



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

AUTORES:

SOLARTE PARDO, BOLÍVAR ENRIQUE

RAMÍREZ NAVARRETE, CARLOS LEONARDO

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO FLEXIBLE DE
MANUFACTURA NEUMÁTICO CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN,
SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO Y
MEDICIÓN, CONTROLADO TANTO POR EL SOFTWARE AUTOMATION
STUDIO DE FAMIC TECHNOLOGIES MEDIANTE PROTOCOLO OPC,
MICROCONTROLADORES Y PLC PARA LA EMPRESA COMPUENGINE
CÍA. LTDA.**

DIRECTOR: ING. ALEJANDRO CHACÓN

CODIRECTOR: ING. JAIME ECHEVERRÍA

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2014

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO FLEXIBLE DE MANUFACTURA NEUMÁTICO CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO Y MEDICIÓN, CONTROLADO TANTO POR EL SOFTWARE AUTOMATION STUDIO DE FAMIC TECHNOLOGIES MEDIANTE PROTOCOLO OPC, MICROCONTROLADORES Y PLC PARA LA EMPRESA COMPUENGINE CÍA. LTDA.” fue realizado en totalidad por Bolívar Enrique Solarte Pardo y Carlos Leonardo Ramírez Navarrete, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ing. Alejandro Chacón

DIRECTOR

Ing. Jaime Echeverría

CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO FLEXIBLE DE MANUFACTURA NEUMÁTICO CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO Y MEDICIÓN, CONTROLADO TANTO POR EL SOFTWARE AUTOMATION STUDIO DE FAMIC TECHNOLOGIES MEDIANTE PROTOCOLO OPC, MICROCONTROLADORES Y PLC PARA LA EMPRESA COMPUENGINE CÍA. LTDA.”

ELABORADO POR:

Bolívar Enrique Solarte Pardo

Carlos Leonardo Ramírez Navarrete

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Ing. Francisco Terneus

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

CARRERA DE INGENIRÍA MECATRÓNICA**AUTORIZACIÓN**

Nosotros: Bolívar Enrique Solarte Pardo y Carlos Leonardo Ramírez Navarrete

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO FLEXIBLE DE MANUFACTURA NEUMÁTICO CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO Y MEDICIÓN, CONTROLADO TANTO POR EL SOFTWARE AUTOMATION STUDIO DE FAMIC TECHNOLOGIES MEDIANTE PROTOCOLO OPC, MICROCONTROLADORES Y PLC PARA LA EMPRESA COMPUENGINE CÍA. LTDA.**” Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Bolívar Enrique Solarte Pardo

Carlos Leonardo Ramírez Navarrete

Sangolquí, 22 de Agosto 2014

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia.

A mi madre por ser ejemplo de lucha y constancia, por el candor de amor en mi vida.

A mi hermana, por ser la base de cuanto soy, por sus cuidados y consejos, por ser mi amiga siempre. A mi padre por el recuerdo immaculado de un buen hombre lleno de consejo y sabiduría, porque su presencia en mi me ha guiado, y guiará mi vida entera.

A Julio Ponce por ser un buen esposo para mi mamá y ser el jefe de hogar que ha base de cariño se ganó el corazón y respeto de todos nosotros.

BOLÍVAR ENRIQUE SOLARTE PARDO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Milton Ramírez y Ligia Navarrete que con sus enseñanzas y amor infinito supieron guiarme por un camino de verdad y honestidad, al brindarme esa mano amiga y solidaria en aquellos momentos difíciles.

A mi esposa Andreita y mi hermoso hijo Josue que con su dulzura, su sinceridad, su comprensión y su infinito amor hicieron de mi vida una bendición, y siempre serán ese motor que me impulsa a seguir adelante a pesar de los sin sabores de la vida.

A mis hermanos David y Fernanda que siempre estuvieron junto a mí brindándome su apoyo incondicional y sobre todo esa alegría de vivir con pasión cada instante a pesar de cuan dura sea la vida.

A mis amigos: Miguel, Iván, Romi, Andreita, Andresito, Lizbeth, Elizabeth, Cris y Katy, que a pesar de lo difícil que era la situación, “fin de semestre”, siempre había una sonrisa y unas palabras de aliento para culminar con éxito todas nuestras tareas.

A dos amigos muy especiales Valeria Ruíz y Lenin Cortez que con sus acciones, oraciones y palabras de aliento siempre estuvieron apoyándome, brindándome su amistad y cariño.

CARLOS LEONARDO RAMÍREZ NAVARRETE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser la mano misteriosa que siempre ha guiado mi vida. Porque su fuerza me acompaña y es el motor principal que ha germinado en este objetivo.

BOLÍVAR ENRIQUE SOLARTE PARDO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a papito Dios por darme la oportunidad de serle fiel, de ser ese instrumento de amor y por sobre todo, por su amor infinito, por aquel amor que construye y edifica, por aquel amor que perdona con misericordia y por aquel amor que salva.

Agradezco a mis papitos por ser ese hombro donde puede reposar en aquellos momentos difíciles donde la duda y tristeza gobernaban mis pensamientos.

Agradezco con infinito amor a mi amada esposa que a pesar de las diferencia siempre fue fiel a su amor y a la verdad que brotaba de su corazón.

Agradezco a mis hermanos David y Fernanda por su infinito amor y apoyo incondicional.

Agradezco a todos mis amigos por todo su apoyo y por todos los bellos momentos que pasamos juntos.

Agradezco a mi compañero de tesis Enrique Solarte por todos sus buenos consejos y por tan buenas charlas sobre la verdadera riqueza de la vida.

CARLOS LEONARDO RAMÍREZ NAVARRETE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|--------|
| CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO | i |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | ii |
| AUTORIZACIÓN | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiv |
| ÍNDICE DE TABLAS | xx |
| INDICE DE CUADROS..... | xxiv |
| RESUMEN..... | xxvii |
| ABSTRACT | xxviii |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 3 |
| 1.3 Alcance del proyecto..... | 3 |
| 1.4 Objetivos | 4 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.5 Metodología..... | 5 |
| CAPÍTULO 2 | 7 |

| | |
|--|----|
| DISEÑO MECÁNICO, ELECTRÓNICO E INTERFAZ DE CONTROL..... | 7 |
| 2.1 Fundamento teórico del sistema modular SFMDengine 1.07 | 7 |
| 2.1.1 Sistema Flexible de Manufactura..... | 7 |
| 2.1.2 Sistemas de transporte. | 9 |
| 2.1.3 Actuadores lineales, rotativos y dispositivos electrónicos | 11 |
| 2.1.4 Diseño asistido por computadora (CAD) | 13 |
| 2.1.5 SolidWorks Motion y SolidWorks Simulations | 15 |
| 2.2 Aplicación de la metodología de diseño | 18 |
| 2.2.1 Diseño conceptual | 22 |
| 2.2.2 Diseño preliminar..... | 25 |
| CAPITULO 3 | 37 |
| DISEÑO DEL SFMDengine 1.07 | 37 |
| 3.1 Características de Diseño | 37 |
| 3.2 Diseño mecánico..... | 41 |
| 3.2.1 Planteamiento de diseño Mecánico..... | 41 |
| 3.2.2 Diseño mecánico de la celda flexible de transporte..... | 43 |
| 3.2.2.1 Parámetros de Diseño | 43 |
| 3.2.2.2 Modelos de Solución | 44 |
| 3.2.2.3 Dimensionamiento Mecánico | 46 |
| 3.2.2.3.1 Análisis de componente crítico. | 46 |
| 3.2.2.3.2 Dimensionamiento de Rodamientos..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2.3.3 Dimensionamiento de Torque Requerido..... | 50 |
| 3.2.2.4 Resumen de diseño..... | 52 |
| 3.2.3 Diseño mecánico de la celda de ensamble de ejes..... | 53 |
| 3.2.3.1 Parámetros de Diseño..... | 53 |
| 3.2.3.2 Modelos de solución..... | 54 |
| 3.2.3.3 Dimensionamiento mecánico de la celda de ensamble de ejes..... | 57 |
| 3.2.3.3.1 Dimensionamiento de actuadores | 57 |
| 3.2.3.3.2 Dimensionamiento de Rodamientos..... | 61 |
| 3.2.3.3.3 Dimensionamiento de motor..... | 63 |
| 3.2.3.3.4 Análisis de componente critico | 64 |
| 3.2.3.4 Resumen de diseño..... | 66 |
| 3.2.4 Diseño mecánico de la celda de ensamble de tapas..... | 68 |
| 3.2.4.1 Parámetros de diseño..... | 68 |
| 3.2.4.2 Modelo solución..... | 69 |
| 3.2.4.3 Dimensionamiento mecánico de la celda de ensamble de tapas..... | 72 |
| 3.2.4.3.1 Dimensionamiento de actuadores neumáticos | 72 |
| 3.2.4.3.2 Dimensionamiento del sistema de vacío. | 76 |
| 3.2.4.3.3 Análisis de componente critico | 79 |
| 3.2.4.4 Resumen de diseño..... | 81 |
| 3.2.5 Diseño mecánico de la celda de ensamble de discos | 84 |
| 3.2.5.1 Parámetros de Diseño..... | 84 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.5.2 Modelo Solución | 85 |
| 3.2.5.3 Dimensionamiento mecánico de la celda de ensamble de discos | 89 |
| 3.2.5.3.1 Dimensionamiento de mecanismo tornillo sin fin | 89 |
| 3.2.5.3.2 Dimensionamiento de pinza mecánica. | 94 |
| 3.2.5.3.3 Dimensionamiento de Cilindro Neumático. | 99 |
| 3.2.5.3.4 Análisis de piezas críticas. | 102 |
| 3.2.5.4 Resumen de diseño..... | 104 |
| 3.3 Dimensionamiento del compresor | 105 |
| 3.4 Diseño Electrónico..... | 108 |
| 3.4.1 Funcionamiento de celda de transporte..... | 109 |
| 3.4.1.1 Funciones de la celda de transporte | 110 |
| 3.4.1.2 Variables de la celda de transporte..... | 111 |
| 3.4.2 Funcionamiento de la celda de ensamble de ejes..... | 111 |
| 3.4.2.1 Funciones de la celda de ensamble de ejes..... | 112 |
| 3.4.2.2 Variables de la celda de ejes | 115 |
| 3.4.3 Funcionamiento de la celda de ensamble de tapas..... | 116 |
| 3.4.3.1 Funciones de la celda de ensamble de tapas..... | 117 |
| 3.4.3.2 Variables de la celda ensamble de tapas..... | 120 |
| 3.4.4 Funcionamiento de celda de ensamble de discos..... | 120 |
| 3.4.4.1 Funciones de la celda de ensamble de discos | 122 |
| 3.4.4.2 Variables de la celda de ensamble de discos | 125 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.5 Solución de Control..... | 125 |
| 3.4.6 Modelos de control..... | 128 |
| 3.4.7 Instrumentación del SFMDengine 1.07 | 129 |
| 3.4.7.1 Sensores Magnéticos | 129 |
| 3.4.7.2 Sensores Inductivos..... | 130 |
| 3.4.7.3 Sensores Fotoeléctricos | 130 |
| 3.4.7.4 Interruptores de accionamiento mecánico | 130 |
| 3.4.7.5 Montaje de sensores del sistema SFMDengine 1.07..... | 132 |
| 3.4.8 Diseño de tarjetas electrónicas..... | 136 |
| 3.4.8.1 Diseño de tarjeta modular..... | 136 |
| 3.4.8.2 Diseño de tarjeta de driver..... | 137 |
| CAPITULO 4 | 140 |
| CONSTRUCCION DEL MODULO SFMDengine 1.07..... | 140 |
| 4.1 Construcción Celda de transporte | 141 |
| 4.1.1 Construcción de celda de transporte – Etapa I..... | 141 |
| 4.2 Construcción Celda de ensamble de ejes | 143 |
| 4.2.1 Construcción de celda de ensamble de ejes – Etapa I..... | 143 |
| 4.2.2 Construcción de celda de ensamble de ejes – Etapa II..... | 145 |
| 4.2.3 Construcción de celda de ensamble de ejes – Etapa III | 146 |
| 4.3 Construcción Celda de ensamble de discos..... | 148 |
| 4.3.1 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa I | 148 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa II | 150 |
| 4.3.3 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa III..... | 152 |
| 4.3.4 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa IV | 153 |
| 4.4 Construcción Celda de ensamble de tapas | 155 |
| 4.4.1 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa I..... | 155 |
| 4.4.2 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa II..... | 157 |
| 4.4.3 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa III | 158 |
| 4.4.4 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa IV | 160 |
| 4.5 Pruebas de testeo del módulo. | 161 |
| 4.5.1. Pruebas de ensamble de ejes..... | 162 |
| 4.5.2. Pruebas de ensamble de Discos con ejes..... | 162 |
| 4.5.3. Pruebas de ensamble de Discos sin ejes..... | 163 |
| 4.5.4. Pruebas de ensamble de tapas..... | 164 |
| 4.5.5. Análisis de resultados..... | 164 |
| CAPITULO 5 | 167 |
| ANÁLISIS FINANCIERO DEL SFMDENGINE 1.07..... | 167 |
| CAPITULO 6 | 169 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 169 |
| 6.1 Conclusiones..... | 169 |
| 6.2 Recomendaciones | 171 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 173 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Festo Didactic | 2 |
| Figura 2. Módulos HRE Hidraulic – Mecatrónicos..... | 2 |
| Figura 3. Mesa giratoria | 10 |
| Figura 4. Vehículos de transporte..... | 10 |
| Figura 5. Elevadores | 11 |
| Figura 6. Bandas Transportadoras | 11 |
| Figura 8. Requisitos de alimentación del motor y velocidad lineal calculados por el simulador | 15 |
| Figura 9. Simulación de un mecanismo deslizante invertido para calcular la velocidad angular del brazo oscilante..... | 16 |
| Figura 10 Malla de simulación de FEA | 17 |
| Figura 11. Modelo de aplicación de diseño | 18 |
| Figura 12 Proceso de ensamble del Sistema SFMDengine 1.07 | 21 |
| Figura 13. Resultados de la matriz QFD..... | 29 |
| Figura 14. Coeficiente Técnico vs Coeficiente Económico de Modelos de solución | 36 |
| Figura 15. Definición de características de diseño | 37 |
| Figura 16. Planteamiento de modelos de solución a la celda de transporte..... | 44 |
| Figura 17. Mesa de Transporte..... | 45 |
| Figura 18. Detalle geométrico de la celda de Transporte | 46 |
| Figura 19. Análisis FEA – Deformación por carga sobre Mesa giratoria | 47 |
| Figura 20. Análisis FEA - Gráfica de esfuerzos según Von Mises | 47 |
| Figura 21. Celda de Transporte - Simulación Dinámica y Fuerza sobre Rodamientos..... | 48 |
| Figura 23. Disposición DF de rodamientos tabla 4.5 de catálogo NTN..... | 50 |
| Figura 24. Grafica Desplazamiento y velocidad angular del Sistema de transporte... .. | 50 |
| Figura 25. Celda de Transporte - Torque Requerido por el actuador Rotativo..... | 51 |
| Figura 26. Motor a pasos SY57STH56-1006..... | 51 |
| Figura 27. Torque generado por el motor SY57STH56-1006 | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 29. Diagrama de componentes de la celda de ensamble de ejes | 56 |
| Figura 30. Actuadores de la celda de ensamble de ejes..... | 57 |
| Figura 31. Curvas de desplazamiento y velocidad lineal para el cilindro SE-V-CL-65016D..... | 58 |
| Figura 32. Curvas de desplazamiento y velocidad lineal para el cilindro SE-X-CL-68016D..... | 58 |
| Figura 33. Curva de fuerza para el cilindro SE-X-CL-6501618D | 58 |
| Figura 34. Curva de fuerza para el cilindro SE-V-CL-6801618 | 59 |
| Figura 35. Celda de ensamble de ejes - Simulación Dinámica y Fuerza sobre Rodamientos..... | 62 |
| Figura 36. Rodamientos de contacto angular celda de ensamble de ejes | 61 |
| Figura 37. Simulación de movimiento en SolidWorks Motion..... | 63 |
| Figura 38. Curva de desplazamiento y velocidad angular de la Celda de ensamble de ejes..... | 63 |
| Figura 39. Curva de Torque Requerido al vencer y detener efecto de inercia..... | 64 |
| Figura 40. Componentes para análisis de elementos finitos en la celda de ensamble de ejes | 64 |
| Figura 41. Análisis de deformaciones sobre componentes críticos de la celda de ensamble de ejes | 65 |
| Figura 42. Análisis de deformaciones en el componente SE-V-P- PLACA_SOPORTE_PERFIL..... | 65 |
| Figura 43. Análisis de esfuerzos en el componente SE-V-P- PLACA_SOPORTE_PERFIL..... | 66 |
| Figura 44. Modelo solución - Celda de ensamble de tapas..... | 69 |
| Figura 45. Actuadores neumáticos para posicionamiento y transporte (b) Ventosa para sujeción (c) Torre de gravedad para almacenamiento de tapas | 70 |
| Figura 46. Componentes de la celda de ensamble de tapas | 71 |
| Figura 47. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-X-CL-68016D | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 48. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-H-CL-616016D..... | 73 |
| Figura 49. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-V-CL-65016D..... | 73 |
| Figura 50. Simulación en SolidWorks Motion del cilindro ST-X-CL-68016D..... | 74 |
| Figura 51. Curva de fuerza para el cilindro ST-X-CL-68016D | 74 |
| Figura 52. Simulación en SolidWorks Motion del cilindro ST-H-CL-616016D..... | 74 |
| Figura 53. Curva de fuerza para el cilindro ST-H-CL-616016D | 74 |
| Figura 54. Simulación en SolidWorks Motion del cilindro ST-V-CL-65016D..... | 75 |
| Figura 55. Curva de fuerza para el cilindro ST-V-CL-65016D | 75 |
| Figura 56. Diagrama del sistema de vacío | 76 |
| Figura 57. Eyector neumático (Introducción a la generación de vacío) | 77 |
| Figura 58. Modo de operación de una ventosa..... | 77 |
| Figura 59. Celda de ensamble de tapas - componente crítico – Cilindro en voladizo con carrera de 80 mm | 79 |
| Figura 60. Celda de ensamble de tapas - componente crítico – Cilindro en voladizo con carrera de 160 mm | 79 |
| Figura 61. Celda de ensamble de tapas - Deformaciones - Cilindro en voladizo con carrera de 80 mm | 80 |
| Figura 62. Sistema de ensamble de tapas – Deformaciones –Cilindro de carrera de 160 mm..... | 80 |
| Figura 63. Celda de ensamble de tapas – Esfuerzos..... | 81 |
| Figura 64. Modelo solución para la celda de ensamble de discos..... | 85 |
| Figura 65. Torres de gravedad y pinza mecánica para la celda de ensamble de discos..... | 86 |
| Figura 66. Mecanismo de tornillo sin fin - Cilindro neumático de posicionamiento vertical | 87 |
| Figura 67. Componentes de la celda de ensamble de discos (a) | 87 |
| Figura 68. Componentes de la celda de ensamble de discos (b) | 88 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69. Celda de ensamble de discos - Componentes del mecanismo de posicionamiento horizontal | 89 |
| Figura 70. Perfil de base de rosca en pulgadas ISO- UNC-UNF-8UN | 90 |
| Figura 71. Celda de ensamble de Discos - función de posicionamiento Horizontal y vertical | 92 |
| Figura 72. Simulación Dinámica de empuje sobre el esparrago a velocidad de 500rpm | 92 |
| Figura 73. Simulación Dinámica - Torque requerido por el sistema..... | 93 |
| Figura 74. Componentes de la pinza mecánica | 94 |
| Figura 75. Detalle geométrico apertura de pinza..... | 95 |
| Figura 76. Espacio geométrico de operación | 96 |
| Figura 77. Diagrama de cuerpo libre del sistema de sujeción (Pinza)..... | 97 |
| Figura 78. Curva de posicionamiento de Servomotor y curva de fuerza de sujeción | 98 |
| Figura 79. Torque requerido por el actuador eléctrico | 98 |
| Figura 80. Cilindro de posicionamiento y ensamble vertical..... | 99 |
| Figura 81. Curva de desplazamiento del cilindro..... | 100 |
| Figura 82. Fuerza de tracción sobre el vástago del cilindro..... | 100 |
| Figura 83. Pieza crítica de la celda de ensamble de discos..... | 102 |
| Figura 84. Análisis de elementos finitos en la estructura de almacenamiento de discos..... | 102 |
| Figura 85. Celda de ensamble de discos – Análisis de esfuerzos de pieza crítica ... | 103 |
| Figura 86. Celda de ensamble de discos – Análisis de esfuerzos de pieza crítica .. | 106 |
| Figura 87. Compresor de 25 lt..... | 107 |
| Figura 88. Acople de sensores - Celda de ensamble de ejes | 132 |
| Figura 89. Acople de sensores - Celda de ensamble de tapas | 133 |
| Figura 90. Acople de sensores - Celda de Transporte | 134 |
| Figura 91. Acople de sensores - Celda de ensamble de discos | 135 |
| Figura 92. Tarjeta modular - diseño PCB | 137 |
| Figura 93. Tarjeta de drivers - diseño PCB..... | 139 |

