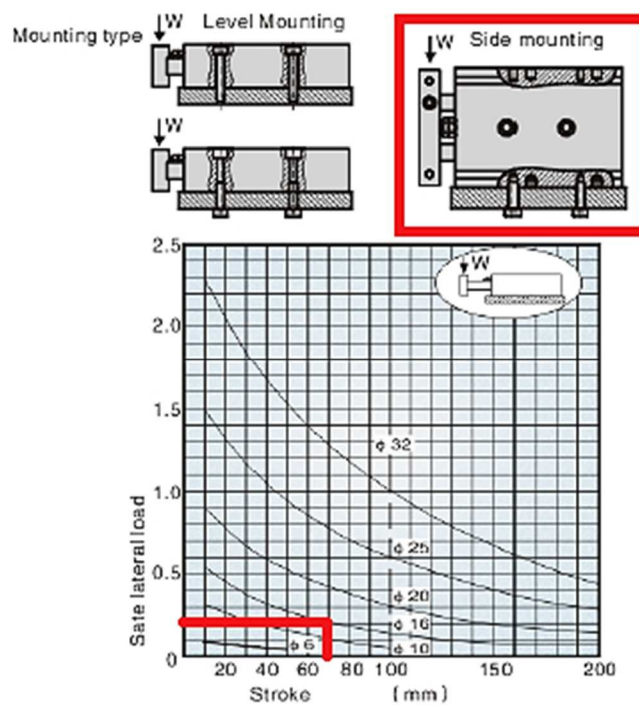


Ilustración 27. Tipos de montaje y carga lateral segura para cada diámetro de vástago.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

De acuerdo a esta gráfica que corresponde al cilindro neumático seleccionado, el peso máximo que se puede aplicar en voladizo es 0.2Kg, pero tomando en cuenta la posición del cilindro, la carga máxima a aplicarse se duplica, por lo tanto, la carga máxima que puede soportar este cilindro neumático es de 0.4Kg. La carga total a soportar es de 2.94Kg que se encuentra dentro de la zona segura de carga.

Bore size(mm)	Standard stroke
6	10 20 30 40 50
10	10 20 30 40 50 60 70 75 80 90 100
16、 20	10 20 30 40 50 60 70 75 80 90 100
25、 32	125 150 175 200

Ilustración 28. Diámetros y carreras para cilindros antiretorno de doble vástago.



(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

Características del cilindro seleccionado:

Tabla 39. Especificaciones Técnicas Cilindro TR 16x70 S

Código	<b>TR – 16 x 70 - S</b>
Tipo de accionamiento	Doble efecto
Fluido	Aire
Presión de operación	0.1 – 1.0 MPa (14 – 145 psi)
Rango de velocidad	50 - 500 mm/s
Carrera ajustable	-5 - 0 mm
Tolerancia antiretorno	±0.15®
Carrera	70 mm
Diámetro de vástago	16 mm
Diámetro émbolo	21.5 mm
Masa cilindro	0.7 Kg

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

#### **Verificación de presiones:**

Para verificar que la presión de operación del actuador sea menor que la presión de diseño, se va a utilizar la Segunda ley de Newton tomando como masa la suma total de las masas de todos los componentes que va a soportar el cilindro y la aceleración será la determinada para el caso más crítico que es el paro de emergencia.

#### **Datos:**

$$d_{\text{embolo}} = 21.5 \text{ mm}$$

$$\text{área} = 7.261 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$an = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\sum F = m_{\text{total}} * an$$

$$\sum F = 3.0 [N]$$

$$\text{área}_{\text{selección}} = \frac{\pi * 2 * (d_{\text{embolo}})^2}{4}$$

$$\text{área}_{\text{selección}} = 7.261 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Presión} = \frac{\sum F}{\text{área}_{\text{selección}}}$$

$$\text{Presión} = 4.131 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{diseño}} = 4 \text{ bar} = 0.4 \text{ MPa}$$

$$4.131 \text{ KPa} < 400 \text{ KPa}$$

*Como Presión < P<sub>diseño</sub>, la selección del cilindro es correcta.*

#### 3.6.3.4.2. Actuador Lineal Antigiro (carrera=150mm; vertical)

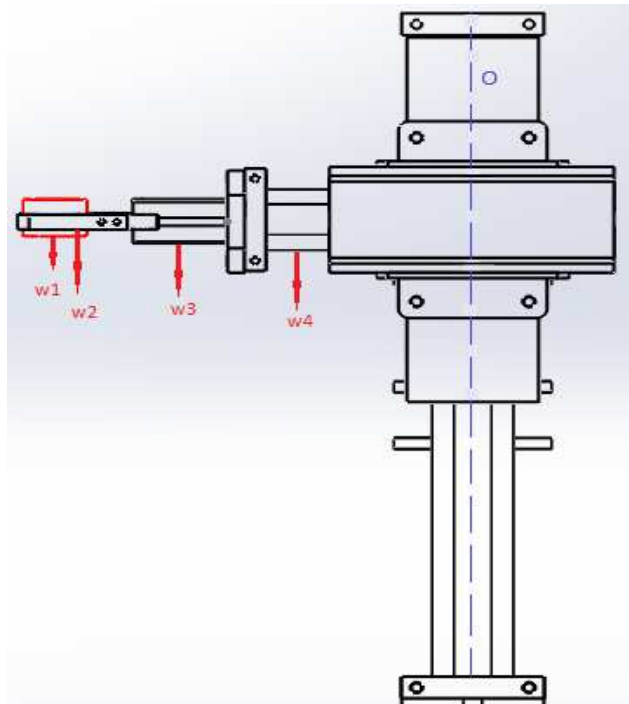


Ilustración 29. Fuerzas que intervienen en el actuador lineal antiguo  
(Vertical).

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

En este caso se analizará el cilindro como una columna, en donde las fuerzas de los elementos que va a sujetar, ejercen momentos en el vástago.

Tabla 40. Datos Referencia Actuador Lineal Vertical

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa pieza	w <sub>1</sub>	0.02	Kg
Masa dedo	w <sub>2</sub>	0.04	Kg
Masa gripper	w <sub>3</sub>	0.200	Kg
Masa vástago cilindro	w <sub>4</sub>	0.024	kg
<b>horizontal</b>			
Distancia 0 - w <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	238.21	mm

<b>Distancia 0 - w<sub>2</sub></b>	d <sub>2</sub>	225.42	mm
<b>Distancia 0 - w<sub>3</sub></b>	d <sub>3</sub>	177.3	mm
<b>Distancia 0 - w<sub>4</sub></b>	d <sub>4</sub>	102	mm

$$\sum M_0 = (w_1 * d_1 + 2 * w_2 * d_2 + w_3 * d_3 + 2 * w_4 * d_4) * g$$

$$\sum M_0 = 618.9 [N \cdot mm]$$

$$\sum M_0 = 0.6189 [N \cdot m]$$

### *Análisis de Momento Flector*

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_{te\acute{o}rico}}{FS}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 84.5 \text{ MPa}$$

Para determinar el diámetro mínimo, nos valemos del análisis de falla por flexión:

### **Datos:**

$$ce = 1 \text{ Kg} \cdot s^2/m^2$$

$$carrera = 150 \text{ mm}$$

$$dm_{cilindro}(\text{diámetro}) = \left( \frac{12 * M_{total} * ce}{carrera * \sigma_{m\acute{a}x}} \right)^{1/3}$$

$$dm_{cilindro} = 8.37 \text{ mm}$$

Como el diámetro obtenido mediante cálculos es muy pequeño, se seleccionará el cilindro de diámetro de vástago más pequeño existente en stock y que la carga a aplicar esté dentro de las curvas de carga lateral del catálogo del proveedor.

Stroke Bore size	Standard stroke
10	25 50 75 100
16	25 50 75 100 125 150 175 200
20	25 50 75 100 125 150 175 200 250
25	25 50 75 100 125 150 175 200 250

Ilustración 30. Diámetros y carreras para cilindros antiretorno de doble vástago.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

Bore size mm	Rod size mm	Pressure area mm <sup>2</sup>	Operating pressure (MPa)								
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	6	100	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
16	8	301	30.1	60.2	90.3	120.4	150.5	180.6	210.7	240.8	270.9
20	10	471	47.1	94.2	141.3	188.4	235.5	282.6	329.7	376.8	423.9
25	12	755	75.5	122.6	198.1	273.6	349.1	424.6	500.1	575.6	651.1

Ilustración 31. Tipos de montaje y carga lateral segura para cada diámetro de vástago.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

El valor de la carga lateral admitida para este tipo de cilindros es de 120.4Kg.

Características del cilindro seleccionado:

Tabla 41. Especificaciones Técnicas Cilindro STM 16x150

**CÓDIGO**

**STM B – 16 x 150**

Estilo	Neumático
Tipo de accionamiento	Doble efecto
Fluido	Aire
Presión de operación	0.1 – 0.9 MPa (14 – 128 psi)
Rango de velocidad	50 - 200 mm/s
Tolerancia antiretorno	±0.05®
Carrera	150 mm
Diámetro de vástago	16 mm
Diámetro émbolo	21.5 mm
Masa cilindro	1.4 Kg

---

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### Verificación de presiones:

Para verificar que la presión de operación del actuador sea menor que la presión de diseño, se va a utilizar la Segunda ley de Newton tomando como masa la suma total de las masas de todos los componentes que va a soportar el cilindro y la aceleración será la determinada para el caso más crítico que es el paro de emergencia.

$$\sum F = m_{total} * a_n$$

$$\sum F = 10.48[N]$$

### Datos:

$$\text{Área} = 301 \text{ mm}^2$$

$$Presión = \frac{\sum F}{área_{presión}}$$

$$Presión = 34.817 \times 10^3 Pa$$

$$P_{diseño} = 4bar = 0.4MPa$$

$$34.817 KPa < 400KPa$$

*Como Presión < P<sub>diseño</sub>, la selección del cilindro es correcta.*

### 3.5.3. Diseño y Selección del Gripper

Para una buena selección del actuador, se debe tomar en cuenta todas las situaciones y estados en los que debe funcionar.

Para los cálculos, se va a considerar mandíbulas rectas no en V, puesto que aún no es posible determinar la longitud y ángulo de los dedos.

Tabla 42. Datos Referencia Gripper

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa pieza	m	0.02	Kg
Gravedad	g	9.8	m/s <sup>2</sup>
Aceleración	a	5	m/s <sup>2</sup>

Coeficiente de rozamiento	$\mu$	0.7	----
Carga distribuida	qp	0.0024	N/mm
Factor de seguridad	S	2	-----
Número de dedos	n	2	-----
Aceleración en paro de emergencia	an	10	m/s <sup>2</sup>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### Fuerza de sujeción durante la elevación

$$F_G = \frac{m(g + a) * S}{\mu * n}$$

$$F_G = 0.423 [N]$$

### Fuerza de sujeción durante el recorrido lateral

$$F_G = \frac{m * g * S}{\mu * n} + m * a$$

$$F_G = 0.38[N]$$

### Fuerza de sujeción hacia abajo durante el paro de emergencia

$$F_G = \frac{m(g + a_n) * S}{\mu * n}$$

$$F_G = 0.565 [N]$$



De estos cálculos se puede concluir que el mayor valor de fuerza se obtiene al producirse el paro de emergencia y en general, las pinzas deben seleccionarse basándose en esta situación ya que durante un paro de emergencia es necesario que la pieza continúe siendo sostenida por la pinza y no sea expulsada.

Tomando en cuenta la fuerza calculada y el diámetro de las piezas a sujetar, se realizó la selección de la pinza en el catálogo del proveedor.

#### **Características del gripper seleccionado:**

Tabla 43. Especificaciones Técnicas Gripper HFY 20

<b>CÓDIGO</b>	<b>HFY 20</b>
<b>Estilo</b>	Angular
<b>Tipo de accionamiento</b>	Doble efecto
<b>Fluido</b>	Aire
<b>Presión de operación</b>	0.25 – 0.7 MPa (36 – 100 psi)
<b>Torque teórico</b>	91.2
<b>Longitud máxima de los dedos</b>	60 mm
<b>Ángulo de apertura</b>	30°

Ángulo de cierre	-10°
Presión de diseño	6 bar
Masa del gripper	0.236

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### 3.5.4. Diseño de Dedos

#### 3.5.4.1. Cálculos de fuerza aplicada sobre la pieza

El siguiente diagrama que pertenece a la pieza seleccionada, se utilizó para determinar la fuerza de sujeción para la pinza que va a depender de la presión de funcionamiento y la palanca. La longitud de la pinza desde el eje de rotación de los dedos hasta el vértice de sujeción, es  $L=50\text{mm}$ , por lo tanto la fuerza que se ejerce es:

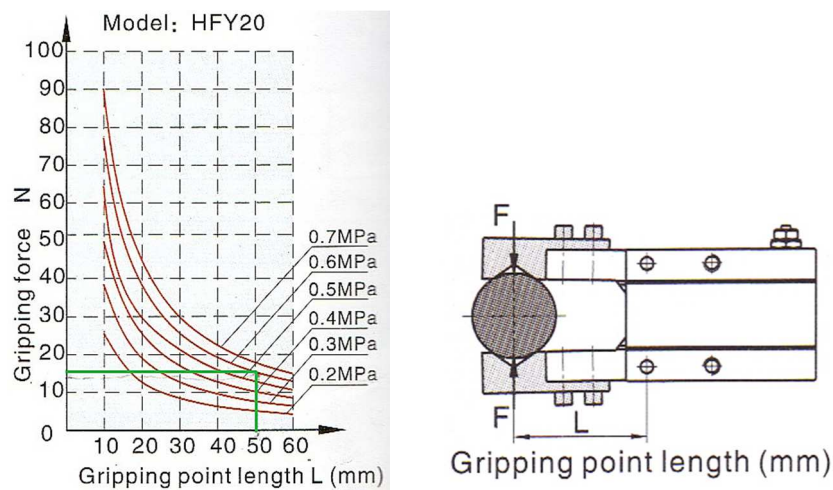


Ilustración 32. Diagrama para Dimensionamiento del Gripper.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

De acuerdo a la gráfica, la fuerza ejercida por el gripper sobre la pieza es de 10[N] en cada dedo, y la longitud máxima de  $L=50\text{mm}$ , pero como la geometría es en V, se calculan las reacciones perpendiculares a los puntos de contacto:

#### **3.5.4.2. Dedos de la pinza**

El gripper cumple con la fuerza de acción-reacción, entonces la fuerza de agarre que la pinza ejerce sobre la pieza, es la misma que la pieza ejerce sobre los dedos en el área de contacto.

Como el estilo de la pinza es angular, se debe definir una posición fija para el diseño de los dedos del actuador. Nosotros hemos elegido  $0^\circ$  que es el ángulo medio y en donde la fuerza de 10[N] es completamente horizontal. Cuando la pieza a sostener está en contacto con los dedos, en los puntos de contacto aparecen fuerzas opuestas ( $F_1$  y  $F_2$ ) a la que ejerce la pinza y que van a variar dependiendo de la geometría, pero también debe tomarse en cuenta la longitud de los dedos recomendada por el fabricante y la profundidad del vértice para que no perjudique la robustez del elemento.