| | |
|---|-----|
| Figura 94. Etapa I - Celda de Transporte | 141 |
| Figura 95. Celda de transporte (Etapa 1) | 142 |
| Figura 96. Montaje de la celda de transporte | 142 |
| Figura 97. Celda de ensamble de ejes (Etapa 1)..... | 143 |
| Figura 98. Celda de ensamble de ejes (Etapa 1 y 2)..... | 144 |
| Figura 99. Montaje de la celda de ensamble de ejes (Etapa 1 y 2)..... | 144 |
| Figura 100. Celda de ensamble de ejes (Etapa 2)..... | 145 |
| Figura 101. Montaje de la celda de ensamble de ejes (Etapa 2) | 146 |
| Figura 102. Celda de ensamble de ejes (Etapa 3)..... | 146 |
| Figura 103. Celda de ensamble de ejes (Etapa 3)..... | 147 |
| Figura 104. Montaje de la celda de ensamble de ejes (Etapa 3) | 147 |
| Figura 105. Celda de ensamble de ejes (Completa) | 148 |
| Figura 106. Celda de ensamble de discos (Etapa 1) | 148 |
| Figura 107. Montaje de la celda de ensamble de discos (Etapa 1)..... | 149 |
| Figura 108. Celda de ensamble de discos (Etapa 2) | 150 |
| Figura 109. Montaje de la celda de ensamble de discos (Etapa 2)..... | 151 |
| Figura 110. Celda de ensamble de discos (Etapa 3) | 152 |
| Figura 111. Montaje de la celda de ensamble de discos (Etapa 3)..... | 153 |
| Figura 112. Celda de ensamble de discos (Etapa 4) | 153 |
| Figura 113. Montaje de la celda de ensamble discos (Etapa 4) | 154 |
| Figura 114. Celda de ensamble de tapas (Etapa 1)..... | 155 |
| Figura 115. Montaje de la celda de ensamble de tapas (Etapa 1)..... | 156 |
| Figura 116. Celda de ensamble de tapas (Etapa 2)..... | 157 |
| Figura 117. Montaje de la celda de ensamble de tapas (Etapa 2)..... | 158 |
| Figura 118. Celda de ensamble de tapas (Etapa 3)..... | 158 |
| Figura 119. Montaje de la celda de ensamble de tapas (Etapa 3)..... | 159 |
| Figura 120. Celda de ensamble de tapas (Etapa 4)..... | 160 |
| Figura 121. Montaje de la celda de transporte (Etapa 4) | 161 |
| Figura 122. Porcentajes de costos de materiales empleados..... | 168 |

Figura 123. Costos VS. Ingresos168

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Requerimiento de clientes | 25 |
| Tabla 2. Características técnicas del diseño y sus unidades de medida..... | 27 |
| Tabla 3. Parámetros aceptables de Características Técnicas..... | 27 |
| Tabla 4. Simbología de Relación entre los requerimientos del Cliente y las características técnicas | 27 |
| Tabla 5. Grado de Correlación entre características técnicas..... | 28 |
| Tabla 6. Resultados de la matriz QFD | 28 |
| Tabla 7. Puntos de evaluación de los criterios de selección | 32 |
| Tabla 8. Ponderación Económica de Posibilidades de Solución..... | 32 |
| Tabla 9. Ponderación Técnica de Posibilidades de Solución..... | 33 |
| Tabla 10 Factor de Importancia Técnica de puntos de evaluación..... | 34 |
| Tabla 11 Planteamiento de modelos de solución | 35 |
| Tabla 12. Matriz Morfológica de evaluación Económica..... | 35 |
| Tabla 13. Matriz Morfológica de evaluación Técnica..... | 35 |
| Tabla 14. Matriz Morfológica de Resultados..... | 36 |
| Tabla 15. Matriz morfológica aplicada a la celda de transporte..... | 44 |
| Tabla 16. Detalle de componentes de la celda de Transporte | 45 |
| Tabla 17. Características Generales - Celda de Transporte | 52 |
| Tabla 18. Características de motor - Celda de transporte | 52 |
| Tabla 19. Características de rodamiento - Celda de Transporte..... | 53 |
| Tabla 20. Matriz morfológica para manipulación de la celda de ensamble de ejes ... | 55 |
| Tabla 21. Detalle de componentes de la celda de ensamble de ejes..... | 56 |
| Tabla 22. Dimensionamiento de cilindros de 8mm para la celda de ensamble de ejes | 60 |
| Tabla 23. Dimensionamiento de cilindro de 16mm para la celda de ensamble de ejes | 61 |
| Tabla 24. Características generales - Celda de ensamble de ejes..... | 66 |
| Tabla 25. Características de cilindro SE-PEH-CL-65016D..... | 67 |
| Tabla 26. Características de cilindro SE-PEV-CL-68016D..... | 67 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 27. Características de motor SE-M-M-SY57STH56_1006..... | 67 |
| Tabla 28. Detalle de componentes - Celda de ensamble de tapas | 72 |
| Tabla 29. Características de cilindros neumáticos de la celda de ensamble de tapas | 76 |
| Tabla 30. Características Generales - Celda de ensamble tapas..... | 81 |
| Tabla 31. Características de cilindro ST-PEV-CL-65016D..... | 82 |
| Tabla 32. Características de cilindro ST-PEH-CL-68016D..... | 82 |
| Tabla 33. Características de cilindro ST-PEH-CL-616016D..... | 83 |
| Tabla 34. Características de cilindro ST-PEH-CL-616016D..... | 83 |
| Tabla 35. Detalle de componentes de la celda de ensamble de discos | 88 |
| Tabla 36. Celda de ensamble de discos - Detalle de componentes del mecanismo de posicionamiento horizontal..... | 90 |
| Tabla 37. Límites de las dimensiones de la rosca en pulgadas | 91 |
| Tabla 38. Detalle de componentes de la pinza mecánica..... | 95 |
| Tabla 39. Detalle de componentes del cilindro de posicionamiento y ensamble vertical..... | 99 |
| Tabla 40. Características generales - Celda de ensamble de discos | 104 |
| Tabla 41. Características de motor SD-PEH-M-SY57STH56_1006 | 104 |
| Tabla 42. Características de motor SD-M-M-HS755HB..... | 105 |
| Tabla 43. Características de motor SD-M-M-HS755HB..... | 105 |
| Tabla 44. Consumo de aire de cilindros neumáticos | 106 |
| Tabla 45. Variables físicas de la celda de transporte..... | 111 |
| Tabla 46. Variables físicas de la celda de ensamble de ejes | 115 |
| Tabla 47. Variables físicas de la celda de ensamble de tapas | 120 |
| Tabla 48. Variables físicas de la celda de ensamble de discos | 125 |
| Tabla 49. Resumen de variables físicas del SFMDengine 1.07 | 127 |
| Tabla 50. Variables físicas asociadas a un sensor magnético (REED)..... | 129 |
| Tabla 51. Variables físicas asociadas a un sensor inductivo..... | 130 |
| Tabla 52. Variables físicas asociadas a un sensor fotoeléctrico..... | 130 |
| Tabla 53. Variables físicas asociadas a un interruptor de accionamiento mecánico | 130 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 54. Resumen de sensores del SFMDengine 1.07..... | 131 |
| Tabla 55. Detalle de acople de sensores - Celda de ensamble de ejes..... | 132 |
| Tabla 56. Detalle de acople de sensores – Celda de ensamble de tapas | 133 |
| Tabla 57. Detalle de sensores - Celda de Transporte..... | 134 |
| Tabla 58. Detalle de acople de sensores - Celda de ensamble de discos | 135 |
| Tabla 59. Entradas y salidas de tarjetas modulares | 136 |
| Tabla 60. Material para manufactura y construcción de la celda de transporte. | 141 |
| Tabla 61. Accesorios de sujeción de la celda de transporte..... | 142 |
| Tabla 62. Material para manufactura y construcción de la etapa I de la celda de ensamble de ejes. | 143 |
| Tabla 63. Accesorios de sujeción de la etapa I de la celda de ensamble de ejes..... | 143 |
| Tabla 64. Material para manufactura y construcción de la etapa II de la celda de ensamble de ejes. | 145 |
| Tabla 65. Accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de ejes | 145 |
| Tabla 66. Material para manufactura y construcción de la etapa III de la celda de ensamble de ejes. | 147 |
| Tabla 67. Accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de ejes | 147 |
| Tabla 68. Material para manufactura y construcción de la etapa I de la celda de ensamble de discos..... | 149 |
| Tabla 69. Accesorios de sujeción de la etapa I de la celda de ensamble de discos.. | 149 |
| Tabla 70. Material para manufactura y construcción de la etapa II de la celda de ensamble de discos..... | 150 |
| Tabla 71. Tabla de accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de discos | 151 |
| Tabla 72. Material para manufactura y construcción de la etapa III de la celda de ensamble de discos | 152 |
| Tabla 73. Accesorios de sujeción de la etapa III de la celda de ensamble de discos | 152 |
| Tabla 74. Material para manufactura y construcción de la etapa IV de la celda de ensamble de discos | 154 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 75. Accesorios de sujeción de la etapa IV de la celda de ensamble de discos..... | 154 |
| Tabla 76. Material para manufactura y construcción de la etapa I de la celda de ensamble de tapas | 155 |
| Tabla 77. Accesorios de sujeción de la etapa I de la celda de ensamble de tapas.... | 156 |
| Tabla 78. Material para manufactura y construcción de la etapa II de la celda de ensamble de tapas | 157 |
| Tabla 79. Accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de tapas .. | 157 |
| Tabla 80. Material para manufactura y construcción de la etapa III de la celda de ensamble de tapas | 159 |
| Tabla 81. Accesorios de sujeción de la etapa III de la celda de ensamble de tapas | 159 |
| Tabla 82. Material para manufactura y construcción de la etapa IV de la celda de ensamble de tapas | 160 |
| Tabla 83. Accesorios de sujeción de la etapa IV de la celda de ensamble de tapas. | 160 |
| Tabla 84. Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de ejes)..... | 162 |
| Tabla 85. Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de discos - con ejes) | 163 |
| Tabla 86. Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de discos - sin ejes)..... | 163 |
| Tabla 87. Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de tapas)..... | 164 |
| Tabla 88. Resultados del SFMDengine 1.07..... | 164 |
| Tabla 89. Control de atributos (Celda de ensamble de ejes)..... | 165 |
| Tabla 90. Control de atributos (Celda de ensamble de discos) | 166 |
| Tabla 91. Control de atributos (Celda de ensamble de tapas)..... | 166 |
| Tabla 92. Costos totales de materiales empleados | 167 |
| Tabla 93. CIF de producción..... | 168 |
| Tabla 94. Índice B/C del proyecto..... | 168 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Modelo Descriptivo Lineal | 6 |
| Cuadro 2. Tipos de flexibilidad | 7 |
| Cuadro 3. Clasificación de FMS según Groover..... | 8 |
| Cuadro 4. Parámetros de actuadores..... | 12 |
| Cuadro 5. Criterios de selección general para actuadores | 13 |
| Cuadro 6. Propuesta de Ciclo de diseño | 14 |
| Cuadro 7. Metodología de diseño en base al Modelo Descriptivo Lineal (a)..... | 19 |
| Cuadro 8. Metodología de diseño en base al Modelo Descriptivo Lineal (b)..... | 20 |
| Cuadro 9. Definición de las celdas de ensamble | 21 |
| Cuadro 10. Diseño Conceptual - Modulo de ensamble | 22 |
| Cuadro 11. Diseño Conceptual - Sistemas internos de ensamble | 22 |
| Cuadro 12. Diseño Conceptual – Control de ensambles..... | 23 |
| Cuadro 13. Diseño Conceptual - Sistemas internos de ensamble | 23 |
| Cuadro 14. Diseño Conceptual – Control Modular..... | 24 |
| Cuadro 15. Diseño Conceptual – Control Centralizado..... | 24 |
| Cuadro 16. Descripción de la herramienta QFD | 25 |
| Cuadro 17. Diagrama causa efecto a los requerimientos del cliente | 26 |
| Cuadro 18. Matriz QFD | 28 |
| Cuadro 19. Descripción de una Matriz Morfológica..... | 30 |
| Cuadro 20. Especificación de opciones de selección para los sistemas de ensamble..... | 30 |
| Cuadro 21. Características Morfológicas de diseño | 38 |
| Cuadro 22. Características Técnicas de Diseño | 38 |
| Cuadro 23. Lineamientos del Proyecto..... | 39 |
| Cuadro 24. Modelo de diseño Mecánico | 41 |
| Cuadro 25. Parámetros de Diseño - Celda de transporte | 43 |
| Cuadro 26. Parámetros de diseño – Celda de ensamble de ejes..... | 53 |
| Cuadro 27. Parámetros de diseño - Celda de ensamble de tapas..... | 68 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 28. Parámetros de diseño de la celda de ensamble de discos..... | 84 |
| Cuadro 29. Modelo de diseño electrónico | 108 |
| Cuadro 30. Diagrama de funcionamiento de la celda de transporte | 109 |
| Cuadro 31. Función posicionamiento inicial – Celda de Transporte..... | 110 |
| Cuadro 32. Función girar mesa rotativa – Celda de Transporte..... | 110 |
| Cuadro 33. Diagrama de operación de la celda de ensamble de ejes | 111 |
| Cuadro 34. Posicionamiento inicial de celda | 113 |
| Cuadro 35. Función de posicionamiento (Sensor de metal) | 113 |
| Cuadro 36. Función de posicionamiento (Sensor de plástico) | 113 |
| Cuadro 37. Función de posicionamiento (Sensor fotoeléctrico) | 113 |
| Cuadro 38. Función de posicionamiento (Posición de ensamble)..... | 114 |
| Cuadro 39. Función de posicionar guía (Cilindro neumático SE-V-CL-68016D)... | 114 |
| Cuadro 40. Función de expulsión de ejes (Cilindro neumático SE-X-CL-65016D) | 114 |
| Cuadro 41. Función de retraer cilindros..... | 115 |
| Cuadro 42. Diagrama de operación de la celda de ensamble de tapas | 115 |
| Cuadro 43. Función de posicionamiento inicial de la celda (P0)..... | 117 |
| Cuadro 44. Función de sensar tapas de torre de gravedad | 117 |
| Cuadro 45. Función de expulsar tapas | 118 |
| Cuadro 46. Función de expulsar tapas | 118 |
| Cuadro 47. Función situar posición vertical superior | 118 |
| Cuadro 48. Función colocar posición horizontal de ensamble..... | 119 |
| Cuadro 49. Función activar sistema de vacío..... | 119 |
| Cuadro 50. Función desactivar sistema de vacío..... | 119 |
| Cuadro 51. Función retornar a posición P0..... | 119 |
| Cuadro 52. Diagrama de funcionamiento de la celda de ensamble de discos (A) ... | 120 |
| Cuadro 53. Diagrama de funcionamiento de la celda de ensamble de discos (B).... | 121 |
| Cuadro 54. Función posicionamiento inicial – Celda de ensamble de discos | 122 |
| Cuadro 55. . Función posicionamiento horizontal frente a torre de discos metálicos – celda de ensamble de discos | 123 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 56. Función posicionamiento horizontal frente a torre de discos plásticos – celda de ensamble de discos | 123 |
| Cuadro 57. Función cerrar pinza – Celda de ensamble de discos | 123 |
| Cuadro 58. Función posicionar horizontal central – celda de ensamble de discos .. | 124 |
| Cuadro 59. Funciones para el proceso de desecho de discos - celda de ensamble de discos | 124 |
| Cuadro 60. Funciones del proceso de ensamble de discos – celda de ensamble de discos..... | 124 |
| Cuadro 61. Función posicionar vertical superior (Celda de ensamble de discos).... | 125 |
| Cuadro 62. Sistema de control central | 126 |
| Cuadro 63. Modelo de solución de control (A)..... | 129 |
| Cuadro 64. Modelo de solución de control (B)..... | 129 |
| Cuadro 65. Entradas y salidas de tarjeta modular | 136 |
| Cuadro 66. Cuadro de funcionamiento electrónico – tarjeta modular..... | 137 |
| Cuadro 67. Cuadro de funcionamiento electrónico - control de servo motor..... | 138 |
| Cuadro 68. Cuadro de funcionamiento electrónico - control de motor a pasos..... | 138 |
| Cuadro 69. Entradas y salidas de tarjeta de drivers..... | 138 |
| Cuadro 70. Proceso de manufactura y construcción del equipo..... | 140 |

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo el diseño y construcción de un sistema flexible de manufactura (FMS) didáctico para emular procesos automatizados de manipulación, reconocimiento y ensamble de componentes. Para el desarrollo del sistema se planteó una metodología de diseño representada por medio de un modelo descriptivo lineal el cual contempla una serie de pasos que permitirán obtener las directrices o lineamientos de diseño y construcción del sistema, dichos pasos son: planteamiento del problema, diseño conceptual, diseño preliminar, diseño detallado y solución y evaluación. En el planteamiento del problema se determinó que el proceso de ensamble estará constituido por cuatro componentes (base, eje, disco y tapa) que permitirán dividir al sistema en FAC's (Celdas flexibles de manufactura) encargadas de ensamblar cada componente de acuerdo a una secuencia ordenada de ensamble, estas celdas son: celda de ensamble de ejes, celda de ensamble de discos, celda de ensamble de tapas y celda de transporte. El modelo de control del sistema está basado en dos niveles uno encargado de monitorear y controlar las señales del proceso en general denominado control central y uno encargado de ejecutar y monitorear las secuencias de ensamble denominado control modular. El control central está constituido por el software de simulación y monitoreo Automation Studio y el PLC siemens S7-1200 los cuales están comunicados por protocolo OPC, el control modular está constituido por tres tarjetas modulares y dos tarjetas de drivers las primeras programas sobre la plataforma de Arduino y las segundas haciendo de interfaz entre las tarjetas modulares y los actuadores y sensores.

PALABRAS CLAVE: FMS (SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE), FAC (CELDA FLEXIBLE DE ENSAMBLE), METODOLOGÍA DE DISEÑO, CONTROL CENTRAL, CONTROL MODULAR.

ABSTRACT

This paper aims to design and build flexible manufacturing systems (FMS) to emulate automated handling processes, recognition and assembly of components. To develop the system design methodology was raised a linear descriptive model which includes a series of steps that will obtain a guidelines for design and construction of the system. The steps of linear descriptive model are approach, preliminary design, detailed design and solution evaluation. In the approach of the problem it was determined that the assembly process will consist of four components (base, shaft, disc and cover) which divide the system in FAC (flexible assembly cells) responsible for assembling each component according to a ordered sequence of assembly, these cells are: axle assembly cell , disks assembly cell, caps assembly cell and transport cell . The model of control system was done on two levels, the first in charge of monitoring and controlling the general process signals called central control. The second responsible for implementing and monitoring assembly sequences called modular control. The central control is constituted by the simulation software Automation Studio and PLC siemens S7-1200, which are connected by OPC protocol. The modular control consists of three electronic cards and two electronic cards drivers, which was done on the Arduino platform to connect the actuators and sensors.

KEY WORDS: FMS (FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS), FAC (FLEXIBLE ASSEMBLY CELL), DESIGN METHODOLOGY, CENTRAL CONTROL, MODULAR CONTROL.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La utilización de sistemas didácticos en la educación superior busca profundizar conocimientos técnicos y prácticos en los estudiantes con el fin desarrollar en ellos capacidades acordes a su futuro campo ocupacional y perfil profesional.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la carrera de Ingeniería Mecatrónica detalla como parte del campo ocupacional del ingeniero mecatrónico “*la habilidad de diseñar, operar y mantener dispositivos, máquinas, equipos y procesos, dotados de autonomía para adaptarse a varios procesos o entornos de trabajo y garantizar su funcionamiento óptimo*” (ESPE, Página Oficial ESPE, 2013, pág. 1). Por otro lado, el perfil profesional del ingeniero mecatrónico debe ser capaz de “*gestionar sistemas de producción, implementación e innovación de nuevas unidades de producción.*” (ESPE, Página Oficial ESPE, 2013, pág. 1).

En la carrera de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control de la misma universidad el ingeniero electrónico debe estar capacitado para desempeñar labores como: mantenimiento, montaje e instalación, operaciones y diseño, (ESPE, 2013, pág. 1) teniendo como fundamento sus conocimientos técnicos en electricidad, electrónica, instrumentación y dispositivos tecnológicos; también debe ser capaz de manejar documentación técnica y formar su propia documentación bajo normas y estándares nacionales e internacionales.

Otras universidades como la Universidad Politécnica Nacional del Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana, Universidad Internacional de Ecuador, Escuela Politécnica del Litoral, Escuela Politécnica del Chimborazo detallan en el perfil profesional de sus egresados la capacidad de diseñar piezas mecánicas y/o electrónicas, operar y controlar equipos de medición, realizar mantenimiento técnico de equipos, de maquinaria y dispositivos, la capacidad de programar y mantener el funcionamiento óptimo de un ciclo de producción.

Por otro lado en el país existen pocas empresas que representan comercial y técnicamente una solución a la demanda de equipos didácticos para la educación técnica, siendo la mayoría empresas importadoras y distribuidoras de marcas conocidas como Festo Didactic, HRE Hidraulics, SMC, entre otras. Esta forma de trabajar de estas empresas no fomenta el desarrollo de la producción y tecnología nacional.



Figura 1. Festo Didactic
(Festo, 2014)



Figura 2. Módulos HRE Hidraulic – Mecatrónicos
(Hidraulic, 2012)

1.2 Justificación

Al considerar las carreras técnicas que se ofertan en el país el presente proyecto busca la innovación de un sistema modular didáctico multidisciplinario que permita desarrollar habilidades y competencias necesarias para poseer un perfil profesional idóneo.

Dichas competencias se centran en desarrollar conocimientos específicos para los estudiantes en las áreas de: control por micro controlador, control por PLCs, manejo de sistemas neumáticos y electro-neumáticos, programación, mantenimiento y puesta a punto de equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos.

La importancia de este proyecto también está ligado a un tema de desarrollo local y al crecimiento tecnológico del país facilitando la inserción de nuevas tecnologías en el campo educativo. Así como también la información técnica que se puede obtener del desarrollo de tecnología local. Ya sea la información de los equipos para adaptarse a diseños propios o ampliaciones de funciones brindado al cliente la escalabilidad del equipo y el soporte técnico necesario.

1.3 Alcance del proyecto

Este proyecto tiene por alcance la construcción de la primera versión del sistema “SFMDengine 1.07” en base a una metodología de diseño lineal usando herramientas como la matriz de calidad QFD, matrices morfológicas, diagrama causa efecto, entre otras.