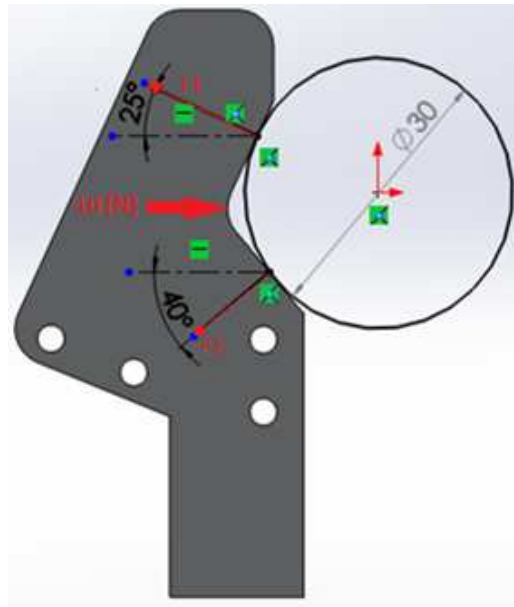


Ilustración 33. Diseño de dedos.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

$$\sum Fy = 0$$

$$F1 = F2 \frac{\sin(40^\circ)}{\sin(25^\circ)}$$

$$\sum Fx = 0$$

$$-F1 \cos(25^\circ) - F2 \cos(40^\circ) + 10[N] = 0$$

$$F1 = 7.09[N]$$

$$F2 = 4.66[N]$$

Como la pinza va a ser la base en donde se van a montar dos sensores, el magnético y el de presencia, el diseño debe tomar en cuenta la geometría y alcance de cada uno de los sensores, así como la facilidad de montaje y eliminación de interferencias.

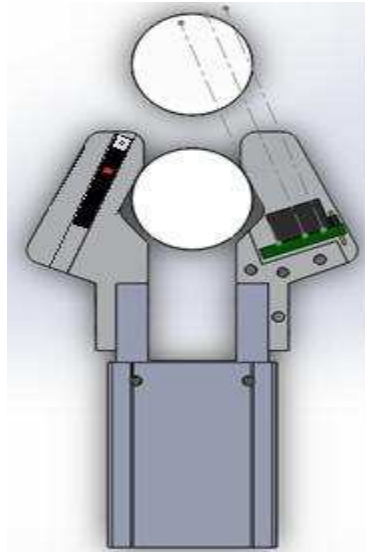


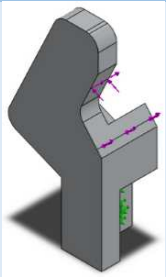
Ilustración 34. Pinzas y sensores.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

Aplicando este valor de F1 y F2 en la simulación de la pieza en Solid Works y realizando un estudio de movimiento se puede obtener:

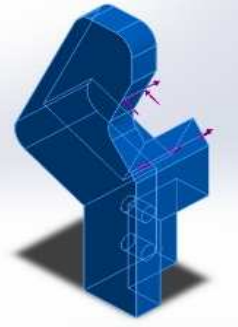
### *Análisis*

Tabla 44. Análisis Dedos Gripper

PIEZA	MATERIAL	PROPIEDADES
		VOLUMÉTRICAS
	Acople gripper-cilindro neumático	<b>Masa:0.0298787 kg</b> <b>Volumen:1.10457e-005 m<sup>3</sup></b> <b>Densidad:2705 kg/m<sup>3</sup></b> <b>Peso:0.292811 N</b>

*Propiedades de material*

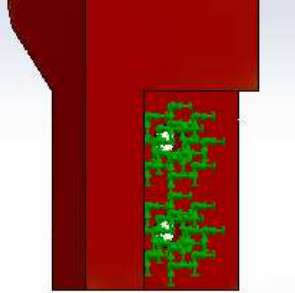
Tabla 45. Propiedades Material Dedos Gripper

Referencia de modelo	Propiedades	
	<b>Nombre:</b>	1060-H18
	<b>Tipo de modelo:</b>	Isotrópico elástico lineal
	<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Desconocido
	<b>Límite elástico:</b>	1.25e+008 N/m <sup>2</sup>
	<b>Límite de tracción:</b>	1.3e+008 N/m <sup>2</sup>
	<b>Módulo elástico:</b>	6.9e+010 N/m <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.33
	<b>Densidad:</b>	2705 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Módulo cortante:</b>	2.6e+010 N/m <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de dilatación térmica:</b>	2.4e-005 /Kelvin

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Cargas y sujeciones*

Tabla 46. Cargas y Sujeciones Dedos Gripper

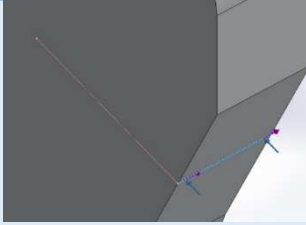
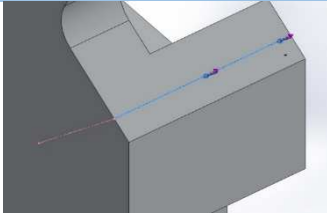
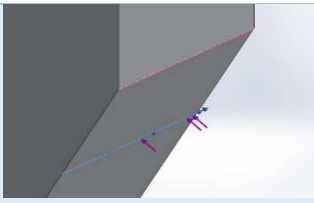
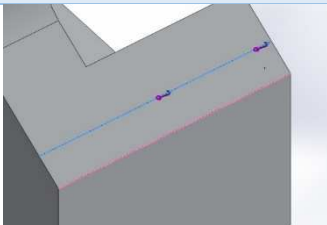
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		<b>Entidades:</b>	<b>2 cara(s)</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Geometría fija</b>

Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	9.99522	-0.000681475	0.199952	<b>9.99607</b>
Momento de reacción(N-m)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 47. Detalle de Cargas Dedos Gripper

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		<b>Entidades:</b>	<b>1 arista(s)</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Aplicar fuerza</b>
		<b>Valores:</b>	<b>---, ---, -7.09 N</b>
Fuerza-2		<b>Entidades:</b>	<b>1 arista(s)</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Aplicar fuerza</b>
		<b>Valores:</b>	<b>---, ---, -4.66 N</b>
Fuerza-3 (debido a la gravedad)		<b>Entidades:</b>	<b>1 arista(s)</b>
		<b>Referencia:</b>	<b>Arista&lt; 1 &gt;</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Aplicar fuerza</b>
		<b>Valores:</b>	<b>---, ---, 0.1 N</b>
Fuerza-4 (debido a la gravedad)		<b>Entidades:</b>	<b>1 arista(s)</b>
		<b>Referencia:</b>	<b>Arista&lt; 1 &gt;</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Aplicar fuerza</b>
		<b>Valores:</b>	<b>---, ---, 0.1 N</b>

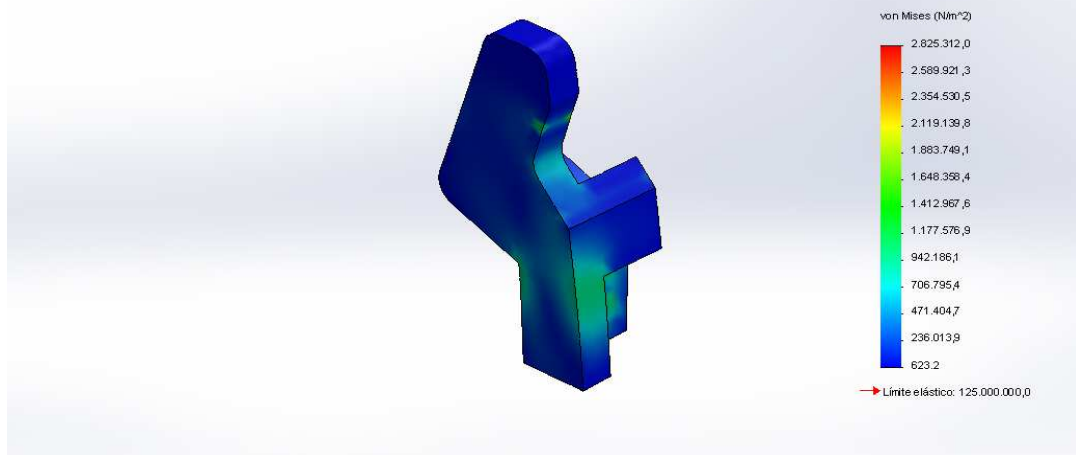
Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Resultados del estudio

Tabla 48. Resultados del Estudio Dedos Gripper

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	623.206 N/m <sup>2</sup> Nodo: 270	2.82531e+006 N/m <sup>2</sup> Nodo: 2795

Nombre de modelo: dedo4  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 1856.26

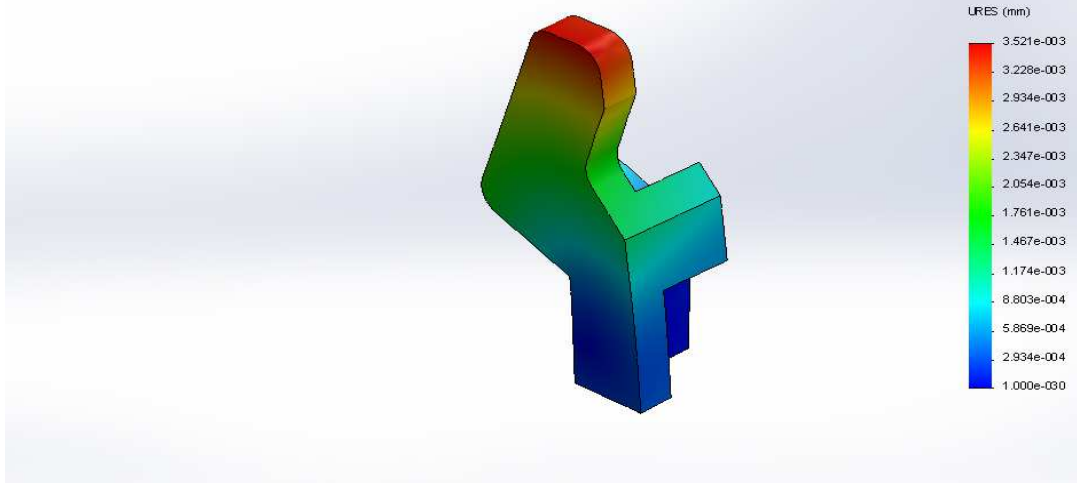


dedo4-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.00352121 mm Nodo: 230



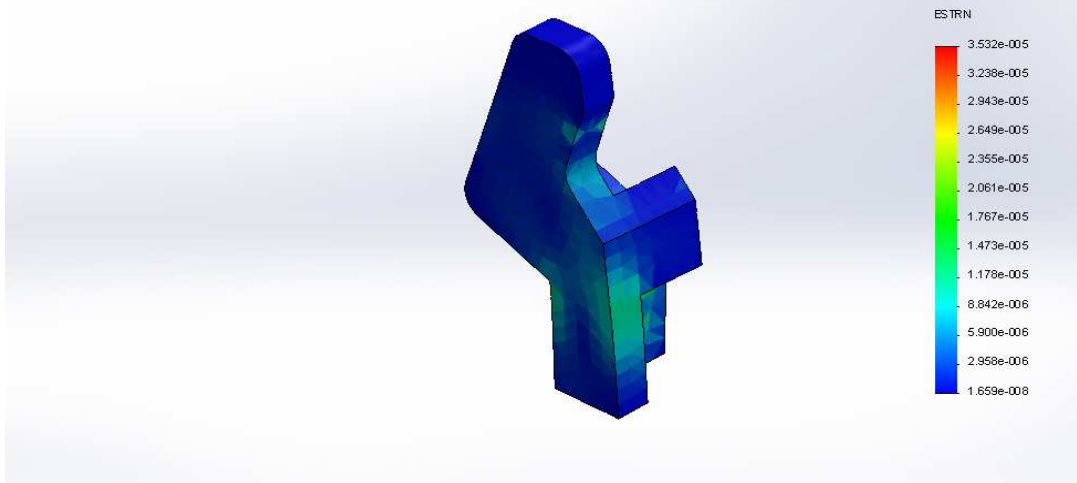
Nombre de modelo: dedo4  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 1856.26



dedo4-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.65927e-008 Elemento: 2553	3.53174e-005 Elemento: 2221

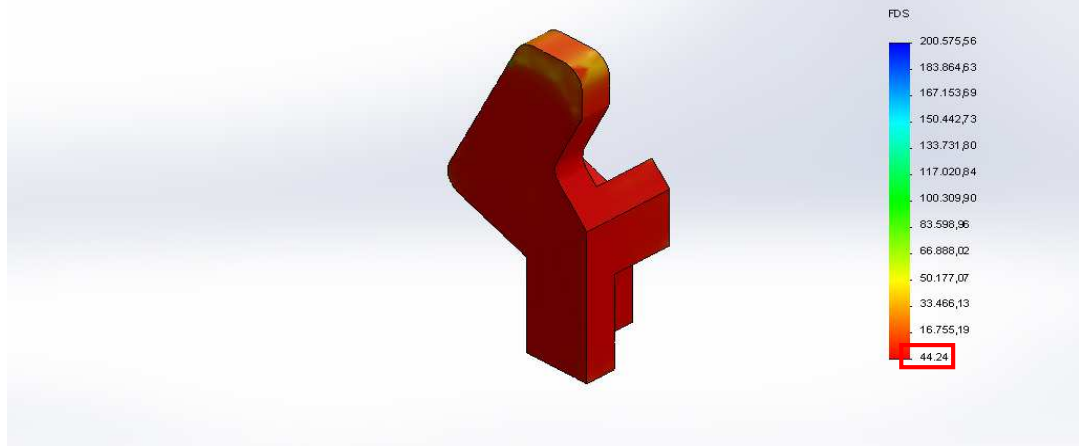
Nombre de modelo: dedo4  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
 Escala de deformación: 1856.26



dedo4-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	44.2429	200576
		Nodo: 6323	Nodo: 270

Nombre de modelo: dedo4  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 44



dedo4-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

## Verificación de Momentos

El catálogo del gripper se lo puede tomar como una guía pues incluye los cálculos necesarios para la selección y verificación de fuerzas y momentos existentes.