Como directriz general de funcionamiento el sistema será controlado y monitoreado por medio de PLCs, microcontroladores y un software de simulación, por políticas de la empresa auspiciante el software de simulación y monitoreo será Automation Studio 5.7 de FAMILIAR TECHNOLOGIES, la marca de PLC para control será SIEMENS y para el control por micro controladores se usará tarjetas Arduino.

Para la comunicación de datos de simulación del software Automation Studio 5.7 hacia el exterior se usará al PLC con un protocolo de comunicación OPC.

El sistema modelará un proceso de ensamble automatizado y tendrá tres subsistemas que estarán distribuidos a lo largo de todo el módulo, estos subsistemas serán:

- Subsistema de alimentación de piezas
- Subsistema de manipulación, transporte y ensamble
- Subsistema de reconocimiento y detección

Este sistema no contempla un subsistema para paletizado ni un subsistema de control de calidad pero será diseñado de forma que permita escalar el sistema con otros sistemas y subsistemas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un sistema didáctico – modular para la automatización de procesos de manipulación, reconocimiento y ensamble mediante el control tanto por el software Automation Studio por protocolo OPC, como por micro controlador y PLCs, para la empresa Compuengine Cía. Ltda.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las necesidades del cliente con la metodología QFD a fin de obtener las características técnicas necesarias para el diseño y construcción del módulo.
- Establecer un sistema estructural base para el módulo SFMDengine 1.07 donde se colocarán los componentes y accesorios mecánicos.
- Diseñar un sistema de tarjetas electrónicas que faciliten la interacción entre el módulo y el usuario para obtener un control eficaz y flexible.

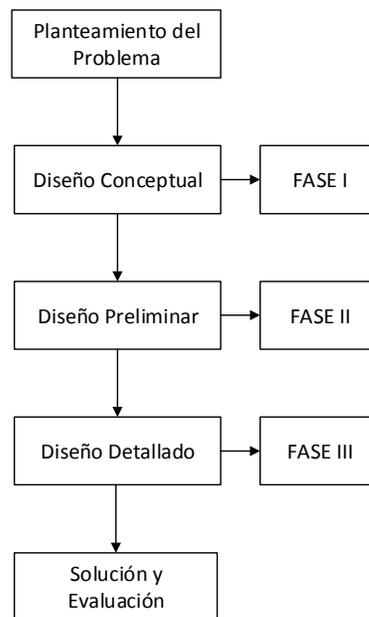
- Considerar en la implementación del sistema modular SFMDengine 1.07 la manufactura de los elementos a la compra o importación de los mismos basándose en los costos ofertados por los proveedores y productores locales.
- Establecer un sistema de evaluación de desempeño para el sistema SFMDengine 1.07 tomando en consideración las habilidades que se desea potencializar con el módulo: control por microcontroladores, control por PLCs, uso de Software de simulación industrial (Automation Studio).
- Conceptualizar la información para soporte, uso y operación del módulo SFMDengine 1.07.

1.5 Metodología

En un concepto simplificado se entiende por metodología de diseño el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño. *“Su objetivo principal está centrado en como diseñar, establecer estructuras apropiadas para el proceso de diseño y el desarrollo y aplicación de nuevos métodos”* (Chaur, Universidad Politecnica de Cataluña, 2004, pág. 5). Este último objetivo hace evidente la necesidad de métodos que muestran el camino a recorrer durante el diseño, dicho método será desarrollado por el diseñador.

Los modelos de diseño facilitan la representación del proceso desarrollado por el diseñador, estos modelos de diseño se clasifican en dos grandes grupos: descriptivos y prescriptivos. Los modelos descriptivos muestran la secuencia de actividades que ocurre durante el diseño en tanto los modelos prescriptivos, prescriben un patrón de actividades de diseño. (Chaur, Universidad Politecnica de Cataluña, 2004, pág. 7).

El modelo empleado en el presente trabajo es un modelo descriptivo lineal como se muestra a continuación:

Cuadro 1. Modelo Descriptivo Lineal

(Chaur, Universidad Politecnica de Cataluña, 2004, pág. 9)

El presente modelo consta de tres fases, la primera es el diseño conceptual que busca los conceptos o principios de la solución del problema, la segunda es el diseño preliminar donde se determina una posible solución en función de los requerimientos del cliente y las características técnicas, en esta etapa se aplicará una matriz de calidad QFD y una matriz morfológica que determinarán las especificaciones técnicas para el diseño y los posibles modelos de solución respectivamente; como última etapa se tiene el diseño detallado donde se determina las especificaciones necesarias para el desarrollo del producto como forma, peso, tamaño, potencia, entre otras. (Chaur, Universidad Politecnica de Cataluña, 2004, pág. 9)

CAPÍTULO 2

DISEÑO MECÁNICO, ELECTRÓNICO E INTERFAZ DE CONTROL

2.1 Fundamento teórico del sistema modular SFMDengine 1.07

2.1.1 Sistema Flexible de Manufactura

Un sistema flexible de manufactura tiene múltiples definiciones, en su expresión más simple es la integración de dos conceptos fundamentales: la automatización y la flexibilidad sobre dispositivos (Browne, 1984, pág. 114), máquinas y/o estaciones productivas. La flexibilidad de un proceso o un sistema posee varias dimensiones que se expresan en el siguiente cuadro.

Cuadro 2 Tipos de flexibilidad

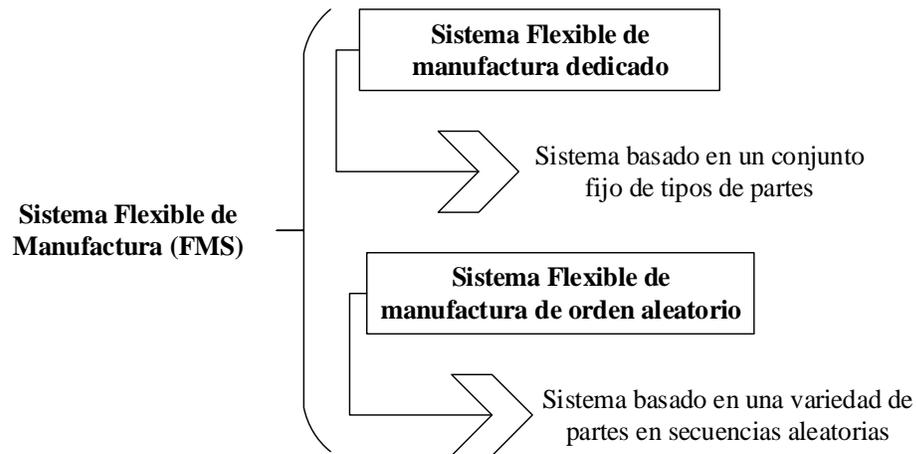
| TIPO DE FLEXIBILIDAD | DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FLEXIBILIDAD | FORMA DE MEDIR EL TIPO DE FLEXIBILIDAD |
|------------------------------|--|---|
| Flexibilidad de la máquina | Facilidad de realizar cambios requeridos por el sistema para su funcionamiento | Cambios automáticos de herramientas y piezas |
| Flexibilidad del proceso | Capacidad de procesar varias piezas de diferentes materiales y formas. | Número de partes que son procesadas simultáneamente |
| Flexibilidad del producto | Capacidad de realizar cambios sobre la marcha del proceso para producir nuevos productos | Tiempo necesario para cambiar una configuración a otra |
| Flexibilidad de enrutamiento | Habilidad de manejar fallas y continuar produciendo un conjunto de piezas | Robustez del Sistema ante fallas: el flujo de producción no decrece dramáticamente ocurrida una falla |
| Flexibilidad de volumen | Habilidad de operar el sistema a diferentes volúmenes de producción específicos | El menor volumen de producción con el funcionamiento óptimo del sistema |
| Flexibilidad de expansión | Capacidad de expandir el sistema fácilmente y en forma modular | La extensión a la que puede alcanzar el Sistema |
| Flexibilidad de producción | Variedad de elementos que pueda producir | El nivel de tecnología que conforma el Sistema: Nivel de automatización |
| Flexibilidad de operación | Habilidad de intercambiar el orden de las operaciones para cada elemento | Nivel de intercambiabilidad de elementos |

(Browne, 1984, págs. 114-115)

Estas dimensiones permiten discriminar el tipo de sistema de manufactura a fin de determinar si es o no flexible. Por otro parte, la automatización de un sistema en forma

general es determinada por la cantidad de flexibilidad disponible sobre el proceso (Browne, 1984, pág. 115).

Cuadro 3 Clasificación de FMS según Groover



(Browne, 1984, pág. 115)

Groover en busca de una clasificación de los sistemas flexibles de manufactura dividió estos sistemas en dos tipos descritos en el Cuadro 1 (Browne, 1984, pág. 115). Adicionalmente se puede clasificar a los sistemas flexibles de manufactura en: Celda de Mecanizado Flexible, Sistema de Mecanizado Flexible, Línea de Producción Flexible, Múltiple línea de Producción Flexible. (Browne, 1984, pág. 115)

Una Celda de Mecanizado Flexible “*consiste en una única máquina de uso general con interfaz automatizada*” (Browne, 1984, pág. 116) para proveer la manipulación de material, el cambio de herramientas y abastecimiento de materia prima por si sola. Se caracteriza por tener flexibilidad de máquina y flexibilidad de producto.

Los Sistemas de Mecanizado Flexible poseen adicionalmente la capacidad de controlar su producción en tiempo real, manipulando el volumen y el tipo de partes a producir. (Browne, 1984, pág. 116) Estos sistemas se caracterizan por un alto grado de flexibilidad en la producción.

En una Línea de Producción Flexible cada operación dentro del ciclo productivo es realizada por una máquina específica o Celda de Mecanizado Flexible originando

así una ruta lineal fija de proceso. Usualmente estas líneas de producción flexibles se caracterizan por utilizar bandas transportadoras o brazos robots de manipulación para el transporte de una estación a otra y un almacén para partes y piezas cerca de cada celda y máquina. Este tipo de sistemas se caracterizan por tener un alto grado de flexibilidad a la expansión. (Browne, 1984, pág. 116)

“Las Múltiples líneas de Producción Flexible consiste en varias líneas de producción interconectadas entre si permitiendo la flexibilidad de operación” (Browne, 1984, pág. 116), flexibilidad de volumen, flexibilidad de expansión, flexibilidad en el proceso y flexibilidad de enrutamiento.

En conclusión los sistemas flexibles de manufactura presentan varios o un solo sistema con cierto grado de flexibilidad (Cuadro 2 Tipos de flexibilidad) que en conjunto facilitan la integración y coordinación de las operaciones de manufactura. Estos sistemas se encuentran distribuidos en toda la extensión del FMS (Sistema flexible de manufactura) y posibilitan la manipulación de material, la inspección de las características físicas de los componentes y la recolección de datos. Consecuentemente estos sistemas determinan el nivel de automatización.

2.1.2 Sistemas de transporte.

En un sistema FMS los mecanismos de transporte permiten conectar y trasladar piezas, accesorios, herramientas de una celda de ensamble flexible (FAC) a otra. Se caracterizan por ser de grandes dimensiones y estar presentes a lo largo de todo el FMS.

“Un sistema de transporte automático incrementa notablemente la productibilidad, eliminando mano de obra y manteniendo la cadencia y flujo necesarios en los procesos” (System, 2012, p. 2). Existe gran variedad de sistemas de transporte usados en la automatización de sistemas flexibles de manufactura, pero la mayoría de ellos son desarrollados para aplicaciones específicas de producción por empresas especializadas en instalaciones automatizadas.

Los tipos de sistemas de transporte comúnmente usados son: mesas giratorias, bandas transportadoras, vehículos automatizados, transportadores de gravedad, elevadores y brazos robot. La discriminación de un sistema a otro está fuertemente ligado a la aplicación, precisión, repetitividad y costos de mantenimiento e implementación.



Figura 3 Mesa giratoria
(Festo, 2014, p. 12)



Figura 4. Vehículos de transporte
(ULMA, ULMA Handlig System, 2012, p. 1)



Figura 5. Elevadores
(ULMA Handling System, 2012, p. 3)



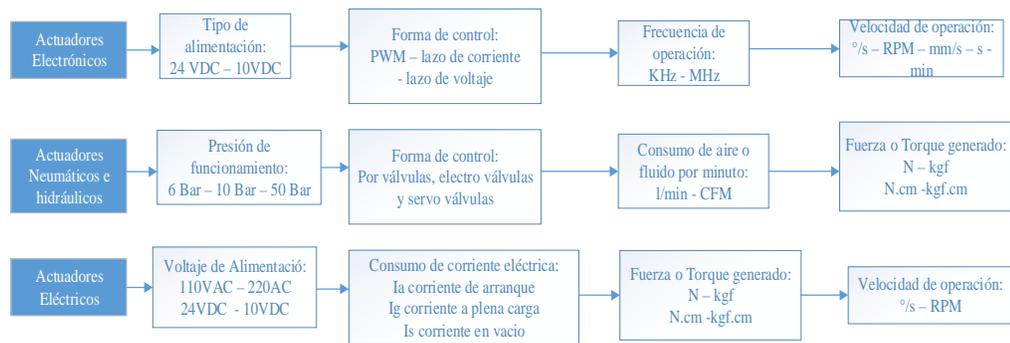
Figura 6. Bandas Transportadoras
(PROVECUADOR, 2014)

2.1.3 Actuadores lineales, rotativos y dispositivos electrónicos

“Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.” (Wikipedia, 2012). Un actuador puede ser de tipo lineal o rotativo y es usado específicamente según este accionamiento.

En sistemas FMS industriales y módulos didácticos FMS se evidencia tres grupos de actuadores en función de la fuente de energía usada: actuadores eléctricos, actuadores neumáticos e hidráulicos y actuadores electrónicos. (Festo, 2014, p. 3), Para cada uno de estos grupos de actuadores existen parámetros específicos para su dimensionamiento que se detallan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Parámetros de actuadores

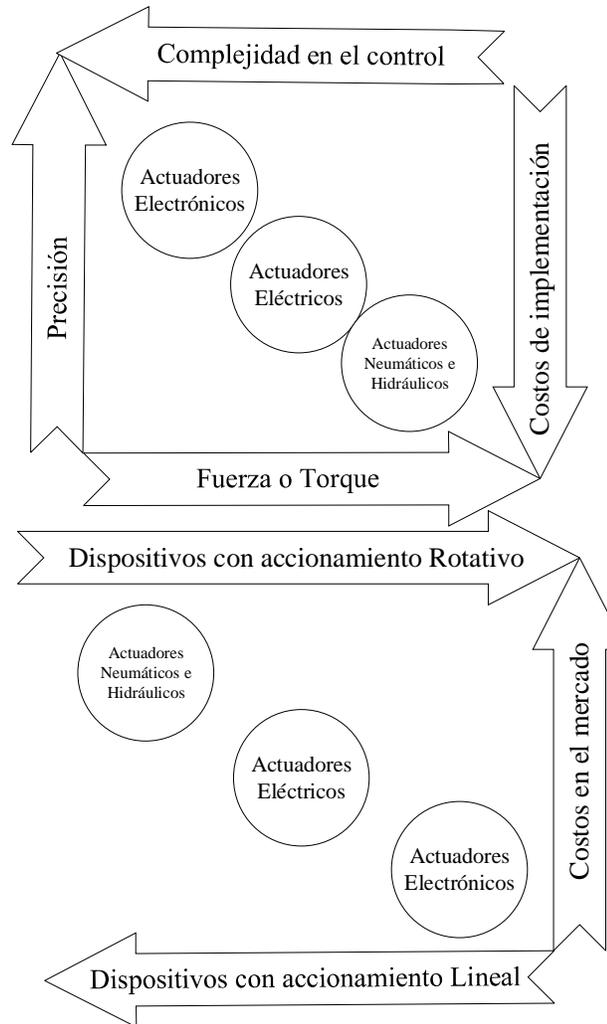


En la selección de actuadores para una aplicación en general se toma en consideración las siguientes características del dispositivo: función operativa del dispositivo (lineal o rotacional), forma de controlar y accionar el actuador, precisión, fuerza o torque requerido.

Por ejemplo, la forma de controlar la mayoría de actuadores neumáticos e hidráulicos es a través de válvulas de vías, las mismas que deben ser conectadas a un sistema de presión de aire o fluido haciendo que la implementación de este tipo de actuadores sea más costosa en relación a un actuador eléctrico.

Por otra parte, un actuador electrónico suele necesitar menos recursos físicos para su implementación con un mayor grado de precisión y repetitividad pero necesita de una interfaz de control y conocimientos de operación del dispositivo.

Cuadro 5. Criterios de selección general para actuadores



2.1.4 Diseño asistido por computadora (CAD)

El diseño asistido por computadora es una herramienta de gran utilidad para los diseñadores e ingenieros, que permite disminuir considerablemente el tiempo empleado en el diseño y eliminado casi en su totalidad la elaboración de prototipos físicos (SolidWorks, SolidWorks Corp, 2011, pág. 8). Puntualmente estos beneficios se deben a la flexibilidad y facilidad de realizar simulaciones dinámicas o cinemáticas que facilitan el dimensionamiento de mecanismos, actuadores y sensores que formaran parte del diseño.

Para el diseño de los sistemas que conforman el SFMDengine 1.07 se ha empleado el software SolidWorks de Dassault Systemes en su versión más reciente (2014 SP2), las características principales del software se muestran en la siguiente figura.

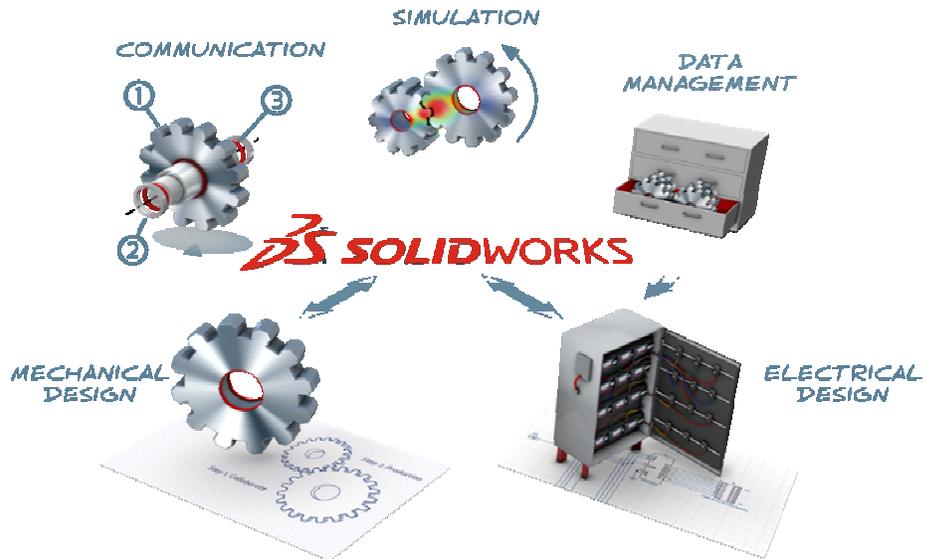


Figura 7. Descripción de SolidWorks

(SolidWorks, SolidWorks Corp, 2011)

Cuadro 6. Propuesta de Ciclo de diseño



(SolidWorks C. , 2012, pág. 1)

2.1.5 SolidWorks Motion y SolidWorks Simulations

Las herramientas de simulación dinámica y mecánica cumplen un papel de sustentación y validación dentro del ciclo de diseño, Cuadro 6. Propuesta de Ciclo de diseño. Las herramientas ofertadas por SolidWorks de Dassault Systemes para este fin son: SolidWorks Motion y SolidWorks Simulations (FEA), estas dos herramientas facilitan el desarrollo de prototipos virtualizados disminuyendo costos y evitando su construcción innecesaria. (SolidWorks C. , Understanding motion simulation, 2010, pág. 11)

“La simulación de movimiento también conocida como la dinámica de los cuerpos rígidos (SolidWorks Motion) proporciona información completa y cuantitativa acerca de la cinemática (Incluida la posición, velocidad y aceleración) y la dinámica (incluida las reacciones en los vínculos, la fuerza de inercia y los requisitos de alimentación) de todos los componentes de un mecanismo en movimiento” (SolidWorks C. , 2010, pág. 2).

Esto faculta al diseñador realizar un análisis más profundo donde se puede emular condiciones críticas de funcionamiento para un correcto dimensionamiento.

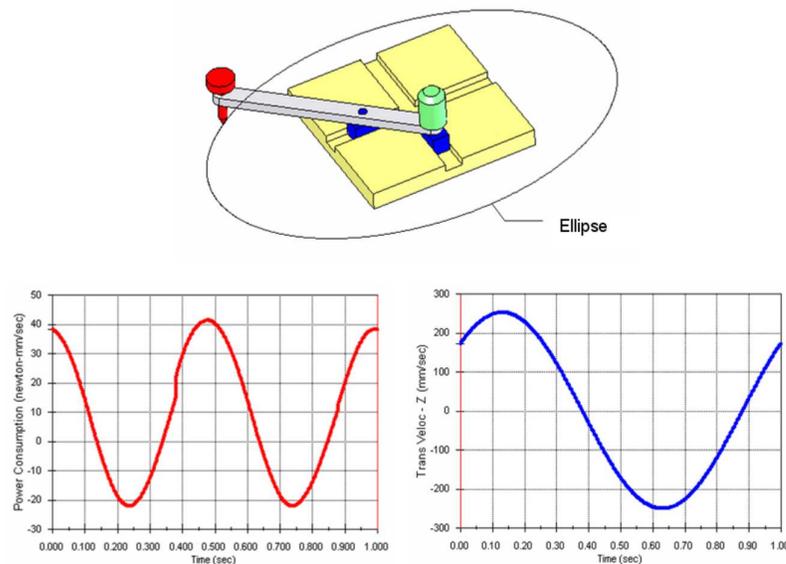


Figura 8. Requisitos de alimentación del motor y velocidad lineal calculados por el simulador
(SolidWorks C. , 2010, pág. 3)

SolidWorks Motion utiliza las propiedades de material de las piezas CAD diseñadas e involucra en su análisis la geometría de las mismas para obtener las propiedades de inercia de los componentes y mecanismos y trasladar estas condiciones a relaciones cinemáticas y dinámicas. (SolidWorks C. , 2010, pág. 7) A diferencia de una simulación de elementos finitos (FEA), la simulación dinámica y cinemática posee pocos grados de libertad los cuales están relacionados a ecuaciones de movimiento que usa el solver¹ de SolidWorks Motion para encontrar información de velocidades, aceleraciones, desplazamientos, reacciones, cargas de inercia e información derivada, como energía del sistema, fuerza, torque entre otras.

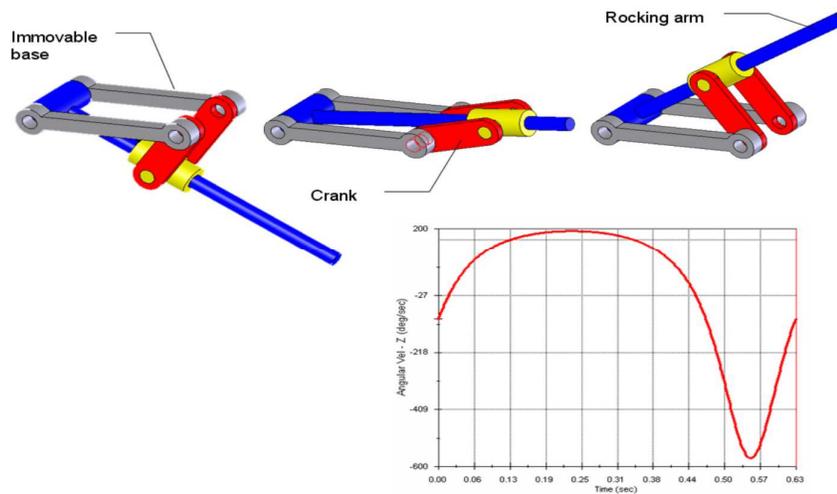


Figura 9. Simulación de un mecanismo deslizando invertido para calcular la velocidad angular del brazo oscilante
(SolidWorks C.2010, pág. 3)

El análisis por elementos finitos (FEA) es una técnica utilizada para el estudio del comportamiento de un cuerpo elástico en consecuencia un elemento deformable (SolidWorks C. , 2010, pág. 6). SolidWorks Simulations (FEA) está facultado para el estudio de cuerpos sometidos a cargas estáticas y dinámicas ya sea analizando desplazamientos, deformaciones unitarias, pandeo, fatiga, vibraciones y esfuerzos.

¹ Solver: Es un término genérico que indica una parte de un software matemático, posiblemente en la forma de un programa de ordenador independiente o como una biblioteca de software

En la solución de una simulación por elementos finitos cada parte, conexión o ensambles de las piezas diseñadas por CAD son divididas en partes finitas llamadas “elementos” que representan solidos pequeños conformando el CAD original.

Cada uno de estos elementos guarda información relevante a la simulación como es: desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, temperaturas entre otras.

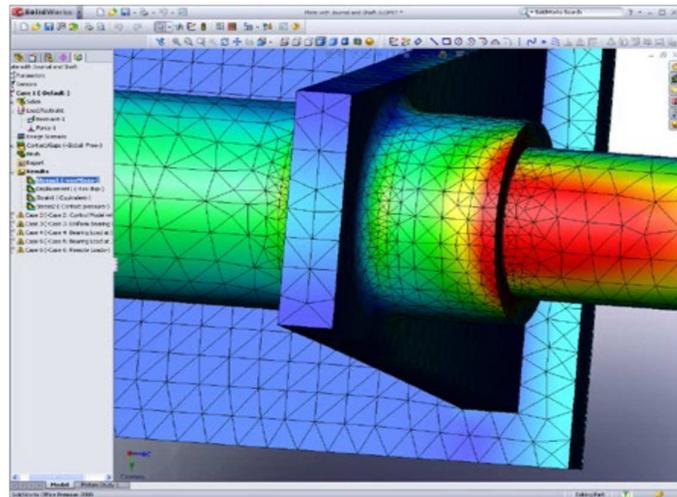


Figura 10 Malla de simulación de FEA
(SolidWorks, 2014, pág. 7)

La metodología para la aplicación de estas herramientas se detalla en la Figura 11. Modelo de aplicación de diseño donde, el diseño CAD guarda información detallada de la geometría de la pieza o mecanismo y las propiedades físicas de sus componentes, esta información es usada por la simulación dinámica para encontrar las fuerzas, torques y energía involucradas en el funcionamiento del sistema; dichas fuerzas y torques son utilizadas en la simulación por elementos finitos para encontrar los esfuerzos y puntos críticos del sistema validando así la seguridad, las condiciones de trabajo y los rangos de funcionamiento de las piezas o mecanismos.