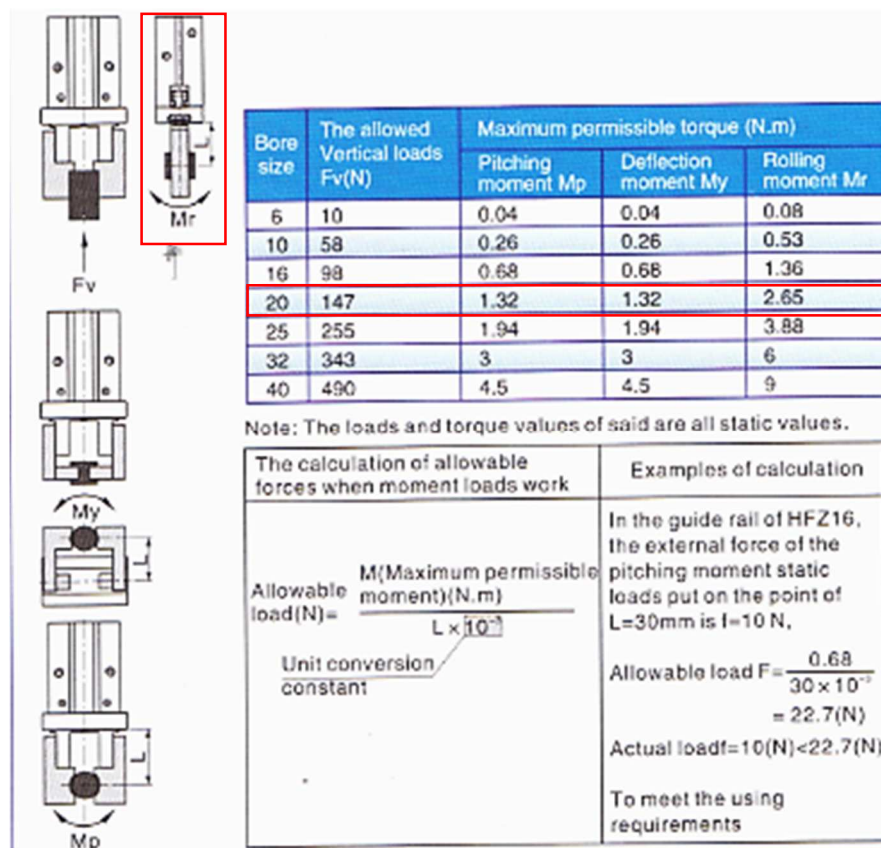


Ilustración 35. Diagrama para Verificación de Momentos.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

Dependiendo de la ubicación de la pinza y de la pieza a sujetar se determinan los momentos que va a ejercer. En este caso, sólo se toma en cuenta el momento Mr.

$$\text{Carga permitida [N]} = \frac{\text{Momento máximo permisible [N.m]}}{L * 10^{-3}(\text{unidad de conversión cte})}$$

$$10 \text{ [N]} = \frac{2.65 \text{ [N.m]}}{40\text{mm} * 10^{-3}}$$

Como:

$$10 \text{ [N]} < 66.25 \text{ [N]}$$

La pinza no va a tender a girar, pues para que esto ocurra son necesarios al menos 66.25[N].

### 3.5.5. Diseño de la Matriz de Almacenamiento Semi - Circular


Tabla 49. Datos Referencia Matriz de Almacenamiento

DATOS	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa de cada pieza	$W_p$	0.02	Kg
Masa imanes	$W_I$	0.01	Kg

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

#### *Análisis*

Tabla 50. Propiedades Volumétricas Matriz de Almacenamiento


PIEZA	MATERIAL	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
	Placas para almacenaje	Masa:225023 kg Volumen:0.000285925 m <sup>3</sup> Densidad:7870 kg/m <sup>3</sup> Peso:22.0522 N

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

#### *Propiedades de material*

Tabla 51. Propiedades de Material Matriz de Almacenamiento


Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: AISI 1010 Acero, perfiles comerciales
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

	<b>Criterio de error</b>	Desconocido
	<b>predeterminado:</b>	
	<b>Límite elástico:</b>	1.8e+008 N/m <sup>2</sup>
	<b>Límite de tracción:</b>	3.25e+008 N/m <sup>2</sup>
	<b>Módulo elástico:</b>	2e+011 N/m <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.29
	<b>Densidad:</b>	7870 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Módulo cortante:</b>	8e+010 N/m <sup>2</sup>
	<b>Coefficiente de dilatación térmica:</b>	1.2e-005 /Kelvin

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### *Cargas y sujeciones*

Tabla 52. Cargas y Sujeciones Matriz de Almacenamiento



Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		<b>Entidades:</b>	2 arista(s)
		<b>Tipo:</b>	Geometría fija

### **Fuerzas resultantes**

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.476761	0.697421	-0.115601	0.852678
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 53. Detalle de Cargas Matriz de Almacenamiento

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		<b>Entidades:</b>	6 cara(s)
		<b>Tipo:</b>	Aplicar fuerza normal
		<b>Valor:</b>	0.196 N
Fuerza-2		<b>Entidades:</b>	6 cara(s)
		<b>Tipo:</b>	Aplicar fuerza normal
		<b>Valor:</b>	0.098 N

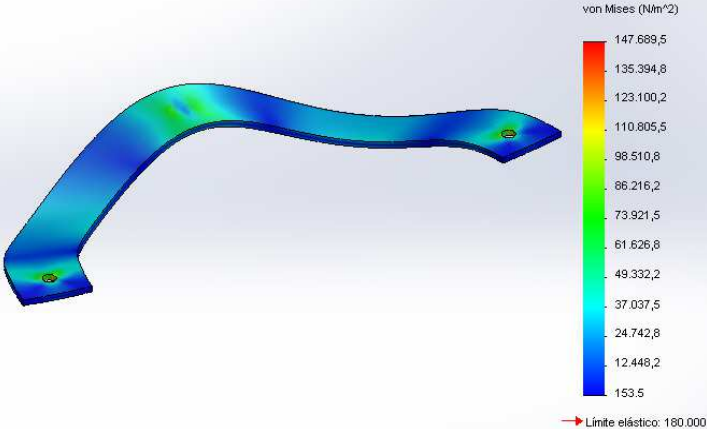
Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### Resultados del estudio

Tabla 54. Resultados del Estudio Matriz de Almacenamiento

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von	153.499 N/m <sup>2</sup>	147690 N/m <sup>2</sup>
	Mises	Nodo: 12212	Nodo: 13434

Nombre de modelo: placa almacenamiento  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 106593



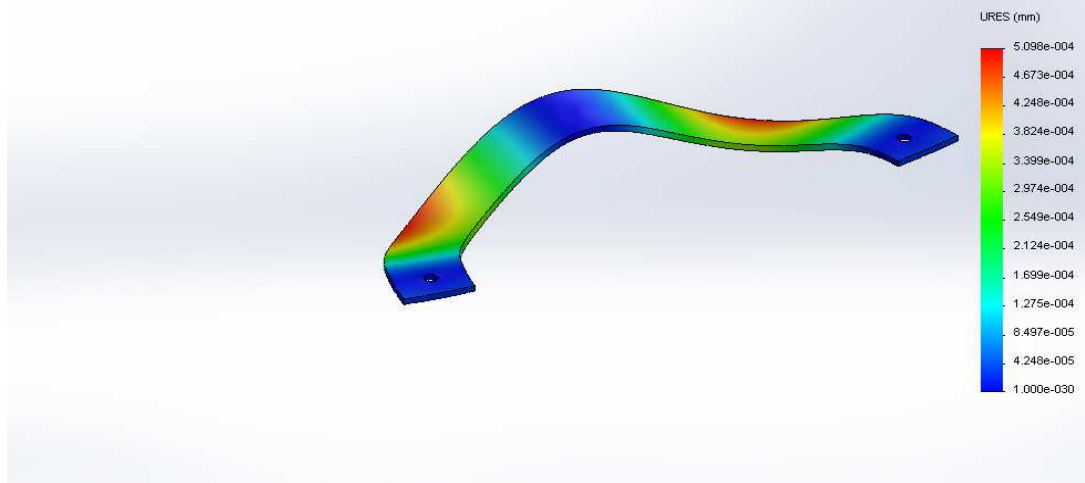
von Mises (N/m<sup>2</sup>)

→ Límite elástico: 180.000.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
placa.almacenamiento-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1			

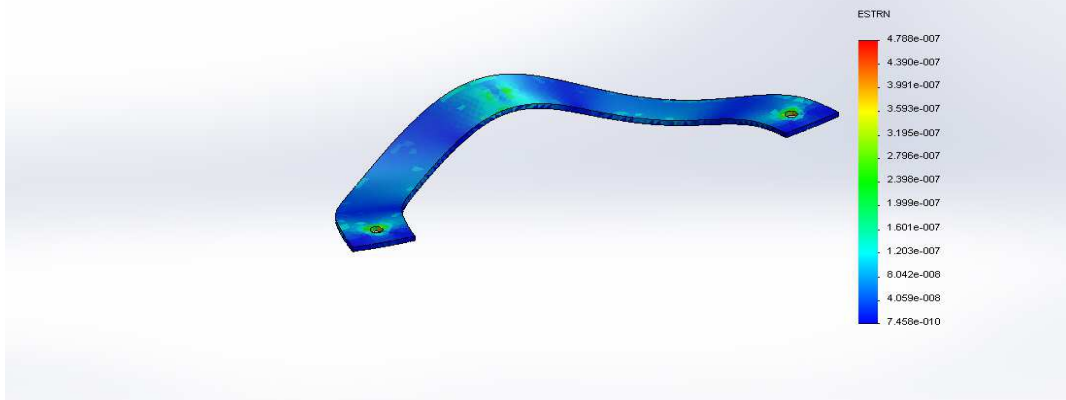
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 5	0.000509808 mm Nodo: 149

Nombre de modelo: placa.almacenamiento  
Nombre de estudio: Estudio 1  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 106593



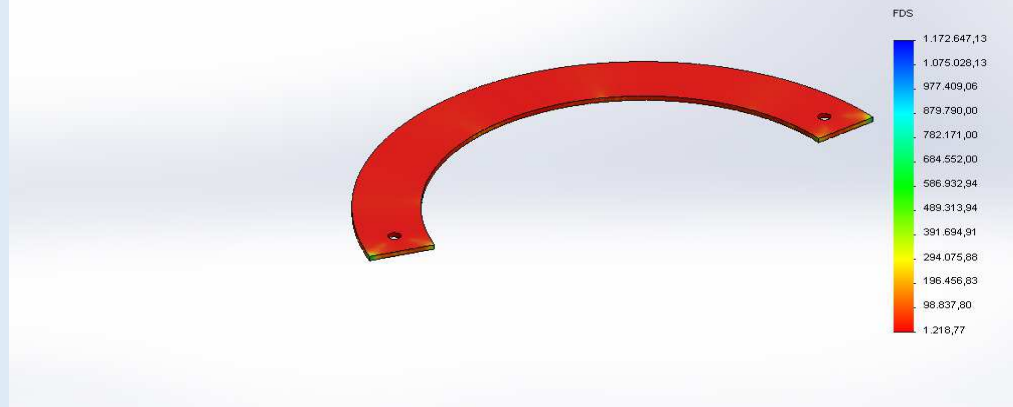
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7.45771e-010 Elemento: 4271	4.78818e-007 Elemento: 3823

Nombre de modelo: placa almacenamiento  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
 Escala de deformación: 106593



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1218.77	1.17265e+006
		Nodo: 13434	Nodo: 12212

Nombre de modelo: placa almacenamiento  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1.2e+003

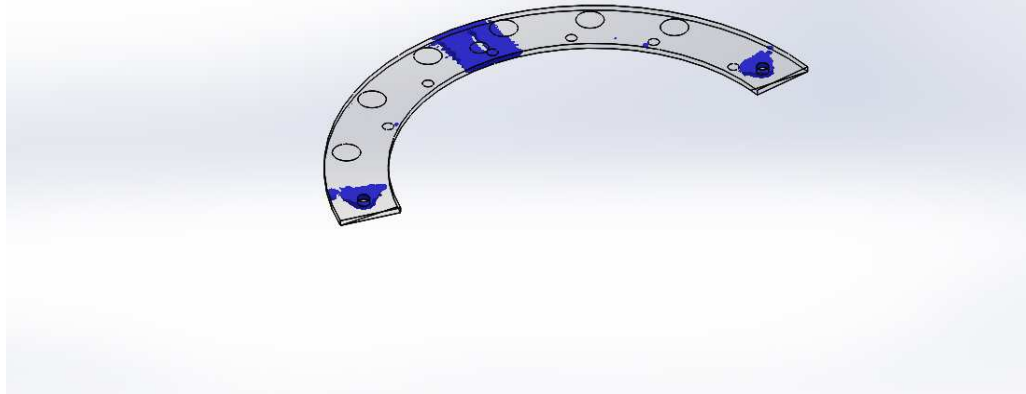


placa.almacenamiento-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo
Percepción del diseño1	Percepción del diseño



Nombre de modelo: placa almacenamiento  
 Nombre de estudio: Estudio 1  
 Tipo de resultado: Percepción del diseño Percepción del diseño  
 Volumen de elemento= 19.35 %



### 3.5.6. Diseño y Selección de Rodamientos

Rodamientos de rodillos cónicos	Rodamientos rígidos de bolas	Rodamientos de rodillos esféricos	Rodamientos axiales de bolas	Rodamientos axiales de doble hilera de bolas a contacto ang	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	Rodamientos axiales de rodillos esféricos	Página de referencia	Tipos de rodamientos
								Características
								Capacidad de manejo de carga  Carga Radial Carga axial
☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	☆	☆	A-66	Alta velocidad ①
☆☆☆	☆☆☆☆		☆	☆☆☆			A-31	Alta precisión rotacional ①
	☆☆☆☆		☆				—	Bajo ruido/vibración ①
	☆☆☆☆						A-67	Bajo torque friccional ①
☆☆		☆☆☆		☆☆	☆☆☆	☆☆☆	A-54	Alta rigidez ①
☆☆		☆☆☆		★	☆☆☆	☆☆☆	A-18	Resistencia a los choques/vibración ①
☆	☆	☆☆☆		★	★	☆☆☆	A-79	Desalineamiento permitido para anillos int/ext. ①
○	⊙	⊙	○	⊙	○	○	A-13	Fijo en la dirección axial ②
	○	○	○				A-13	Movible en la dirección axial ③
○			○	○	○	○	—	Anillos interior/exterior separables ④
		○					A-79	Diámetro interior cónico en el anillo interior ⑤
Para arreglos apareados					Incluye rodamientos axiales de agujas		—	Comentarios
B-133	B-5	B-233	B-269	B-269	E-48	B-269		Página de referencia

Ilustración 36. Tipos y Características de Rodamientos. (Ball and Roller Bearing Catalog NTN, 2010)

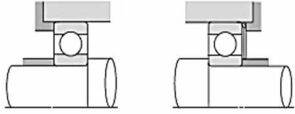
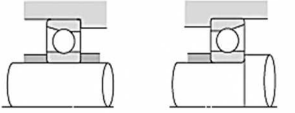
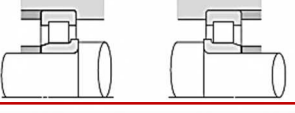

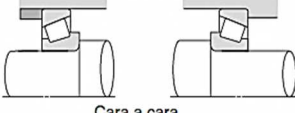
Arreglo	Comentario	Aplicación (referencia)
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es un arreglo general utilizado en maquinas pequeñas.</li> <li>2. Se precarga con calzas y resortes en la cara del anillo exterior (Puede ser en el lado flotante)</li> </ol>	Motores eléctricos, reductores de engranajes pequeños, etc.
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Un arreglo espalda con espalda es preferible a un arreglo cara contra cara, cuando se aplica carga de momento.</li> <li>2. Es capaz de soportar cargas axiales y radiales; son adecuados cuando haya altas velocidades.</li> <li>3. La rigidez del eje puede ser aumentada por el efecto de la precarga.</li> </ol>	Máquinas herramientas de alta velocidad, etc.
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es capaz de soportar cargas de impacto y extra pesadas.</li> <li>2. Es adecuado si los anillos internos y externos requieren de un ajuste apretado.</li> <li>3. Se debe cuidar que el juego axial no llegue a ser muy pequeño durante la operación.</li> </ol>	Equipo de construcción, equipo de minería, roldanas, agitadores, etc.
 <p>Espalda a espalda</p>  <p>Cara a cara</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soportan cargas pesadas y carga de impacto. Tienen amplio rango de aplicaciones.</li> <li>2. La rigidez del eje se mejora al precargarlo, pero esta precarga no debe ser excesiva.</li> <li>3. El arreglo espalda con espalda es para carga de momento, y el arreglo cara contra cara es para alivianar errores de ajuste.</li> <li>4. Con el arreglo cara contra cara, se facilita el ajuste apretado en el anillo exterior.</li> </ol>	Reductores, ruedas delanteras y traseras de autos etc.

Ilustración 37. Arreglos de Rodamientos  
(Ball and Roller Bearing Catalog NTN, 2010)

### 3.5.7. Elaboración de Planos Mecánicos

Para la elaboración de planos mecánicos se tomó en cuenta la Norma INEN CPE-003. Planos Mecánicos – Anexo No5.

## 3.6. Diseño del Sistema Eléctrico/Electrónico

### 3.6.1. Diseño del Sistema de Alimentación Eléctrica

Con el fin de evitar corrientes parásitas, ruido o interferencias, posibles sobrecargas generadas en los elementos de potencia, evitar inconvenientes con las tierras y picos de consumo de corriente, el principal criterio en el que se basó el diseño de la red de alimentación es en el aislamiento de los elementos de potencia (motor y

electroválvulas) de los diferentes elementos electrónicos de control y acondicionamiento de señal (arduino, acondicionadores de señal, reguladores de voltaje, etc.)

Por tal motivo se emplearon tres fuentes de corriente distribuidas como se muestra a continuación:

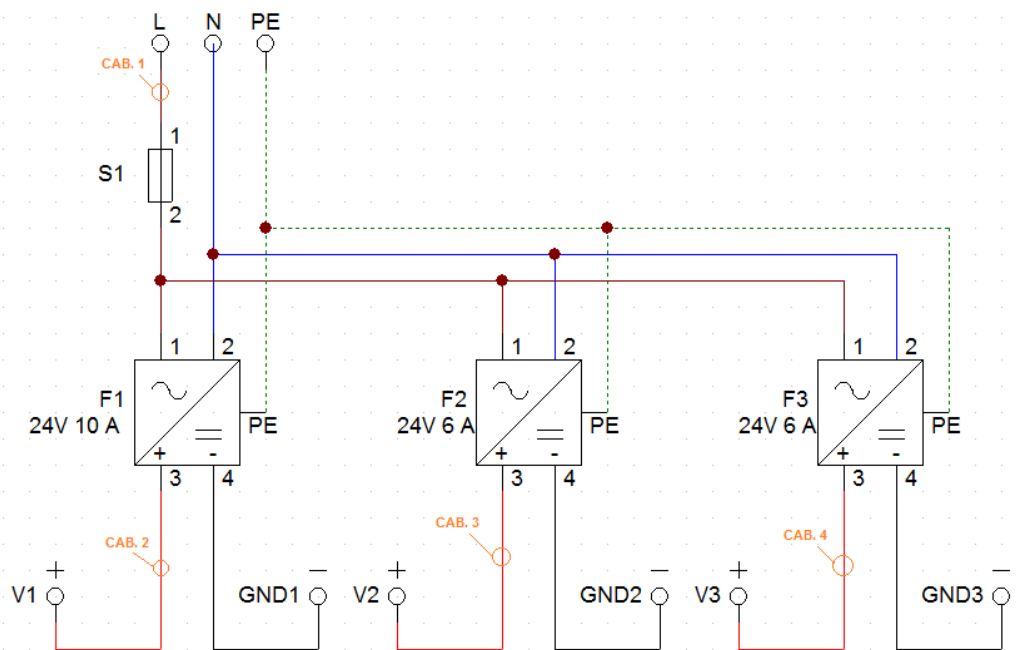


Ilustración 38. Sistema de Alimentación Eléctrica para Estación de Manipulación y Almacenamiento.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

- **Fuente de Alimentación 1 (24V 10A):** Destinada para alimentación de electroválvulas y PLC.
- **Fuente de Alimentación 2 (24V 6A):** Destinada únicamente para la alimentación del Motor.
- **Fuente de Alimentación 3 (24V 6A):** Destinada para alimentación de todos los elementos electrónicos de control y acondicionamiento de señal.

Para el dimensionamiento de las Fuentes de Alimentación se tomó en cuenta el voltaje y consumo de corriente de los elementos conectados a cada una de ellas. A continuación se muestra el consumo de corriente de los elementos principales:

- Motor DC BOSH 24V 6W: 5 A
- Electroválvulas: 0.4 A
- PLC: 0.8A
- Arduino: 50 mA
- Sensor RGB: 5 mA
- Sensor Magnético: 20 mA
- Sensor de Presencia: 20 mA
- Sensor de Posición: 50 mA

Como se puede notar, el mayor consumo de corriente está dado por el motor DC (5A) con lo cual las fuentes estarían sobredimensionadas, pero se optó por su adquisición debido a la disponibilidad inmediata de dichas fuentes en el mercado.

#### **Fuente de Alimentación Conmutada 24V 10<sup>a</sup>**



Ilustración 39. Fuente de Alimentación Conmutada 24V 10.

(Fuente de Alimentación, 2013)

**Características Técnicas:** (Fuente de Alimentación, 2013)

- Tensión de salida: 24 VDC
- Error:  $\pm 1\%$
- Amperaje de salida: 0 ~ 9.5A
- Potencia de salida: 200W DC
- Eficiencia: 81%
- Rango de voltaje: 23,76~ 24.24V
- Tensión de entrada: 110 V AC 63Hz
- Protección Overload: 105% ~ 150% (tipo de protección: reducir el restablecimiento de potencia de entrada: auto recuperar)
- Estabilidad Inlet:  $\pm 0,5\%$
- Temperatura de trabajo: -10 ~ +60
- Dimensiones: 190 \* 110 \* 49
- Peso: 0.8kgs

**Fuente de Alimentación Conmutada 24V 6A****3.6.2. Dimensionamiento de Protecciones:**

Como elementos de protección se emplearon fusibles cerámicos de tipo gG, destinados para uso general tanto ante sobrecargas como cortocircuitos. Para su respectivo dimensionamiento se lo realizó tomando como base al mayor consumo de corriente.

El mayor consumo de corriente está dado por el Motor DC con una corriente máxima de 5A, lo cual quiere decir que se requería un fusible del mismo o un poco más amperaje para evitar posibles sobrecalentamientos y cortes de energía indeseados.

### Fusible S1:


FUSIBLES CILINDRICOS INDUSTRIALES gG					
TAMAÑO	I <sub>n</sub> (A)	REFERENCIA		U (V)	PODER DE CORTE (kA)
		SIN indicador	CON indicador		
	0,5	420000	–	500	120
	1	420001	–	500	120
	2	420002	420102	500	120
	4	420004	420104	500	120
	6	420006	420106	500	120
	8	420008	420108	500	120
	10	420010	420110	500	120
	12	420012	420112	500	120
	16	420016	420116	500	120
	20	420020	420120	500	120

Ilustración 40. Fusibles Cilíndricos Tipo gG.

(Catálogo de Protecciones Industriales dF, 2011)

Para el elemento de protección general se seleccionó un *fusible de 6A*.

### 3.6.2.1. Fusible S2:

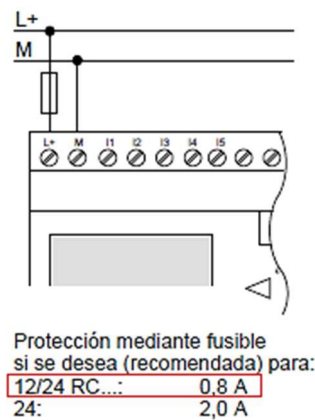


Ilustración 41. Protección mediante Fusible para Logo 12/24 RC.

(Catálogo Siemens, 2013)

El fusible S2 está destinado exclusivamente para la protección del PLC LOGO como recomienda el fabricante (0.8 A), pero debido a que 0.8A no es un valor estándar se procedió a la selección de un fusible de 1 A tomando como referencia la ilustración 72.

### 3.6.3. Dimensionamiento de Cables:

La estación de Manipulación y Almacenamiento maneja básicamente tres valores de voltaje 24V (potencia), 12 y 5V (control y acondicionamiento de señal) para los cuales se utilizó un tipo de cable respectivamente acorde a la cantidad de corriente que transportan y recomendaciones de los fabricantes.

**Cableado 1** (CAB. 1 Ilustración 58 – Red Eléctrica 110 V): Cable Multipolar ST 3 x 16 Calibre **16 AWG 10 A**.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	ESPEJOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	ALTERNAT. DE EMBALAJE
3 x 18	0,83	12 x 0,30	0,76	1,14	8,60	95,70	7	A,Z
3 x 16	1,31	19 x 0,30	0,76	1,14	9,30	120,10	10	A,Z
3 x 14	2,08	30 x 0,30	1,14	1,14	11,80	190,30	15	A,Z

Ilustración 42. Cables Serie ST.

(Catálogo Electrocables, 2013)

**Cableado 2** (CAB. 2 Ilustración 58 – Motor DC 24V): Cable Flexible de Cobre Tipo AWM Calibre *18 AWG 300 A 0.823mm<sup>2</sup>*.

- Corriente máxima 5 A.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	ESPEJOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	TENSION DE TRABAJO V.	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	ALTERNAT. DE EMBALAJE.
24	0,205	7 x 0,20	0,38	0,10	1,57	3,45	300	300	A,E
22	0,324	11 x 0,20	0,38	0,10	1,72	5,50	300	300	A,E
20	0,519	17 x 0,20	0,38	0,10	1,91	7,44	300	300	A,E
18	0,823	12 x 0,30	0,38	0,10	2,16	10,71	300	300	A,E
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	15,92	300	300	A,E
14	2,08	30 x 0,30	0,38	0,10	2,85	25,39	300	300	A,B

Ilustración 43. Cables Serie AWM.

(Catálogo Electrocables, 2013)

**Cableado 3** (CAB. 2 Ilustración 58 – Electroválvulas y PLC): Cable Flexible de Cobre Tipo AWM Calibre *20 AWG 300 A 0.519mm<sup>2</sup>*.

**Recomendación del Fabricante:**

- Para electroválvulas utilizar cable de 0.5mm<sup>2</sup> de sección. (Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)
- Para PLC utilizar cable de sección entre 1.5 y 2.5 mm<sup>2</sup>. (Catálogo Siemens, 2013)



CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	ESPEJOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	TENSION DE TRABAJO V.	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	ALTERNAT. DE EMBALAJE.
24	0,205	7 x 0,20	0,38	0,10	1,57	3,45	300	300	A,E
22	0,324	11 x 0,20	0,38	0,10	1,72	5,50	300	300	A,E
20	0,519	17 x 0,20	0,38	0,10	1,91	7,44	300	300	A,E
18	0,823	12 x 0,30	0,38	0,10	2,16	10,71	300	300	A,E
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	15,92	300	300	A,E

Ilustración 44. Cables Serie AWM.

(Catálogo Electrocables, 2013)

**Cableado 4** (CAB. 2 Ilustración 58 – Elementos Electrónicos y Acondicionamiento de señal 5V 12V): Cable Flexible de Cobre Tipo AWM Calibre **22 AWG 300 A 0.324mm<sup>2</sup>**.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	ESPEJOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	TENSION DE TRABAJO V.	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	ALTERNAT. DE EMBALAJE.
24	0,205	7 x 0,20	0,38	0,10	1,57	3,45	300	300	A,E
22	0,324	11 x 0,20	0,38	0,10	1,72	5,50	300	300	A,E
20	0,519	17 x 0,20	0,38	0,10	1,91	7,44	300	300	A,E
18	0,823	12 x 0,30	0,38	0,10	2,16	10,71	300	300	A,E
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	15,92	300	300	A,E
14	2,08	30 x 0,30	0,38	0,10	2,85	25,39	300	300	A,B

Ilustración 45. Cables Serie AWM.

(Catálogo Electrocables, 2013)

### 3.6.4. Dimensionamiento y Selección de Sensores

#### 3.6.4.1. Sensor de Color

La principal razón por la que no se optó por un sensor de gama industrial es debido al costo excesivamente elevado (alrededor de la mitad del costo total del equipo terminado), motivo por el cuál la mejor solución fue optar por un sensor de gama

electrónica, que en realidad no es tan robusto como un sensor industrial, pero satisface todos los requerimientos de la aplicación en la cual se va a desempeñar.

### Sensor RGB TCS230

*(Convertidor Programable de Color a Frecuencia)*

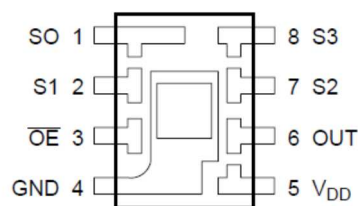


Ilustración 46. Vista Superior CMOS TCS230.

(TAOS, 2010)

**Descripción:** El convertidor programable de luz a frecuencia TCS230 combina fotodiodos de silicio configurables y un convertidor de corriente a la frecuencia en un solo circuito integrado monolítico CMOS. La salida es una onda cuadrada (ciclo de trabajo del 50%) con una frecuencia directamente proporcional a la intensidad de la luz (irradiación). La frecuencia de salida se la puede escalar de tres maneras mediante la configuración de los cuatro pines de control (S).

Las entradas digitales y salidas digitales permiten conexión sencilla y directa a un microcontrolador u otros circuitos Lógicos.

Cuenta con un pin de habilitación de salida (OE) el cual coloca el resultado en el estado de alta impedancia (High) destinada para operaciones de control.

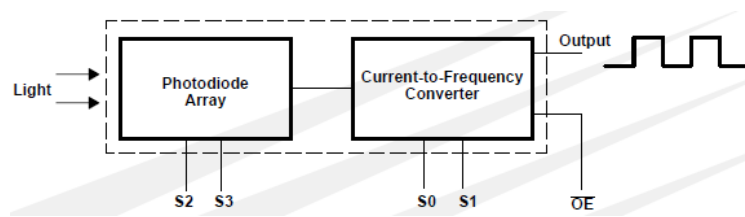


Ilustración 47. Diagrama de Bloques: Funcionamiento TCS230.

(TAOS, 2010)

### Principales Características:

- Convertidor de alta resolución de intensidad de Luz a Frecuencia
- Escalamiento de la frecuencia de Salida
- Comunicación directa con Microcontrolador
- Voltaje de operación (2.7 V a 5.5 V)
- Error no-lineal 0.2% a 60Khz
- Sensibilidad:  $\pm 0.5V$
- Rango de Salida: 10 – 12 KHz
- Resolución: 10%
- Temperatura máxima de Operación 70°C
- Integrado de Montaje Superficial



Ilustración 48. Fotografía Real del Sensor de Color Implementado.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Para ampliar la información del Sensor de Color TCS230 ver Anexo No5. (Datasheets).*

#### **3.6.4.2.Sensores de Posición**

Las principales razones por las que no se optó por un sensor de color de gama industrial en lugar de un sensor de gama electrónica son las siguientes:

- **Costo:** Costo extremadamente elevado de hasta 10 veces el valor de un sensor de gama electrónica.
- **Tamaño:** Al ser necesario colocar el sensor en uno de los extremos del gripper, el tamaño del sensor de color tiene que ser obligatoriamente reducido. Requerimiento que un sensor de gama industrial no lo cumple.
- **Peso:** Los sensores de gama industrial al estar diseñados para desempeñarse en condiciones adversas tienden a ser robustos, razón por la cual al aumentar su tamaño también aumentan su peso.