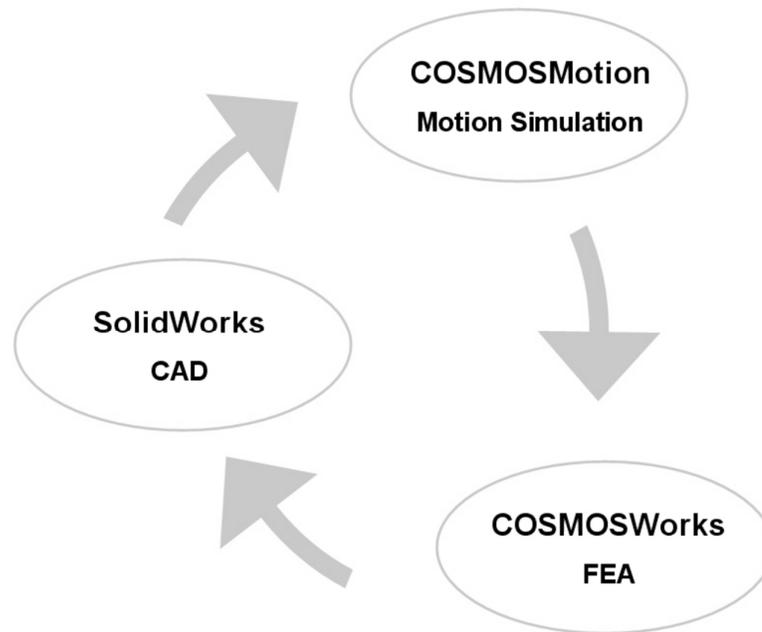
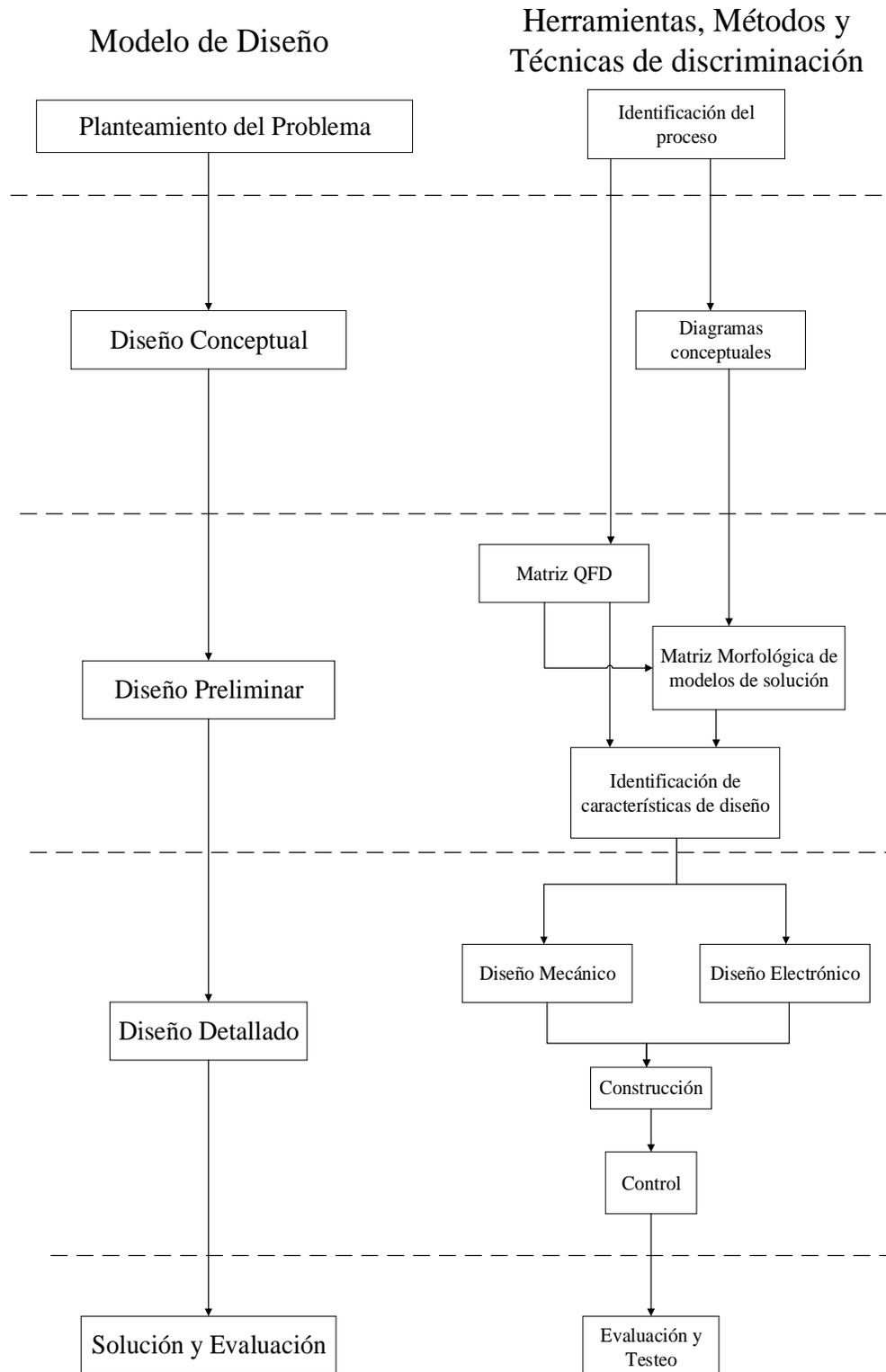


Figura 11. Modelo de aplicación de diseño
(SolidWorks C. , 2010, pág. 11)

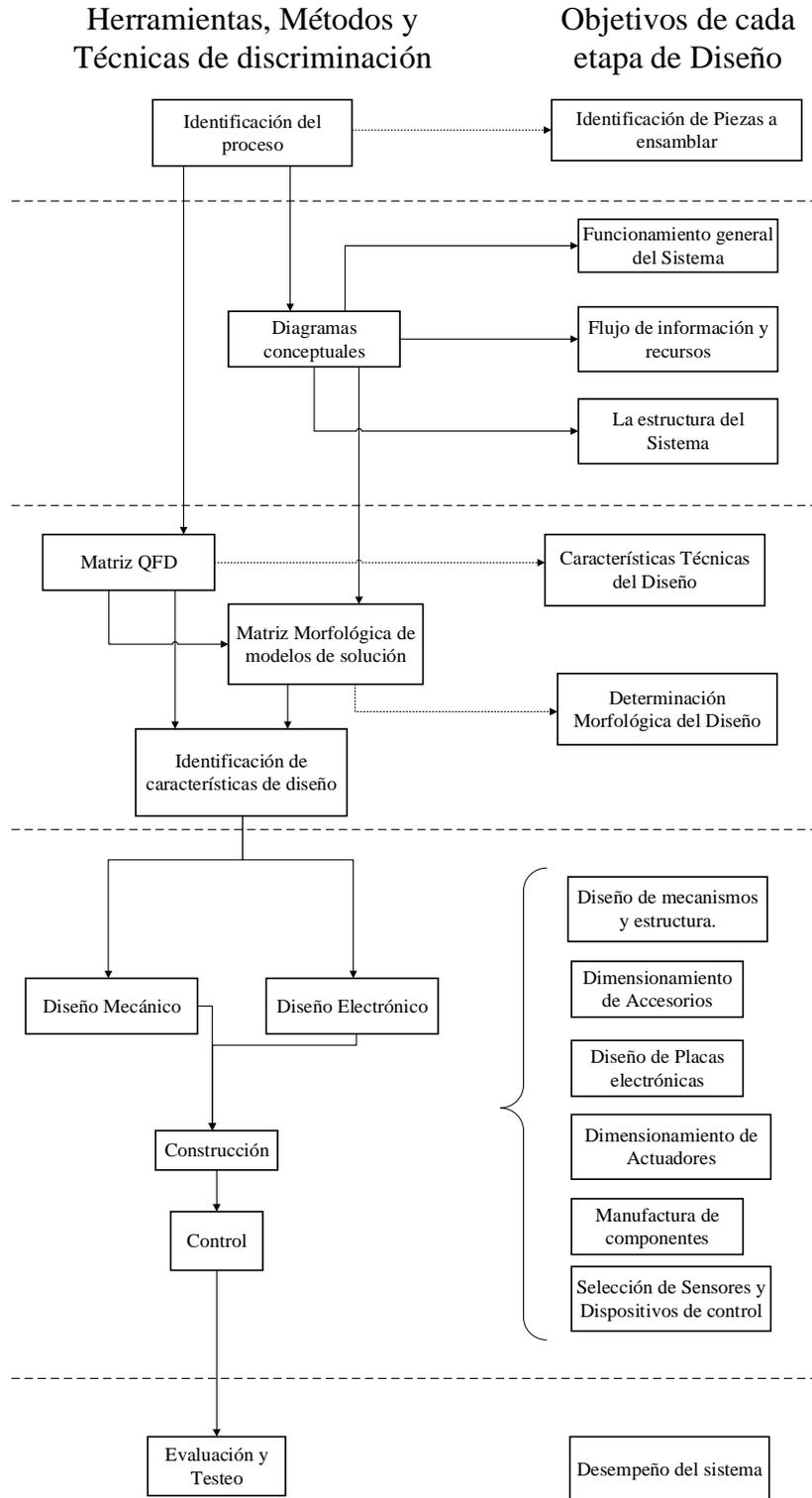
2.2 Aplicación de la metodología de diseño

La metodología aplicada para el desarrollo del presente proyecto tiene como base un modelo descriptivo lineal de diseño que organiza la información de forma secuencial. (Chaur, 2004, pág. 9) La aplicación de esta metodología utiliza herramientas, métodos y técnicas de discriminación como: diagramas conceptuales, diagramas de procesos, matriz morfológica, matriz QFD y diagramas causa – efecto.

Cuadro 7. Metodología de diseño en base al Modelo Descriptivo Lineal (a)



Cuadro 8 Metodología de diseño en base al Modelo Descriptivo Lineal (b)



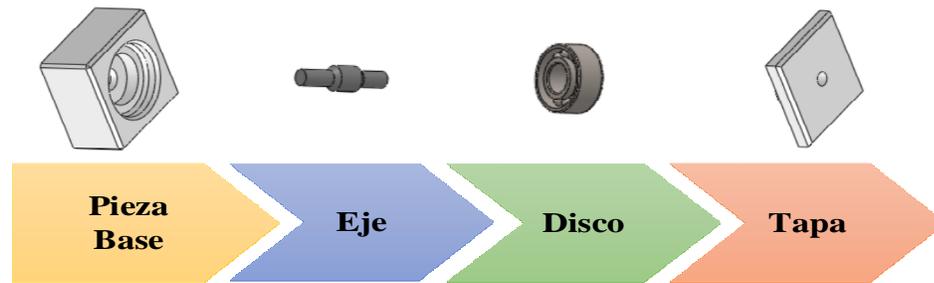
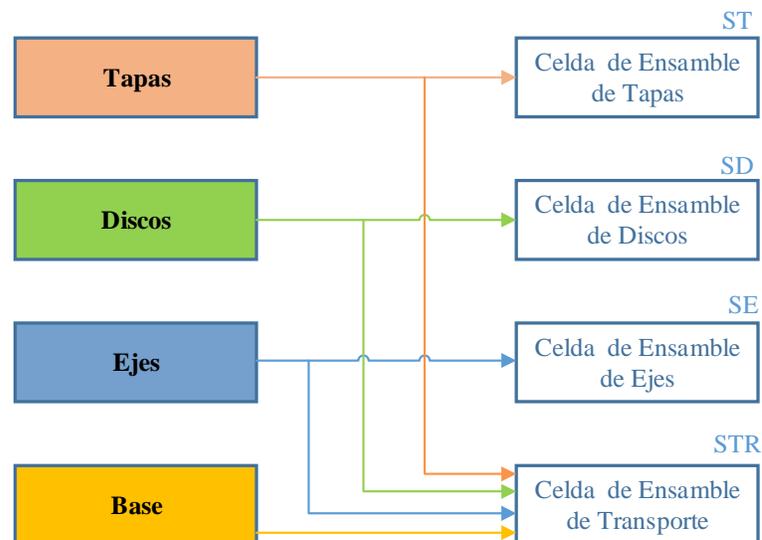


Figura 12 Proceso de ensamblaje del Sistema SFMDengine 1.07

El proceso de diseño descrito en el Cuadro 7. Metodología de diseño en base al Modelo Descriptivo Lineal (a), tiene como finalidad el desarrollo de un sistema FMS didáctico que simula un proceso de ensamblaje de cuatro piezas descrito en la Figura 12. Las funciones que deben cumplir a lo largo de todo el sistema serán: selección de componentes, detección de material, posicionamiento, ensamblaje y transporte.

Tomando cuenta la flexibilidad en el diseño se dedicará sistemas internos especializados para cada tipo de ensamblaje (FAC: celda de ensamblaje flexible).

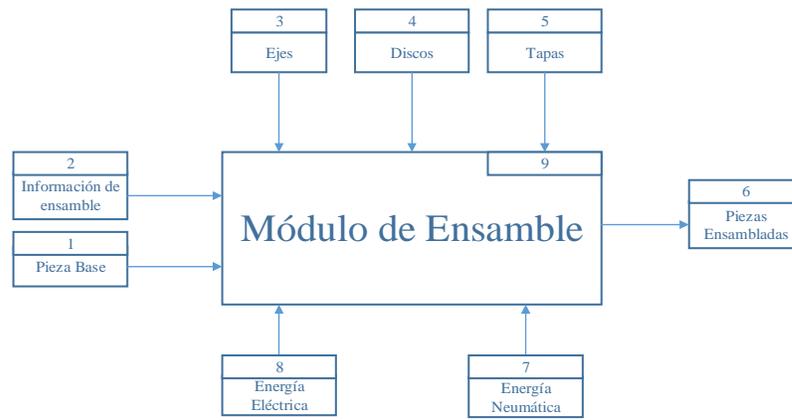
Cuadro 9. Definición de las celdas de ensamblaje



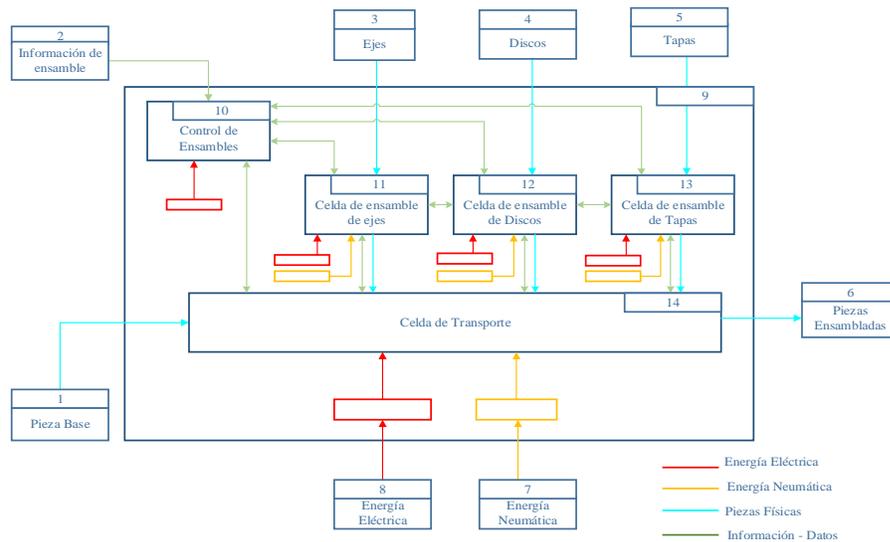
2.2.1 Diseño conceptual

El diseño conceptual en su idea más simple busca identificar los conceptos que determinaran el comportamiento del sistema a diseñar. Los diagramas conceptuales que se detallan a continuación responden al problema descrito en la Figura 12 y en el Cuadro 9. Definición de las celdas de ensamble.