#### **3.7.4.2.1. Sensor Magnético de Efecto Hall (Serie U18)**

**Descripción:** Circuito integrado de detección magnética mediante el efecto Hall. Diseñado de manera que pueda funcionar en el campo magnético alternantes sobre todo operando a baja tensión de alimentación y en rangos de temperatura ampliados de hasta 125°C.



Ilustración 49. Circuito Integrado Serie U18.

(Sensor Serie U18, 2013)

**Principales Características:**

- Rango de operación de 2.5V a 25V
- Temperatura de Operación de -20°C a 125°C
- Detección magnética de un solo polo magnético
- Corriente máxima 20mA
- Disipación de Potencia 400mW
- Rango de Salida: 0.7 – 3.6 V
- Alcance de Detección: 2 – 10 mm
- Histéresis: 26.2 Gauss
- Resolución: 15%

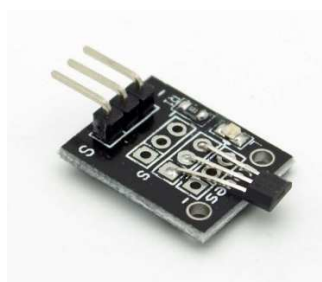


Ilustración 50. Fotografía Real del Sensor Magnético de Efecto Hall implementado.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel.

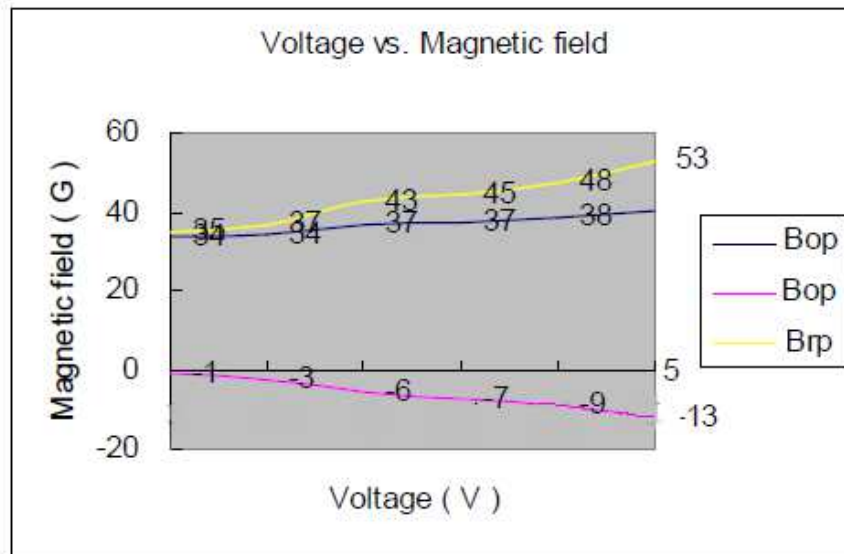


Ilustración 51. Curva Típica Sensor Magnético Serie U18.

(Sensor Serie U18, 2013)

*Para ampliar la información del Sensor Magnético de Efecto Hall Serie U18 ver Anexo No5. (Datasheets).*

### 3.7.4.2.2. Sensor Electrónico de Estado Sólido

Los sensores de posición se los seleccionó referidos al catálogo de la misma marca de los elementos neumáticos (AirTac) y teniendo en cuenta los criterios y recomendaciones del fabricante como se muestra a continuación:

*Cilindro Twin Movimiento Horizontal: Serie TR D:16 mm*

*Cilindro Twin Movimiento Vertical: Serie STW D:16 mm*

*Gripper Angular: Serie HFY D:20 mm*

Los sensores de Serie DS1 existen de tres tipos de conexión, 2 cables, PNP o NPN como se muestra a continuación:

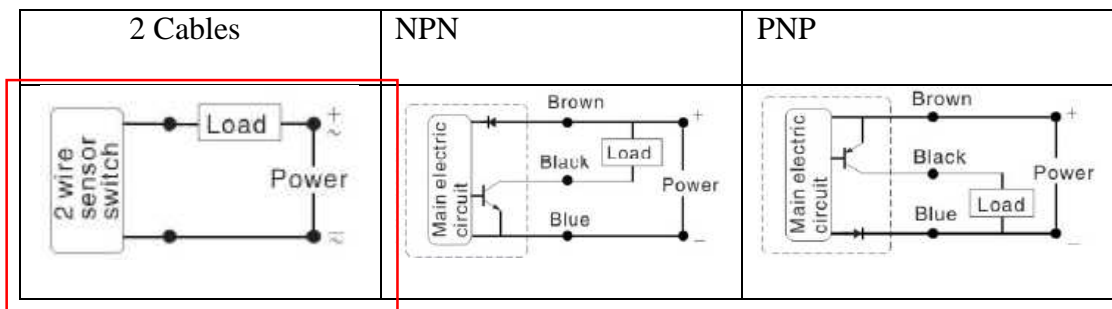


Ilustración 52. Tipos de Conexión Sensores Serie DS1.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

Para la estación de Manipulación y Almacenamiento los sensores electrónicos de estado sólido trabajarán como switches de señal, lo que quiere decir, que no soportarán grandes cargas al ser activados tan solo por un magneto y llevarán una señal con corriente baja (mA). Motivo por el cual se optó por el tipo de conexión sencilla de 2 Cables.

### Sensor de Estado Sólido Serie DS1



Ilustración 53. Sensores de Estado Sólido Serie DS1.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

#### Principales Características:

- Switch Normalmente Abierto (NA)
- Voltaje de Operación 10V a 28VDC

- Máxima consumo de Corriente 50mA
- Disipación de Potencia 1.4 W Max
- Sensibilidad 25 a 700 (Gauss)
- Frecuencia Máxima 1000 Hz
- Indicador Led

*Para ampliar la información de los Sensores Electrónicos de Estado Sólido Serie DSI ver Anexo No5. (Datasheets).*

#### **3.6.4.3.Sensor de Presencia**

Al igual que los sensores de posición se tomaron en cuenta las mismas consideraciones de costo, tamaño y peso para la selección del sensor de presencia que se muestra a continuación.

#### **Sensor de Presencia Óptico Sharp GP2Y0D810Z0F**

Su optó por un sensor óptico ya que su activación no depende del tipo de material a detectarse siempre y cuando éste posea propiedades reflectivas. La principal ventaja por la que se escogió este sensor es su amplio rango de detección (2 a 10 cm) y bajo peso (1.3g).





Ilustración 54. Sensor de Presencia Sharp GP2Y0D810Z0F.

(Catálogo Sharp, 2011)

### Principales Características:

- Tensión de trabajo: 2.7 V to 6.2 V
- Consumo de corriente: 5 mA.
- Rango de detección: GP2Y0D810Z0F: 2 cm a 10 cm.
- Rango de Salida: 0.7 – 4.8 V
- Tiempo de respuesta: 2.56 ms (3.77 ms max).
- Resolución: 90% Reflexión (Negro 0% reflexión)
- Histéresis:  $\pm 3$  mm
- Temperatura de operación: -10 a 60°C
- Tamaño del módulo: 21.6 x 8.9 x 10.4 mm (0.85" x 0.35" x 0.41").
- Peso 1.3 g (0.05 oz).

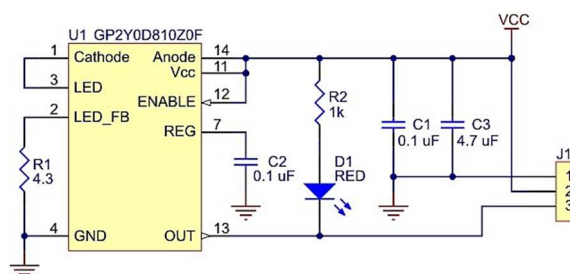


Ilustración 55. Diagrama de Conexión Sensor Sharp GP2Y0D810Z0F.

(Catálogo Sharp, 2011)

*Para ampliar la información del Sensor de Presencia Sharp GP2Y0D810Z0F ver Anexo No5. (Datasheets).*

### **3.6.5. Dimensionamiento y Selección de Actuadores Eléctricos**

#### **3.6.5.1. Actuador de Giro**

Para la selección del actuador de giro se tenía dos alternativas: la una por medio de un actuador de giro neumático y la otra por medio de un actuador de giro eléctrico, de las cuales se descartó la primera alternativa debido a las múltiples posiciones (7 posiciones) a controlar. Es decir se requeriría de al menos 6 sensores de posición magnéticos, lo cual no es factible debido a la restricción por dimensiones del actuador neumático. Otra de las razones es el elevado costo de un actuador de giro neumático, que se aumentaría aún más con el costo de los sensores y accesorios necesarios para su control.

Una vez descartada la primera alternativa se analizó el tipo de actuador eléctrico a emplearse, teniendo dos posibles alternativas: la primera por medio de un motor de corriente y la segunda por medio de un motor a pasos.

La segunda alternativa se descarta debido al número de salidas necesarias en el controlador para poder activar todas las bobinas del motor. Para controlar un motor a pasos se requeriría de al menos 4 salidas en el controlador, mientras que para controlar un motor de corriente continua se requiere solo 2 salidas.

Para la selección del motor de corriente continua se tuvo en cuenta los siguientes requerimientos principales:

- **Voltaje de alimentación:** Elementos de potencia presentes en el equipo como electroválvulas manejan **24V DC**.
- **Torque Mínimo: 0.675 Nm**
- **Velocidad Máxima: 40 rpm.** Velocidad máxima establecida mediante pruebas, para que el sensor magnético de efecto hall alcance a detectar cada imán colocado en los diferentes niveles de la matriz de almacenamiento.
- **Peso, dimensiones y fácil montaje.**

#### **Potencia de Salida ( $P_{out}$ ):**

Datos:

$$M=0.675 \text{ Nm}$$

$$N=40 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{out} = 2 \frac{\pi}{60} * M * n$$

Donde  $M$  es el torque en Nm y  $n$  la velocidad en  $\text{min}^{-1}$ .

$$P_{out} = 2.82 \text{ W}$$

Con lo cual se tiene que el motor debe tener una potencia mínima de:2.82 W.

Teniendo en cuenta los requerimientos principales y la potencia mínima calculada se seleccionó el siguiente motor:

### Motor de Corriente Continua BOSCH CHP 24V 6W

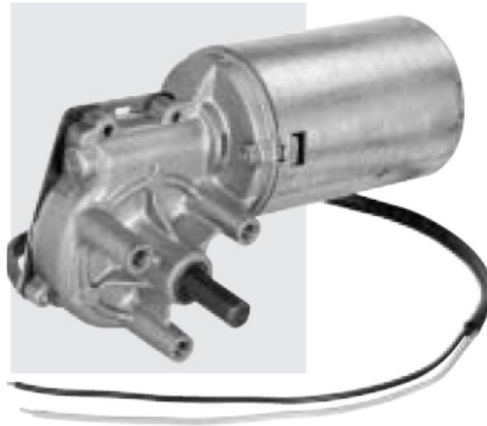


Ilustración 56. Motor BOSCH CHP 24V.

(Catálogo de Motores Eléctricos Bosch, 2012)

#### Especificaciones Técnicas:

$U_N$	24 V
$P_N$	6 W
$n_N$	35 rpm
$I_N$	2,0 A
$I_{MÁX.}$	5 A
$M_N$	1,75 Nm
$M_A$	7 Nm
$i$	54 : 1
Rot.	L
S	S1
IP	IP 44
kg	1,100 kg

Ilustración 57. Especificaciones Técnicas Motor BOSCH CHP 24V.

(Catálogo de Motores Eléctricos Bosch, 2012)

Para comprobar que el motor seleccionado cumple con los requerimientos principales se analizó la siguiente curva correspondiente al motor BOSCH CHP 24 V:

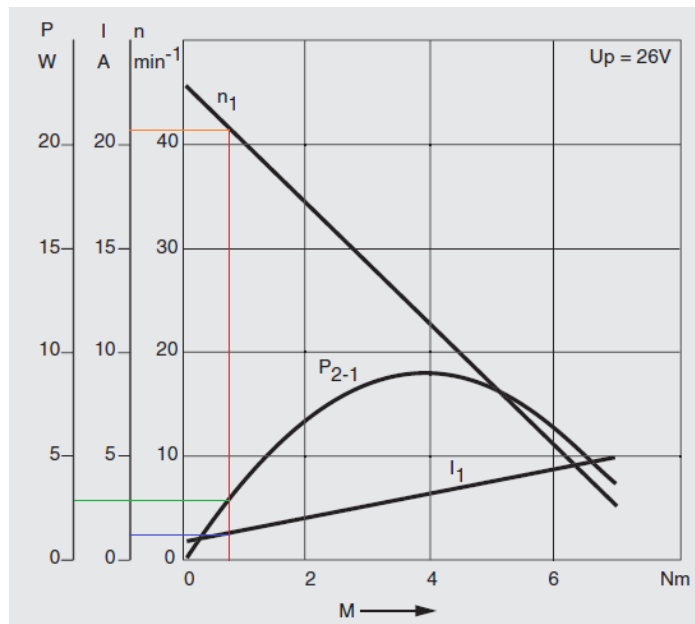


Ilustración 58. Curva Característica Motor BOSCH CHP 24V.

(Catálogo de Motores Eléctricos Bosch, 2012)

De la cual se obtuvo los siguientes valores:

$$I = 1 \text{ A}$$

$$P = 3 \text{ W}$$

$$n = 41 \text{ min}^{-1}$$

Que comprueban la adecuada selección del actuador de giro.

Para ampliar la información del Motor BOSCH CHP 24V 6W ver Anexo No5.

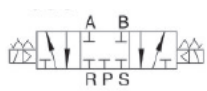
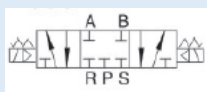




(Catálogos).

### 3.6.5.1. Selección de Válvulas y Elementos Neumáticos Auxiliares

Las diferentes electroválvulas se las seleccionó acorde al catálogo de la misma marca de los elementos neumáticos (AirTac) y teniendo en cuenta los siguientes criterios:


- Bobinas de **24V DC** con indicador Led
- Presión de Trabajo: **4 bar**
- Apilables (Adaptables a Manifold)

Tabla 55. Selección de Electroválvulas

Elemento	Cantidad	Configuración	Símbolo
<b>Electroválvulas</b>			
Eje Lineal Neumático Mov. Vertical – Doble Efecto	1	Electroválvula 5/3 (Bloqueo al Centro)	
Cilindro Twin Mov. Horizontal – Doble Efecto	1	Electroválvula 5/3 (Bloque al Centro)	
Cilindro Sencillo Auxiliar – Doble Efecto	1	Electroválvula 3/2	
Pinza Angular HFY 20 – Doble Efecto	1	Electroválvula 3/2 (Biestable)	
Válvulas Auxiliares	2	Electroválvula 2/2	
<b>Válvulas Manuales</b>			
Válvula de Mano (Slide)	1	3/2	

### Elementos Neumáticos Auxiliares

Filtro Presión	Regulador de	1	Regulación media 4 bar	
-------------------	-----------------	---	---------------------------	---

Regulador (Antiretorno)	de Flujo	2	1/1	
----------------------------	-------------	---	-----	---

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### Válvula Solenoide 5/3 Serie 4V200 – 30C



Ilustración 59. Válvula Solenoide 5/3 Serie 4V200.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

### Especificaciones Técnicas:

Tabla 56. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 5/3 Serie 4V200.

Accionamiento	Pilotado (Bobina)
Presión de Trabajo	0.15 – 0.8 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70
Frecuencia Máxima	5 ciclos/seg

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Para ampliar la información de la Válvula Solenoide 5/3 Serie 4V200 ver Anexo No5. (Catálogos).*

### **Válvula Solenoide 3/2 (Biestable) Serie 3V200 – 20**



Ilustración 60. Válvula Solenoide 3/2 Serie 4V200.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

### **Especificaciones Técnicas:**

Tabla 57. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V200.

Accionamiento	Pilotado (Bobina)
Presión de Trabajo	0.15 – 0.8 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70
Frecuencia Máxima	5 ciclos/seg

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel



*Para ampliar la información de la Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V200 ver Anexo No5. (Catálogos).*

### Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V300 – N.O.



Ilustración 61. Válvula Solenoide 3/2 Serie 4V300.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

### Especificaciones Técnicas

*Para ampliar la información de la Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V200 ver Anexo No5. (Catálogos).*

Tabla 58. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 3/2 Serie 3V200.

Accionamiento	Pilotado (Bobina)
Presión de Trabajo	0.15 – 0.8 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70
Frecuencia Máxima	5 ciclos/seg

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### Válvula Solenoide 2/2 2P025-06



Ilustración 62. Válvula Solenoide 2/2 2P025-06.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

#### Especificaciones Técnicas:

Tabla 59. Especificaciones Técnicas Válvula Solenoide 2/2 2P025-06.

Accionamiento	Pilotado (Bobina)
Presión de Trabajo	0.1 – 0.7 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70
Frecuencia Máxima	0.05 seg

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Para ampliar la información de la Válvula Solenoide 2/2 2P025-06 ver Anexo No5.*

*(Catálogos).*

### Válvula de Mano Tipo Slide Serie HSV08



Ilustración 63. Válvula de Mano Serie HSV08.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

#### Especificaciones Técnicas:

Tabla 60. Especificaciones Técnicas Válvula de Mano Serie HSV08.

Accionamiento	Manual
Presión de Trabajo	0.1 – 1.0 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70

*Para ampliar la información la Válvula de Mano HSV08 ver Anexo No5. (Catálogos).*

### Filtro Regulador de Presión Serie GFR200



Ilustración 64. Filtro regulador de Presión Serie GFR200.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

**Especificaciones Técnicas:**

Tabla 61. Especificaciones Técnicas Filtro regulador de Presión Serie GFR200.

Tamaño de Puertos	¼"
Rango de Regulación	0.1 – 0.7 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Para ampliar la información del Filtro Regulador de Presión Serie GFR200 ver Anexo No5. (Catálogos).*

**Regulador de Flujo Serie ASC-08**

Ilustración 65. Regulador de Flujo Serie ASC-08.

(Catálogo AirTac Pnuematic Equipment, 2012)

**Especificaciones Técnicas:**

Tabla 62. Especificaciones Técnicas Regulador de Flujo Serie ASC-08.

Tamaño de Puertos	¼"
Presión de Trabajo	0.05 – 0.95 Mpa
Temperatura °C	-20 – 70

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

*Para ampliar la información de la Regulador de Flujo Serie ASC-08 ver Anexo No5. (Catálogos).*

### **3.6.6. Elaboración de Planos Eléctricos**

Para la elaboración de planos eléctricos se tomó en cuenta la Norma IEC 6061 / UNE EC 60617

Planos Eléctricos – Anexo No5.

## **3.7. Diseño del Sistema de Control**

### **3.7.1. Algoritmos de Control**

#### **3.7.1.1. Algoritmo de Control General**

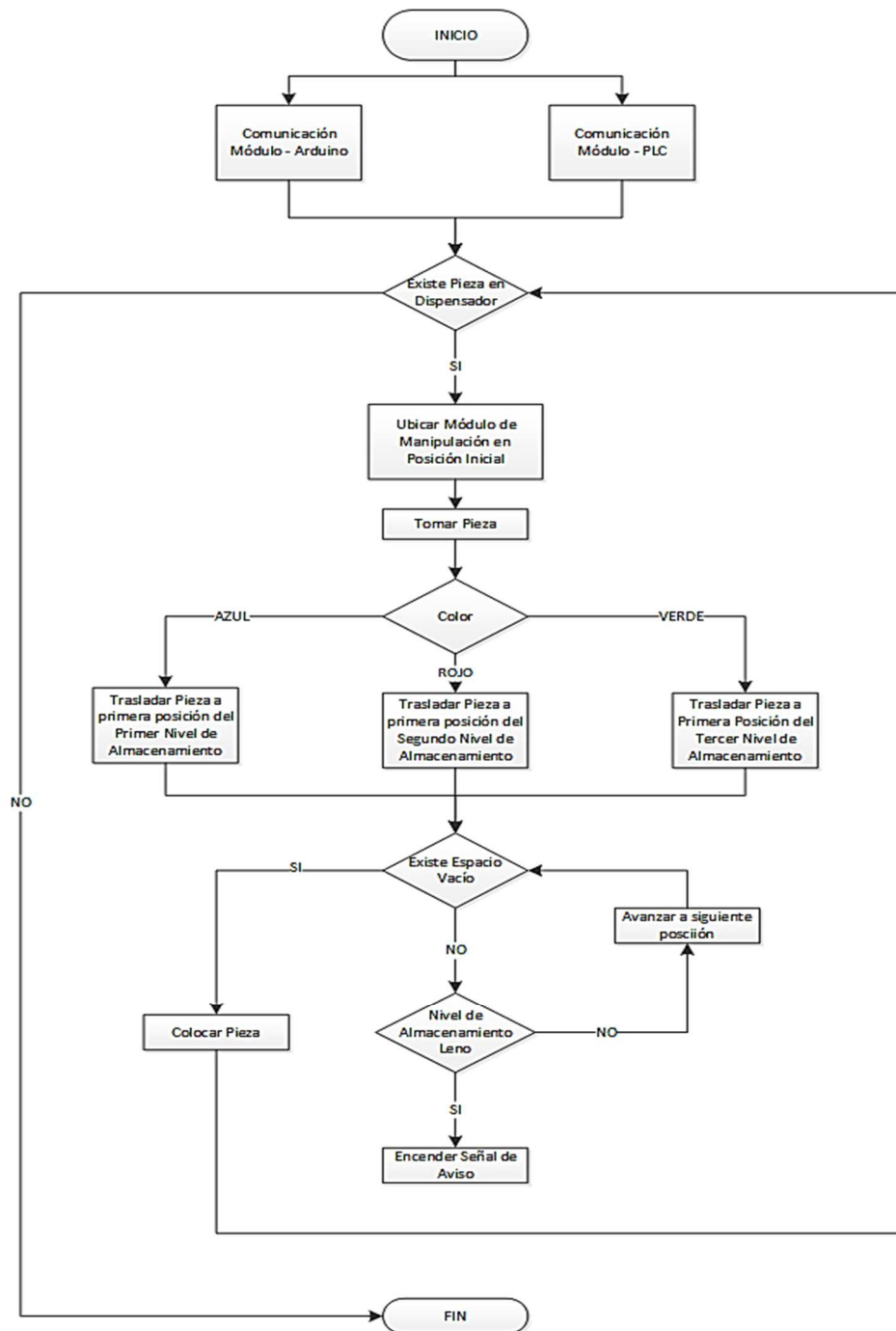


Ilustración 66. Algoritmo de Control General.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### 3.7.1.2. Algoritmo de Control para Sensor de Color

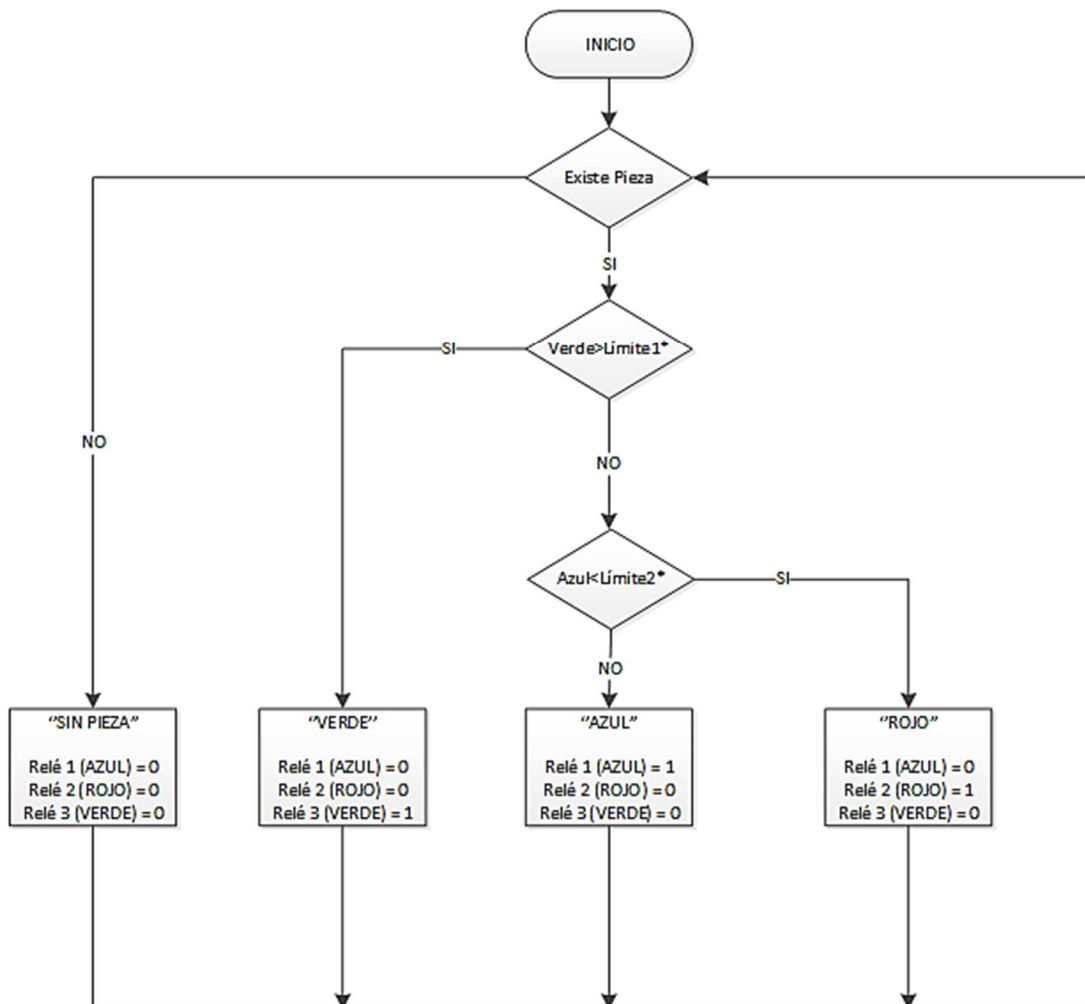


Ilustración 67. Algoritmo de Control Para Sensor de Color.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

(\*) Límites previamente establecidos mediante pruebas y adquisición de datos del sensor de color.

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. Pruebas de Funcionamiento**

##### **3.6.6. 4.1.1. Análisis Estadístico del equipo**

#### **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.



#### 4.1.1.1. 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 de cada subgrupo ( $p_i$ )

$$p_i = \frac{D_i}{n}$$

$p_i$  = Proporción defectuosa por subgrupo  
 $D_i$  = Número de partes defectuosas por subgrupo  
 $n$  = Tamaño de la muestra (constante)

**Paso 3:** Cálculo de la proporción defectuosa promedio

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{n * k}$$

$D_i$  = Número de partes defectuosas por subgrupo  
 $n$  = Tamaño de la muestra (constante)  
 $k$  = Número de subgrupos

**Paso 4:** Cálculo de los límites de control

$$UCL = n\bar{p} + 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})}$$

$$CL = n\bar{p}$$

$$LCL = n\bar{p} - 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})}$$

**Paso 5:** Trazado de la gráfica y análisis de resultados

La gráfica consiste en tres líneas de guía: Límite de control inferior, línea central y límite de control superior. La línea central es el producto de número de defectos por subgrupo y los dos límites de control son fijados más o menos a tres desviaciones estándar.

Cada subgrupo se identifica en la gráfica como un punto, un círculo o una cruz según se establezca, cada punto corresponde a un valor  $D_i$ .

Se ha elegido este tipo de análisis para la confiabilidad del equipo, debido a su categorización de pasa o no pasa, pues el funcionamiento del equipo es correcto o no, no existen categorizaciones intermedias.

El análisis está realizado dependiendo del tipo de falla y el color de la pieza para de esta forma determinar que elemento está funcionando incorrectamente. Se realizaron 15 pruebas en diferentes días y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 63. Carta de Control por Atributos (Azul) n=100

<b>AZUL</b>						
<b>PRUEBAS</b>	<b>COLOR</b>	<b>DETECCIÓN IMANES</b>	<b>NO DETECTA PIEZA</b>	<b>CHOQUE</b>	<b>TOTAL</b>	<b>p%</b>
1	0	0	3	0	3	6
2	0	0	1	0	1	2
3	0	0	2	0	2	4
4	0	0	0	1	1	2
5	0	1	0	0	1	2
6	0	0	2	0	2	4
7	1	0	1	0	2	4
8	0	0	2	0	2	4
9	0	0	2	0	2	4
10	0	0	1	0	1	2
	1	1	14	1	17	

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 64. Carta de Control por Atributos (verde) n=100

<b>VERDE</b>						
<b>PRUEBAS</b>	<b>COLOR</b>	<b>DETECCIÓN IMANES</b>	<b>NO DETECTA PIEZA</b>	<b>CHOQUE</b>	<b>TOTAL</b>	<b>p%</b>
1	0	0	0	1	1	2
2	0	0	1	0	1	2
3	0	0	1	0	1	2
4	0	1	0	0	1	2

5	0	0	1	0	1	2
6	1	0	0	0	1	2
7	1	0	1	0	2	4
8	0	0	0	1	1	2
9	1	0	1	0	2	4
10	0	0	0	1	1	2
	3	1	5	3	12	

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Tabla 65. Carta de Control por Atributos General

<b>PRUEBAS</b>	<b>COLOR</b>	<b>DETECCIÓN IMANES</b>	<b>NO DETECTA PIEZA</b>	<b>CHOQUE</b>	<b>TOTAL</b>	<b>p%</b>
1	0	0	3	1	4	4
2	0	0	2	0	2	4
3	0	0	3	0	3	6
4	0	1	0	1	2	4
5	0	1	1	0	2	4
6	1	0	2	0	3	6
7	2	0	2	0	4	8
8	0	0	2	1	3	6
9	1	0	3	0	4	8
10	0	0	1	1	2	4
	4	2	19	4	29	

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

**Resultados Obtenidos:**

$$\bar{p} = 1.93$$

$$n * \bar{p} = 193.33$$

**Límites de Control:**

$$LCS = 197.46$$

$$LCI = 189.20$$

**Análisis:**

El valor obtenido de  $n * \bar{p}$  toma en cuenta el tamaño de la muestra y la frecuencia de ocurrencias de cada error. Este valor es 193.33 que se encuentra dentro de los límites de control, lo que representa que el equipo se encuentra estadísticamente controlado.