Cuadro 10. Diseño Conceptual - Modulo de ensamble



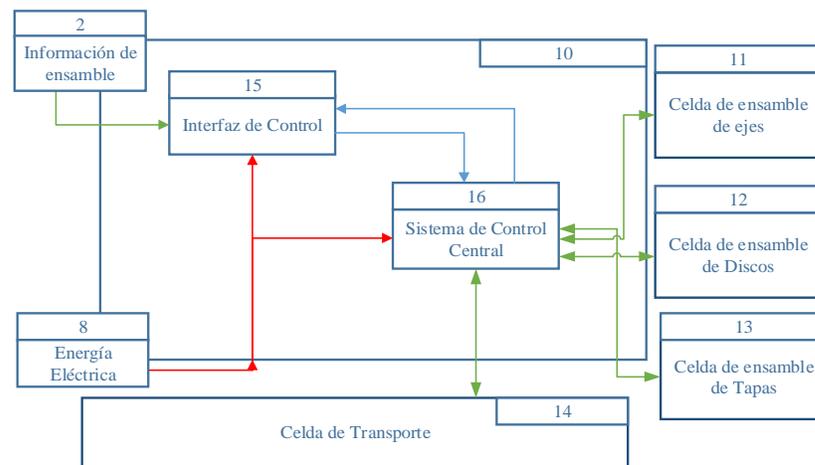
Cuadro 11 Diseño Conceptual - Sistemas internos de ensamble



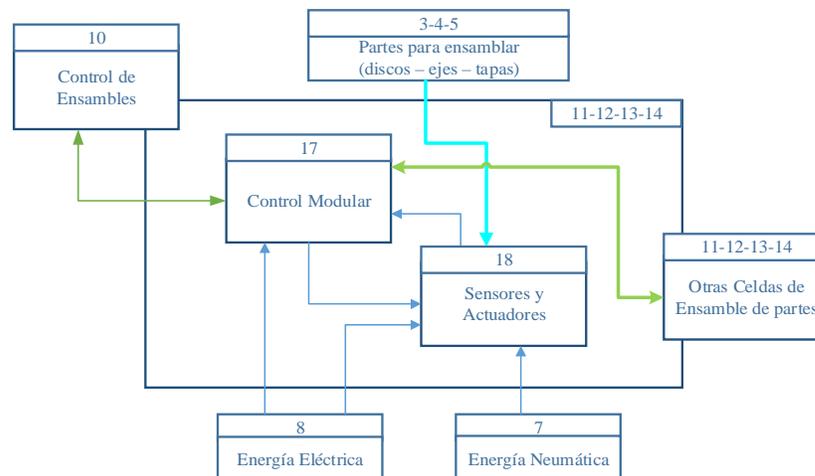
En el diagrama que se muestra en el cuadro 10, precisa las celdas que conforman el módulo de ensamblaje descrito en el Cuadro 9. Definición de las celdas de ensamblaje Las celdas del módulo de ensamblaje fueron determinadas en función del

elemento a ensamblar, de esta manera las celdas del módulo serán: celda de ensamble de ejes (SE), celda de ensamble discos (SD) y celda de ensamble de tapas (ST), adicionalmente se determinó una celda de transporte (STR) que facilite el desplazamiento de los elementos ensamblados de un sistema a otro.

Cuadro 12. Diseño Conceptual – Control de ensambles



Cuadro 13. Diseño Conceptual - Sistemas internos de ensamble

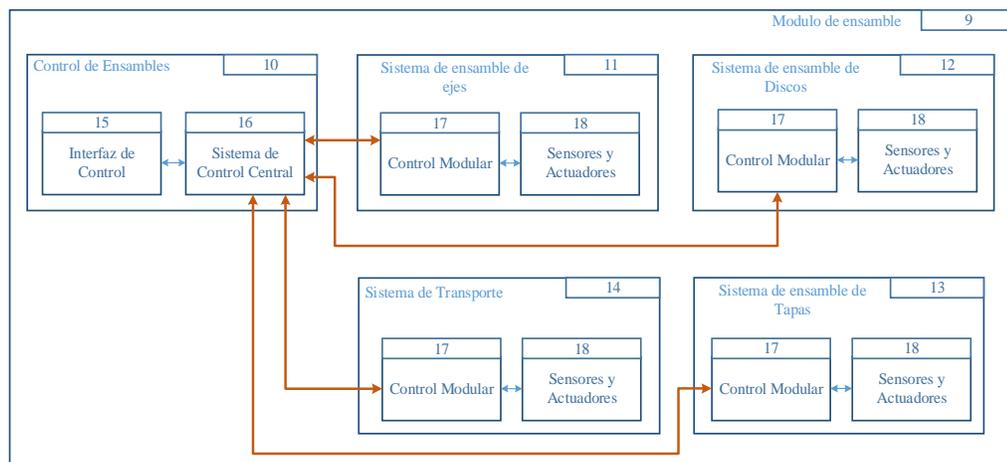


El diagrama conceptual del Cuadro 12. Diseño Conceptual – Control de ensambles muestra el diseño de control de ensambles (concepto 10) el cual comunica directamente cada celda de ensamble (concepto 11, 12, 13, 14) a un sistema de control

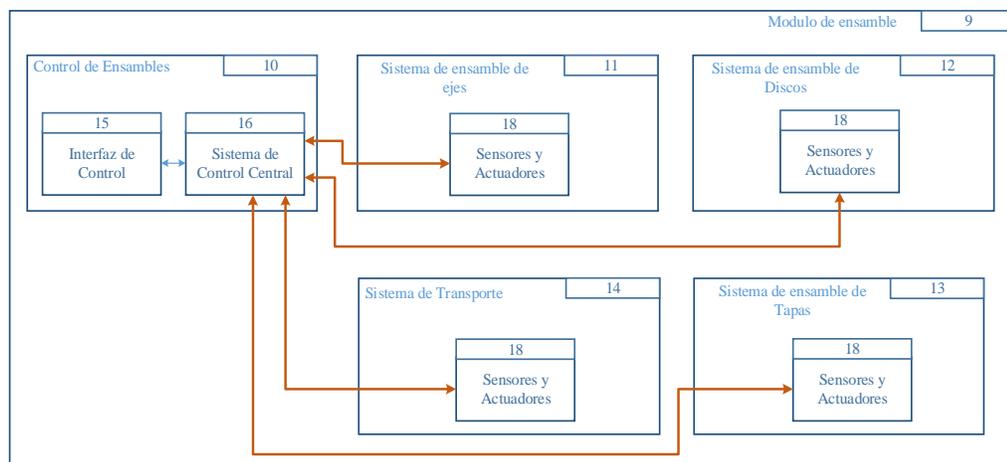
central (concepto 16) el cual permitirá activar, desactivar, parar, seleccionar un modo de funcionamiento y recopilar el estado de cada celda de ensamble flexible (FAC).

El control de ensamble (concepto 10) se comunicará al control modular (concepto 17) de cada celda de ensambles y este a su vez hacia los sensores y actuadores (concepto 18) así las señales para el accionamiento de mecanismos y secuencias de movimiento estarán dentro del control modular de cada sistema de ensamble. Este tipo de control puede variar como detalla el Cuadro 15 Diseño Conceptual – Control Centralizado, obviando el control modular y controlando directamente las variables físicas de cada módulo a partir del sistema de control central.

Cuadro 14. Diseño Conceptual – Control Modular



Cuadro 15 Diseño Conceptual – Control Centralizado



2.2.2 Diseño preliminar

En esta etapa se especifica las características preliminares que darán una posible solución al problema planteado (Chaur, 2004, pág. 9) para lo cual se utilizan dos herramientas que facilitan la identificación de las características de diseño. Estas herramientas son la función de calidad (matriz QFD) y la matriz morfológica, la primera arrojará como resultado las características técnicas más relevantes a ser consideradas en el diseño a fin de cumplir los requerimientos del cliente; y la segunda herramienta facilita la selección de mecanismos y actuadores que formaran parte del diseño.

La función de calidad (QFD) es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias. (Yacuzzi & Martin, 2009, pág. 9)

Cuadro 16. Descripción de la herramienta QFD

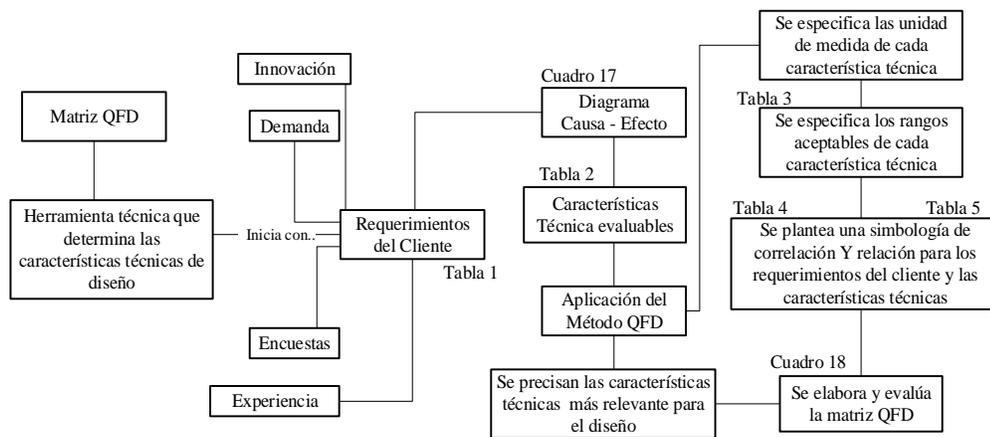


Tabla 1. Requerimiento de clientes

| N. | REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE | PRIORIDAD | |
|----|----------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Hardware | Diseño robusto y elegante | 5 |
| 2 | | Fácil de adaptar a diseños propios | 3 |
| 3 | Directriz de aprendizaje | Susceptible a usar varias tecnologías | 3 |
| 5 | | Facilidad de puesta a punto | 4 |

Para el desarrollo de las características técnicas se empleó un diagrama causa efecto a los requerimientos del cliente como muestra el

Cuadro 17 Diagrama causa efecto a los requerimientos del cliente

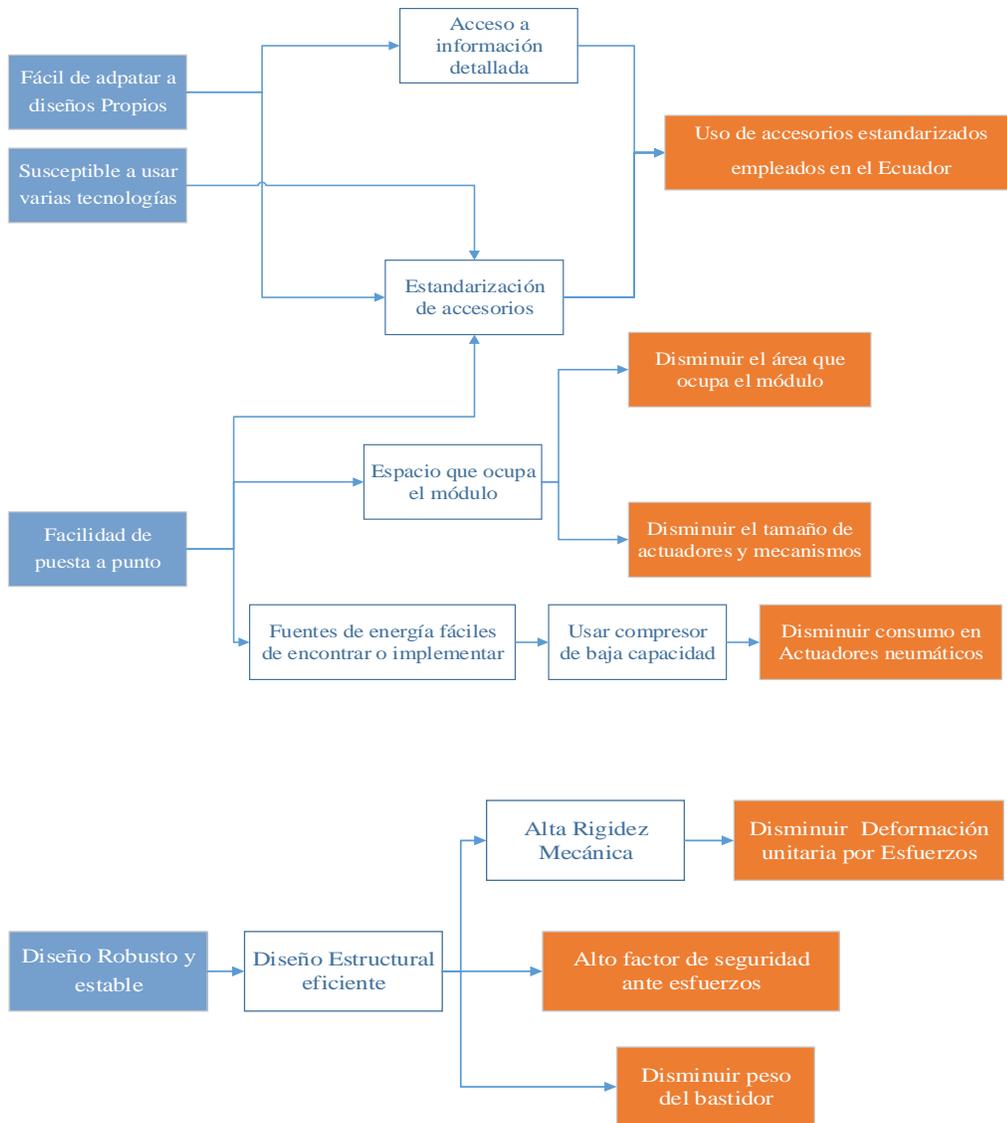


Tabla 2. Características técnicas del diseño y sus unidades de medida.

| N. | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | |
|-----------|---|--|
| 1 | | Disminuir Deformación unitaria por Esfuerzos m |
| 2 | Diseño robusto y elegante | Alto factor de seguridad ante Esfuerzos -- |
| 3 | | Disminuir peso del bastidor kg |
| 4 | Fácil de adaptar a diseños propios Susceptible a usar varias tecnologías | Uso de accesorios estandarizados empleados en el Ecuador -- |
| 5 | | Disminuir el área que ocupa el módulo m² |
| 6 | Facilidad de puesta a punto | Disminuir el tamaño de actuadores y mecanismos m |
| 7 | | Disminuir la capacidad del sistema neumático m³ |

Tabla 3. Parámetros aceptables de Características Técnicas.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | VALORES OBJETIVOS |
|--|--------------------------|
| Uso de accesorios estandarizados empleados en el Ecuador | SI |
| Disminuir peso del bastidor | <30kg |
| Disminuir Deformación por Esfuerzos | <0,001m |
| Disminuir la capacidad del sistema neumático | <0,015m ³ |
| Disminuir el tamaño de actuadores y mecanismos | <0,6m |
| Disminuir el área que ocupa el módulo | <0,64m ² |
| Alto factor de seguridad ante Esfuerzos | >3,5 |

Tabla 4. Simbología de Relación entre los requerimientos del Cliente y las características técnicas

| GRADO DE RELACIÓN | SÍMBOLO | VALORACIÓN |
|--------------------------|----------------|-------------------|
| Fuerte | Ω | 9 |
| Media | ∅ | 3 |
| Débil | ∨ | 1 |
| Nula | | 0 |