El análisis realizado de cada color, determina que el error que ocurre con mayor frecuencia es que no se detectan las piezas ubicadas previamente en los estantes. Este error puede ocurrir debido al alcance y posición del sensor de presencia.

Justamente la posición de este sensor es uno de los limitantes del diseño de las pinzas del gripper. Como el diseño y simulación fueron realizados por software, no es posible garantizar que en el modelo físico se haya logrado el ángulo de inclinación que se requiere para este sensor y por ello se da con frecuencia este error. (Anderson, David, & Thomas, 2009)

## 4.2. Calibración de sensor de color

El correcto funcionamiento del sensor de color es parte primordial dentro del módulo didáctico, pues este es el factor discriminante del equipo. La selección de los colores de las piezas no es hecha al azar, pues como el sensor de color es un RGB, se tomó como base los colores primarios RGB.

Para saber cómo es percibido un color, hay que tener en cuenta que existen tres tipos de conos con respuestas de frecuencia diferentes, y que tienen máxima sensibilidad a los colores que forman la terna RGB.

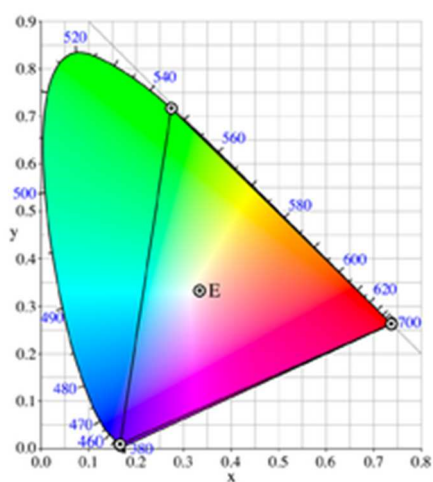


Ilustración 68. Espectro RGB.

(TAOS, 2010)

Como se puede observar en la ilustración, los colores que se encuentran en las esquinas del triángulo, son los más aptos para ser el color de las piezas, pues la diferencia que existe entre ellos va a permitir evitar errores frecuentes en los colores.

Para obtener los colores adecuados, a más de hacer válida la gama de colores RGB, se realizaron tomas de datos de cada color y pieza en diferentes ambientes, obteniendo las curvas de medición y los rangos de cada color.

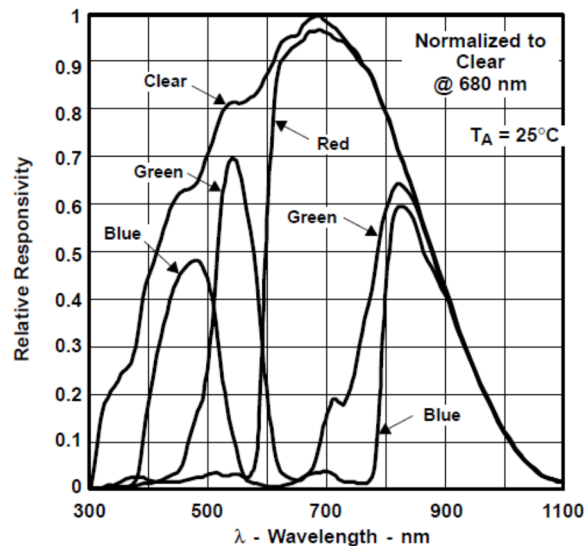


Ilustración 69. Respuesta Espectral del Sensor RGB TCS230.

(TAOS, 2010)

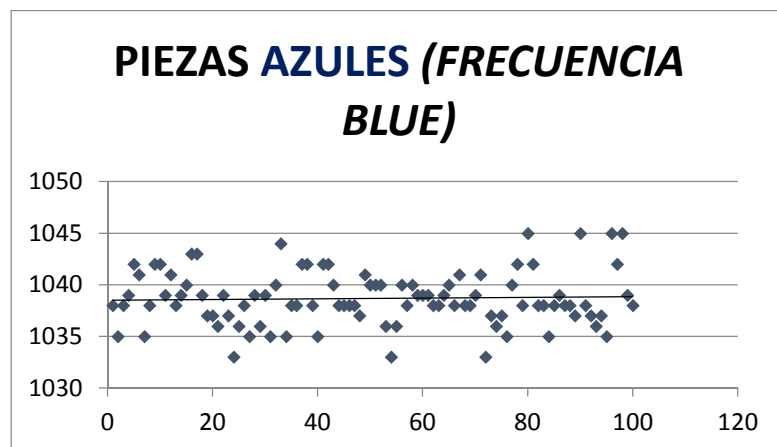


Ilustración 70. Toma de Datos - Piezas Azules vs. Variable RGB: Blue.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

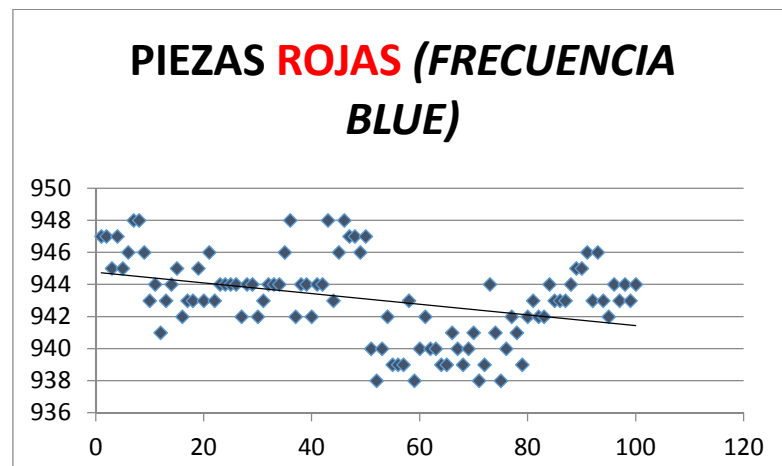


Ilustración 71. Toma de Datos - Piezas Rojas vs. Variable RGB: Blue.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

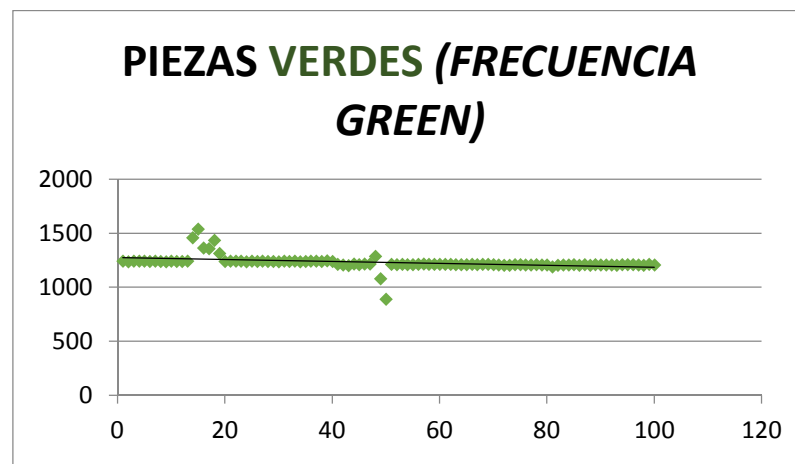


Ilustración 72. Toma de Datos - Piezas Verdes vs. Variable RGB: Green.

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

Para la calibración de este sensor, revisar el manual de usuario en la sección “*calibración del sensor de color*”.



### 4.3. Análisis Económico

Mediante un estudio económico se puede determinar la viabilidad para la construcción de la Estación de Manipulación y Almacenamiento planteada en el presente proyecto.

Para la determinación de dicha viabilidad se analizan parámetros de evaluación financiera como son el VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y el índice de relación Beneficio/Costo. Teniendo en cuenta que el proyecto debe arrojar valores de VAN positivos, un porcentaje de TIR aceptable y sobre todo un índice de Beneficio/Costo igual o superior a uno.

Para el estudio económico se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- **Costo de Activos**
- **Gastos:** Mano de obra Indirecta, que corresponde a la mano de obra contratada externamente, y Gastos Pasivos que corresponde al alquiler de un taller por el cual se cancelaba un costo mensual, que abarcaba el uso de todas las herramientas y maquinaria existente más el asesoramiento de los técnicos presentes, pero la mano de obra directa en este caso, corría por cuenta propia, es decir, todas las piezas, acoples o elementos necesarios fueron elaborados por medios propios. Por Tal razón, en el análisis no se contempla un rubro de mano de obra directa o un desglose específico de cada parte elaborada.
- **Financiamiento del Proyecto:** El financiamiento del Proyecto será cubierto en su totalidad por los desarrolladores del proyecto.

**ANEXO A : COSTO DE ACTIVOS**

<b>ELEMENTOS NEUMATICOS</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT</b>	<b>PRECIO TOT</b>
Eje Lineal Twin D16mm C150mm	1	\$ 491,58	\$ 405,06
Cilindro Twin Doble Vástago D16mm C80mm	1	\$ 162,18	\$ 133,64
Pinza Angular D20mm	1	\$ 195,30	\$ 160,93
Filtro Regulador 1/8"	1	\$ 41,04	\$ 33,82
Manifold 3 Estaciones	1	\$ 36,30	\$ 29,91
Válvula de Corredera 1/8"	1	\$ 7,58	\$ 6,25
Regulador de flujo 1/8"	4	\$ 11,83	\$ 38,99
Racor Recto 1/4" x 6mm	11	\$ 1,40	\$ 12,69
Racor Recto M5 x 6mm	6	\$ 1,10	\$ 5,44
Racor Recto 1/8" x 6mm	8	\$ 1,40	\$ 9,23
Manguera 6mm	8	\$ 0,74	\$ 4,88
Manguera 4mm	2	\$ 0,40	\$ 0,66
<b>COSTO TOTAL (USD.)</b>			<b>\$ 841,49</b>

<b>ELEMENTOS ELECTRICO/ELECTRONICOS</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PRECIO TOT</b>
Electroválvula 5/3 - 1/8" 24VDC (PBC)	2	\$ 116,16	\$ 191,43
Electroválvula 5/2 - 1/4" 24VDC (PBC)	1	\$ 37,95	\$ 31,27
Electroválvula 2/2 - 1/4" 24VDC	2	\$ 29,29	\$ 48,27
Sensor Magnético Cilindro CS1-J	3	\$ 20,46	\$ 50,58
Sensor Magnético Cilindro CS1-G	4	\$ 20,46	\$ 67,44
Sensor Magnético Efecto Hall	1	\$ 18,00	\$ 18,00
Sensor Presencia SHARP 2-10cm	2	\$ 11,00	\$ 22,00
Sensor Color RGB TC232	1	\$ 28,00	\$ 28,00
Fuente de Poder 24V 10A	1	\$ 110,00	\$ 110,00
Fuente de Poder 24V 6A	2	\$ 80,00	\$ 160,00
Placa 4 Reles Optoacoplados	4	\$ 20,00	\$ 80,00
Regulador de voltaje variable 24VDC/var	3	\$ 8,00	\$ 24,00
Regulador de voltaje fijo 24VDC/12VDC	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Cable Calibre 22 AWG (25m)	2	\$ 18,00	\$ 36,00
Cable Calibre 18 AWG (25m)	2	\$ 18,00	\$ 36,00
Cable Calibre 16 AWG (1m)	3	\$ 1,12	\$ 3,36
Cables con Pines para Arduino (pack)	3	\$ 10,00	\$ 30,00
Conector DB25	2	\$ 1,80	\$ 3,60
Conector DB19	2	\$ 1,80	\$ 3,60
Relé Industrial 24VDC	4	\$ 14,00	\$ 56,00
Indicador Luminoso 24VDC	2	\$ 6,50	\$ 13,00
Pulsador	2	\$ 8,00	\$ 16,00
Switch 2 Posiciones	1	\$ 8,50	\$ 8,50
Porta Fusibles (DIN)	2	\$ 16,00	\$ 32,00
Breaker (DIN)	1	\$ 16,00	\$ 16,00
Borneras (DIN)	60	\$ 0,62	\$ 37,20
Riel DIN cobre	1	\$ 6,80	\$ 6,80
Canaleta	1	\$ 9,00	\$ 9,00
Kit para Soldadura (Electrónica)	1	\$ 21,00	\$ 21,00
Spagetti Termofundente (m)	3	\$ 1,20	\$ 3,60
Imanes	18	\$ 0,25	\$ 4,50
<b>COSTO TOTAL (USD.)</b>			<b>\$ 1.207,15</b>

<b>CONTROLADORES</b>			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOT
LOGO! 12/24 RC VDC ETHERNET	1	\$ 250,00	\$ 218,50
LOGO DM 16 MOD/EXP.	1	\$ 128,00	\$ 111,87
Arduino MEGA 2560	1	\$ 55,00	\$ 55,00
Arduino Nano AtMega 328	1	\$ 32,00	\$ 32,00
<b>COSTO TOTAL (USD.)</b>			<b>\$ 417,37</b>

<b>MATERIALES</b>			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOT
Perfil Rectangular Acero (3m)	2	\$ 21,80	\$ 43,60
Plancha Acero con Labrado	1	\$ 32,00	\$ 32,00
Plancha de Acero liso (2mm)	1	\$ 28,00	\$ 28,00
Placas de Acero (4mm) 60x80mm	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Placas de Acero (4mm) 1mx0,85m	1	\$ 31,36	\$ 31,36
Eje Roscado (2m)	1	\$ 4,50	\$ 4,50
Eje Acero D50mm	1	\$ 17,00	\$ 17,00
Funda Electrodo 6011	1	\$ 32,00	\$ 32,00
Pernos, Tuercas, Tornillos	100	\$ 0,20	\$ 20,00
Rodamientos Cónicos	2	\$ 6,00	\$ 12,00
Plancha de Acrílico	1	\$ 23,00	\$ 23,00
Esmalte Poliuretano (Lt)	3	\$ 13,40	\$ 40,20
Placa de Aluminio (6mm) 30x50cm	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Masilla Epóxica	2	\$ 1,89	\$ 3,78
Materiales Varios	1	\$ 30,00	\$ 30,00
<b>COSTO TOTAL (USD.)</b>			<b>\$ 350,44</b>

#### ANEXO B : GASTOS

<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOT
Maquinado de Eje D50mm (c/u hora)	1	\$ 120,00	\$ 20,00
Corte con Plasma	1	\$ 20,00	\$ 30,00
<b>COSTO TOTAL (USD.)</b>			<b>\$ 50,00</b>

<b>PASIVOS</b>			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOT
Alquiler mensual de Taller	3	\$ 120,00	\$ 360,00
<b>COSTO TOTAL (USD.)</b>			<b>\$ 360,00</b>

<b>ANEXO C: RESUMEN DE EGRESOS</b>	
<b>COSTO DE ACTIVOS</b>	<b>\$ 2.816,44</b>
ELEMENTOS NEUMATICOS	\$ 841,49
ELEMENTOS ELECTRICO/ELECTRONICOS	\$ 1.207,1
CONTROLADORES	\$ 417,4
MATERIALES	\$ 350,4
<b>GASTOS</b>	<b>\$ 410,0</b>
MANO DE OBRA INDIRECTA	\$ 50,00
PASIVOS	\$ 360,00
<b>COSTO DEL PROYECTO (USD.)</b>	<b>\$ 3.226,44</b>

ANEXO D: FINANCIAMIENTO		
FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO (USD.)		
DESCRIPCION		
Porcentaje para Imprevistos	5,0%	\$ 161,32
Financiamiento	100%	\$ 3.226,44
<b>TOTAL DE CAPITAL (USD.)</b>	<b>\$</b>	<b>3.387,77</b>

ANEXO E: FLUJO DE CAJA		
FLUJO DE CAJA		
CAPITAL (USD.)	100%	\$ 3.387,77
COSTO DEL PROYECTO (USD.)	100%	\$ 3.387,77
<b>TOTAL UTILIDAD (USD.)</b>	<b>\$</b>	<b>-</b>

INDICES DE EVALUACION	
VALOR ACTUAL NETO (VAN) (USD.)	\$ -
RELACION BENEFICIO / COSTO (B/C)	1,00
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) (%)	0,00%

Elaborado por: Mera, Victoria y Mora, Miguel

### Análisis:

Después de realizado el análisis económico se obtuvo un costo total del proyecto de 3226.44 dólares y un financiamiento de 3387.77 dólares que contempla un 5% de aumento destinado para gastos imprevistos.

El equipo fue diseñado y creado sin fines de lucro, por lo tanto, no tiene la finalidad de producir una ganancia o utilidad cuantificable, pero si tendrá una ganancia subjetiva que se verá reflejada en el aprendizaje de cada estudiante que haga uso de él. Por tal motivo, al ser el proyecto financiado por fuente propia en su totalidad, el capital toma el mismo valor del costo del proyecto, lo cual da como resultado un Valor actual Neto VAN igual 0, índice de relación beneficio-costos igual a 1 y por ende una Tasa interna de retorno TIR del 0%, que se traduce en la viabilidad positiva del proyecto, sin generación ganancias pero tampoco generación de pérdidas, es decir, se mantiene en su punto de equilibrio.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se culminó la implementación de los sistemas mecánicos, eléctrico/electrónicos y de control, imprescindibles en un equipo mecatrónico, mediante la aplicación de diferentes técnicas y herramientas referentes al diseño de ingeniería, lo cual complementa y convalida los conocimientos adquiridos a lo largo del período de formación académica.
  
- Se realizó el Manual de Usuario y las respectivas Guías de Laboratorio que brindan a los usuarios la información necesaria para operar correctamente al equipo, resolver posibles inconvenientes, y sobre todo brindar el soporte imprescindible para sacar el mayor provecho del mismo en el desarrollo de sus diferentes aplicaciones.
  
- La presión óptima de trabajo para todos los elementos neumáticos de la Estación de Manipulación y Almacenamiento corresponde a 4 bar (58 psi). Pero para asegurar que esa presión de trabajo se mantenga constante durante todo el tiempo de funcionamiento se requiere de un compresor con una potencia mínima de 0.5 Hp y que sea capaz de generar un caudal mínimo real de 72 L/min.

- Debido a la disponibilidad del compresor existente en el Laboratorio de Automatización Industrial (Compresor DARI Spider 25/1850 0.75 Hp) el proceso de selección consistió básicamente en la comprobación de que dicho compresor cumple con los requerimientos mínimos de la estación. Teóricamente basándose en las especificaciones del fabricante se estableció que el compresor SI es apto para el funcionamiento del equipo, pero no es el compresor óptimo, ya que tras realizar varias pruebas prácticas se comprobó que el caudal entregado no se mantiene constante, especialmente al momento en que vuelve a cargar el compresor.
- El diseño del equipo se basa principalmente en la masa de las piezas (*20gr*) que se van a transportar, pues de éste y otros factores depende la selección de cilindros y el torque del motor, que son elementos vitales en la constitución del equipo. Otro de los puntos fundamentales a considerar en el diseño es un factor de seguridad base ( $f_s=2$ ) que representa el valor mínimo que puede poseer cada uno de los elementos.
- Se implementó tres fuentes de alimentación independientes con el fin de evitar corrientes parásitas, ruido o interferencias que afecten al controlador (Arduino), posibles sobrecargas generadas en los elementos de potencia, evitar inconvenientes con las tierras, picos de consumo de corriente, y sobre todo lograr el aislamiento entre los elementos de potencia (motor y electroválvulas) con los diferentes elementos electrónicos de control y acondicionamiento de señal (arduino, acondicionadores de señal, reguladores de voltaje, etc.)

- Factores limitantes como el excesivo costo de un sensor de color de gama industrial fueron decisivos para determinar la selección de un sensor de color RGB de gama electrónica menos robusto, pero que cumple con los requerimientos necesarios para la aplicación en la que se desenvuelve.
- Uno de los inconvenientes a superar fue la reducción del aire que queda alojado en las mangueras, el cual debido al reducido tamaño de las cámaras de aire de los elementos neumáticos, afecta considerablemente en la precisión de parada del vástago especialmente en posiciones medias. Este inconveniente se logró superar mediante la implementación de válvulas auxiliares de control 2/2 con anti-retorno ubicadas lo más cercano posible a los puertos de entrada/salida de los elementos neumáticos.
- Tras realizar varias pruebas prácticas se observó que el microcontrolador Arduino MEGA 2560 pese a no ser tan robusto como el PLC LOGO! 12/24 RC, brinda un mejor y más rápido desempeño, especialmente tomando en cuenta los tiempos de respuesta y procesamiento de cada uno de ellos. Adicionalmente Arduino brinda otras ventajas como: lenguaje de programación sencillo, menor costo, compatibilidad con otros dispositivos, software de programación amigable, amplia gama de accesorios, rápido acceso y fácil comunicación con la PC y otros dispositivos electrónicos, lo cual se puede ver claramente reflejado en el mejor funcionamiento del equipo al trabajar en modo Arduino.

- La estación de Manipulación y Almacenamiento fue diseñada y creada sin fines de lucro, por lo tanto, no tiene la finalidad de producir una ganancia o utilidad cuantificable, pero sí tendrá una ganancia subjetiva que se verá reflejada en el aprendizaje de cada estudiante que haga uso de ella. Por tal motivo, al ser el proyecto financiado por fuente propia en su totalidad, el capital toma el mismo valor del costo total del proyecto, lo cual da como resultado un Valor actual Neto VAN igual 0, índice de relación beneficio-costos igual a 1 y por ende una Tasa interna de retorno TIR del 0%, que se traduce en la viabilidad positiva del proyecto, sin generación de ganancias pero tampoco generación de pérdidas, es decir, se mantiene en su punto de equilibrio.

- Cualquier característica de calidad que pueda ser clasificada de forma binaria: “cumple o no cumple”, “pasa o no pasa”, es considerada como un atributo y para su control se utilizan Cartas de Control por Atributos, técnica con la cual se analizó la confiabilidad del equipo. Se eligió este tipo de análisis debido a su categorización binaria, pues el funcionamiento del equipo es correcto o incorrecto, sin contemplar categorizaciones intermedias.

El análisis está realizado dependiendo del tipo de falla y el color de la pieza para de esta forma determinar qué elemento está funcionando incorrectamente.

Se realizaron 15 pruebas en diferentes días con lo que se obtuvo el siguiente resultado: El valor obtenido de  $n * \bar{p}$  toma en cuenta el tamaño de la muestra y la frecuencia de ocurrencias de cada error. Este valor es 193.33 que se encuentra dentro de los límites de control, lo que representa que el equipo se encuentra estadísticamente controlado.



- El análisis realizado para cada color mediante las cartas de control por atributos, determina que el error que ocurre con mayor frecuencia es la no detección de las piezas ubicadas previamente en los estantes. Este error se produce debido al alcance y posición del sensor de presencia. Justamente la posición de este sensor es uno de los limitantes del diseño de las pinzas del gripper, como el diseño y simulación fueron realizados por software, no es posible garantizar que en el modelo físico se haya logrado con el ángulo de inclinación real que se requiere para este sensor, por lo tanto, la frecuencia con la que se suscita este error es del 10%, que se traduce en una *confiabilidad del equipo correspondiente al 90%*.
- El correcto funcionamiento del sensor de color es parte primordial dentro del módulo didáctico, pues éste es el factor discriminante del equipo. Para la selección de los colores de las piezas se tomó como base los colores primarios RGB (rojo, verde y azul), que son los colores con respuestas de frecuencia mayormente diferentes, y que tienen máxima sensibilidad a los colores que forman la terna RGB.
- En la obtención de los colores adecuados para las piezas, a más de hacer válida la gama de colores RGB, se realizaron tomas de datos de cada color y pieza en diferentes ambientes, obteniéndose así las curvas de medición y rangos reales correspondientes a cada color, que efectivamente presentaron la mayor diferenciación de frecuencia que se empleó como condición principal en el algoritmo de control.

- Tras analizar las posibles soluciones para realizar el paro del eje lineal neumático en una posición media y soportando carga, se determinó que la solución más acertada y sobre todo la que más se adapta a las condiciones de funcionamiento y recursos ya establecidos, corresponde a la implementación de un paro mecánico auxiliar, el cual efectivamente brindó resultados exitosos. Otra posible solución es la implementación de una unidad de bloqueo, pero que debido a su excesivo costo y la no disponibilidad inmediata en el mercado, se descartó dicha opción.

## 5.2. Recomendaciones

- Utilizar un compresor de tipo recíprocante con el cual se logra reducir los niveles de ruido dentro del aula y sobre todo brinda la ventaja de poder contar con un caudal de funcionamiento constante y superior al que entregaría un compresor de un solo pistón. Tener en cuenta que el reservorio debe ser lo suficientemente grande (mayor a 24L) para evitar períodos cortos de carga y descarga.
- La luz presente en el entorno en el que se desenvuelve el equipo es uno de los factores que afecta mayormente a la diferenciación de colores, pues ésta altera la cantidad de luz reflejada por cada pieza y por ende altera los valores de frecuencia, motivo por el cual siempre se debe realizar la calibración del sensor de color antes de cada práctica acorde a las instrucciones proporcionadas en el Manual de Usuario.
- Debido a que las piezas están expuestas a posibles choques o caídas que ocasionan rasgaduras en la pintura es de vital importancia darles mantenimiento cada cierto tiempo de acuerdo al uso y deterioro de las mismas, siempre y cuando este mantenimiento no altere el color original, caso contrario se deberá realizar una nueva toma de datos para determinar su comportamiento.

- Uno de las condiciones de funcionamiento críticas del equipo es lograr un control de la parada con absoluta precisión del eje lineal neumático a la altura del nivel medio de almacenamiento, para lo cual, si se dispone de los recursos económicos suficientes se debería utilizar como solución a este inconveniente la implementación de un eje lineal activado electrónicamente mediante el control independiente de un servomotor.
- Para la planificación de desarrollo del proyecto prever un tiempo destinado para imprevistos especialmente si se va a contar con elementos importados, debido a la complejidad y tiempo que demanda la desaduanización de los productos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson, W., David, R., & Thomas, L. (2009). *Estadística para Administración y Economía*. México: Cengage Learning Editors.
2. *Arduino*. (s.f.). Recuperado el 22 de Abril del 2013, de <http://www.arduino.com.es>
3. ASME. (s.f.). *Código de ética*.
4. *Ball and Roller Bearing Catalog NTN*. (2010).
5. Balouros, Y., & Demetriadou, V. (2011). *Herramientas de Gestión de la Innovación*. Grecia: University of Thessalia.
6. Bolton, W. (2010). *Mecatrónica - Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica* (4ta ED. ed.). AlfaOmega.
7. Castillo, J. (2010). *Sensores ópticos para aplicaciones industriales*. Perú: Alltronics.
8. *Catálogo AirTac Pneumatic Equipment*. (2012).
9. *Catálogo de Elementos Neumáticos Festo*. (2010).
10. *Catálogo de Motores Eléctricos Bosch*. (2012).
11. *Catálogo de Protecciones Industriales dF*. (2011).
12. *Catálogo Electrocables*. (2013).
13. *Catálogo Maxon Motors*. (2010).
14. *Catálogo Sharp*. (2011).
15. *Catálogo Siemens*. (2013).
16. Cengel, Y. (2012). *Termodinámica*. España: McGraw-Hill.

17. *Cómo Trabaja un Robot*. (2011). Instituto Técnico Industrial José Caldas: Robótica.
18. Creus, S. (2011). *Neumática e Hidráulica*. España: Marcombo.
19. Dari. (2012). *Catálogo Air Compressors*.
20. *Final de Carrera*. (s.f.). Recuperado el 12 de Octubre del 2013, de <http://www.electronicworld.net>
21. *Fuente de Alimentación*. (s.f.). Obtenido de <http://www.planetaelectronico.com>
22. GeneralElectric. (2011). *Catálogo Componentes Eléctricos para Paneles Industriales*.
23. Greene, W. (2010). *Compresores Selección Uso y Mantenimiento* (3ra ED. ed.). España: McGraw-Hill.
24. Izar, J., & Gonzales, J. (2010). *Las siete herramientas básicas de la calidad* (8va ED. ed.). México: Universidad Potosina.
25. Kozak, M. (2010). *Destination Benchmarking* (7ma ED. ed.). USA: Cambridge.
26. *Manual LOGO! SIEMENS*. (2012).
27. Manzur, G. (2009). *Automatización*. México.
28. Meyers F., & Stephen, P. (2010). *Diseño de Instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pretince Hall.
29. Monkman, G. J., Hesse, S., Steinmann, R., & Schunk, H. (2007). *Robot Grippers*. Hanser, Alemania: Wiley-Vch.
30. *Motor DC*. (s.f.). Recuperado el 02 de Abril del 2013, de <http://www.tuveras.com/maquinascc/motor/motor.htm>

31. Mott, R. (2010). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta ED. ed.). México: McGraw-Hill.
32. *Norma IEC 6061/UNE EC 60617*. (s.f.).
33. *Norma INEN CPE-003*. (s.f.).
34. *Norma UNE-101 149 86/ISO 1219*. (s.f.).
35. Peña, D., Caro, G., & García, A. (2009). *Introducción a los Auómatas Programables*. España: Editorial UOC.
36. Sánchez, G. (2009). *Técnicas Participativas para la Planeación*. México D.F.: Fundación ICA.
37. Sánchez, S., & Servantes, A. (2008). *Avances en robótica y visión por computador*. España: Universidad de Castilla.
38. *Sistema Cerrado*. (s.f.). Recuperado el 30 de Julio del 2013, de <http://www.dinamicadecontrol.com/esquemas/sistemicerrado.shtml>
39. TAOS. (s.f.). *Datasheet Sensor TCS230*.
40. USEAS, C. (2011). *Actuadores Neumáticos*. Fundación San Valero.

## ANEXOS

1. Guías para la realización de prácticas
2. Manual de usuario
3. Planos eléctricos del equipo
4. Planos mecánicos del equipo
5. Catálogos y Datasheets