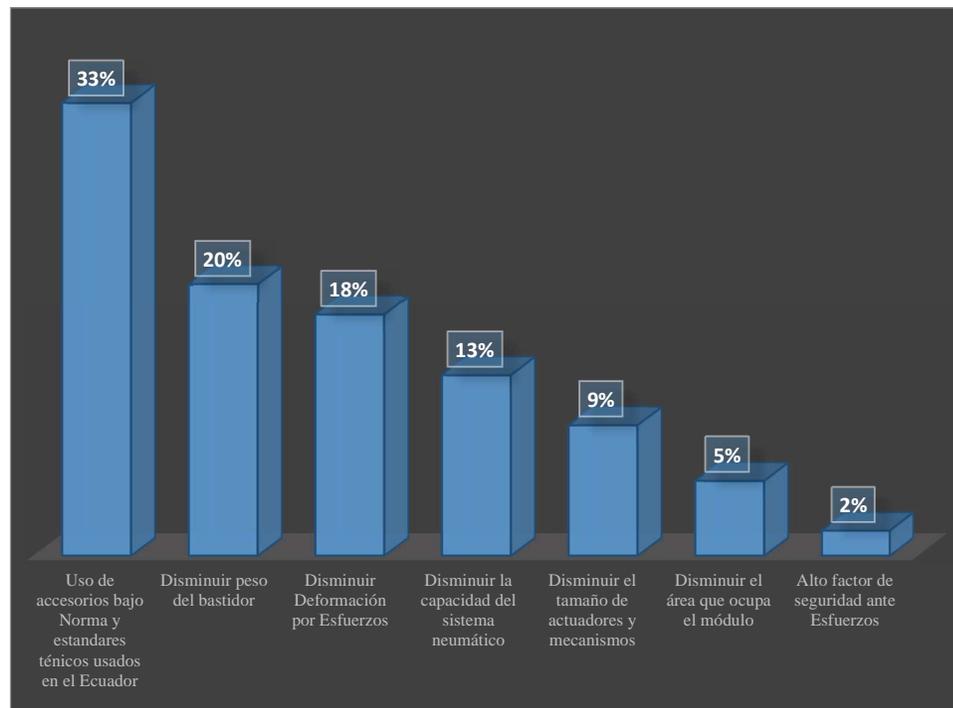
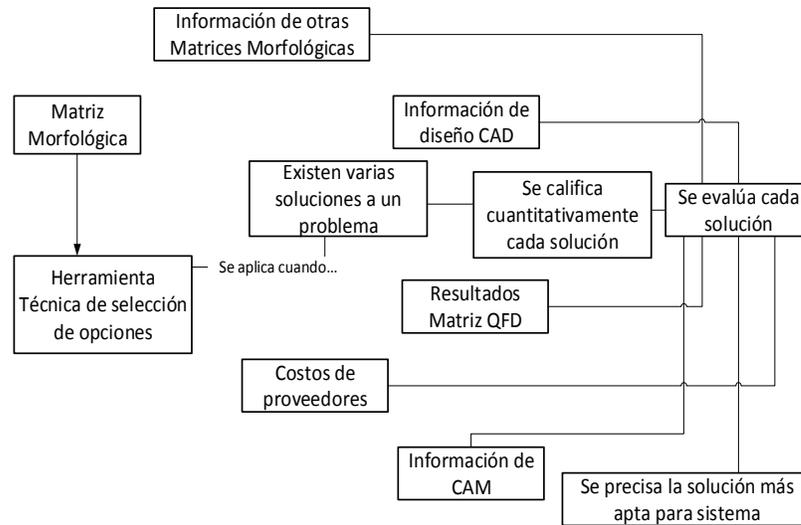


Figura 13. Resultados de la matriz QFD

Con los resultados de la matriz QFD podemos aseverar que el uso de accesorios estandarizados empleados en el Ecuador es la característica más importante con un 33%, la siguiente característica es disminuir el peso del bastidor con el 20%, la característica de disminuir deformación por esfuerzos tiene un peso de 18%. Estas características son las más importantes a tener en consideración y serán las más relevantes para la elección de material y forma en las siguientes etapas del diseño.

La segunda herramienta utilizada es la matriz morfológica (cuadro 19) la cual comparará tres opciones de diseño para segregar la más apta en función de dos criterios: económico y técnico a fin de encontrar la opción que equilibre satisfactoriamente estas características.

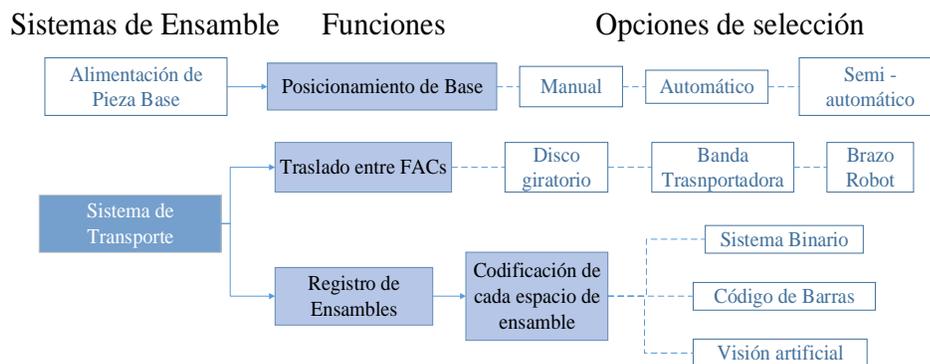
Cuadro 19. Descripción de una Matriz Morfológica



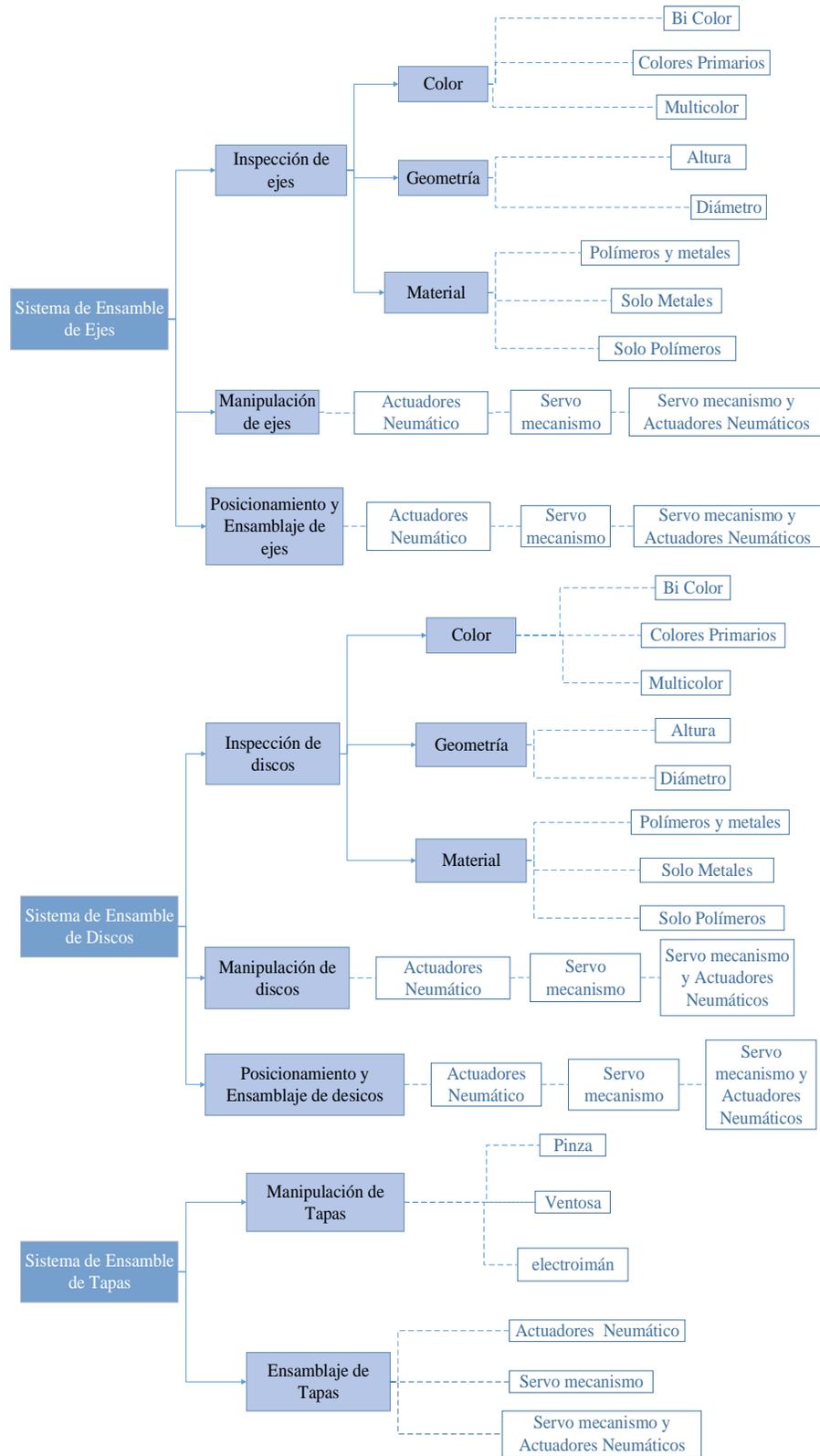
Antes de detallar las soluciones morfológicas del sistema SFMDengine 1.07 es necesario precisar y limitar las funciones de cada celda de ensamble con el fin de tener un universo de posibilidades finito. Este conjunto de posibilidades se muestra en el Cuadro 20. Especificación de opciones de selección para los sistemas de ensamble).

También es necesario ponderar en función de costos de implementación e importancia técnica cada posible solución para el proyecto.

Cuadro 20. Especificación de opciones de selección para los sistemas de ensamble



CONTINUA ➡



En la ponderación económica (Tabla 8), cada posible solución es calificada en una escala de 0 (menos costosa) a 5 (más costosa) en base a criterios de selección: manufactura, importación, mantenimiento, y tecnología; para ponderar técnicamente las posibles soluciones (Tabla 9). Se usó los resultados de la matriz QFD (Tabla 6. Resultados de la matriz QFD) y el porcentaje en peso de cada característica técnica así no solo evaluaremos cada posibilidad en base a su importancia sino también segregaremos la más apta en función de su peso para cumplir los requerimientos del cliente.

Tabla 7. Puntos de evaluación de los criterios de selección

| PUNTOS DE EVALUACIÓN | IMPORTANCIA ECONÓMICA |
|----------------------|--------------------------|
| | 0-5 |
| Manufacturación | 4 |
| Importación | 3 |
| Mantenimiento | 2 |
| Tecnología | 5 |

Tabla 8. Ponderación Económica de Posibilidades de Solución

| | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 |
|------------------------------|-----------------|-------------|---------------|------------|
| | Manufacturación | Importación | Mantenimiento | Tecnología |
| Manual | | | | |
| Automático | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Semiautomático | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Sistema binario | | | | 3 |
| Código de barras | | | | 4 |
| Por visión artificial | | | | 5 |
| Brazo robot | | 5 | 4 | 5 |

CONTINUA 

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Disco Giratorio | 3 | | 2 | 3 |
| Banda | 4 | 3 | 3 | 4 |
| Transportadora | | | | |
| Sin detección de Color | | | | |
| Bi color | 2 | 3 | 2 | 3 |
| multicolor | 3 | 4 | 2 | 5 |
| Sin detección material | | | | |
| Polímero y Metal | 2 | 3 | 2 | 3 |
| Polímero, metal, vidrio | 3 | 4 | 2 | 5 |
| Sin detección Geometría | | | | |
| Medición de altura | 2 | 3 | 2 | 3 |
| Medición de diámetro | 2 | 3 | 2 | 5 |
| Actuadores Neumáticos | | 3 | 2 | 3 |
| Servomecanismos | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Actuadores neumáticos y servomecanismos | 3 | 4 | 4 | 5 |
| Pinzas | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Ventosa | | 3 | 2 | 3 |
| Electroimán | | 4 | 1 | 4 |

Tabla 9. Ponderación Técnica de Posibilidades de Solución

| | 0-33 | 0-20 | 0-18 | 0-12 | 0-9 | 0-5 | 0-5 |
|-----------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | Documentación Técnicas | Peso Bastidor | Deformaciones | Cap. Sistema Neumático | Tamaño de actuadores | Espacio físico | Factor de seguridad |
| Manual | | | | | | | 5 |
| Automático | 25 | 10 | 12 | | 5 | 3 | 3 |
| Semiautomático | 20 | 5 | 12 | | 3 | 2 | 3 |
| Sistema binario | 30 | 10 | | | | | 5 |

CONTINUA 

| | | | | | | |
|---|----|----|----|----|---|---|
| Código de barras | 30 | 10 | | | 2 | 3 |
| Por visión artificial | 31 | 15 | | | 2 | 3 |
| Brazo robot | 30 | 19 | 15 | 5 | 9 | 5 |
| Disco Giratorio | 25 | 10 | 12 | 3 | 7 | 3 |
| Banda Transportadora | 20 | 15 | 10 | | 8 | 3 |
| Sin detección Color | | | | | | |
| Bi color | 15 | 5 | 2 | | 1 | 1 |
| multicolor | 20 | 5 | 2 | | 2 | 2 |
| Sin detección material | | | | | | |
| Polímero y Metal | 15 | 5 | 2 | | 1 | 1 |
| Polímero, metal, vidrio | 20 | 5 | 2 | | 2 | 2 |
| Sin detección Geometría | | | | | | |
| Medición de altura | 15 | 5 | 2 | | 1 | 1 |
| Medición de diámetro | 20 | 5 | 2 | | 2 | 2 |
| Actuadores Neumáticos | 20 | 15 | 10 | 12 | 7 | 5 |
| Servomecanismos | 25 | 15 | 13 | | 8 | 4 |
| Actuadores neumáticos y servomecanismos | 31 | 19 | 15 | 6 | 9 | 5 |
| Pinzas | 20 | 12 | 2 | | 6 | 2 |
| Ventosa | 25 | 15 | 2 | 12 | 9 | 4 |
| Electroimán | 31 | 19 | 3 | | 6 | 2 |

Tabla 10. Factor de Importancia Técnica de puntos de evaluación

| PUNTOS DE EVALUACIÓN | COMPLICACIÓN TÉCNICA |
|------------------------|----------------------|
| | 0-5 |
| Documentación Técnicas | 3 |
| Peso Bastidor | 3 |
| Deformaciones | 4 |
| Cap. Sistema Neumático | 3 |
| Tamaño de actuadores | 5 |
| Espacio físico | 2 |

Con el detalle de las funciones presentes en cada sistema de ensamble, sus respectivas opciones disponibles y la ponderación respectiva de las mismas se procede a generar tres modelos de solución para cada función tomando en cuenta la posibilidad

de implementar flexibilidad al diseño, la probabilidad de variar el tipo de control, costos aproximados de manufactura, la versatilidad de la solución y la posible complicación en la implementación del sistema. De esta forma nos aseguramos que las opciones de diseño tengan similares características y la comparación entre ellas sea imparcial.

Tabla 11. Planteamiento de modelos de solución

| FUNCIONES | | MODELO 1 | MODELO 2 | MODELO 3 |
|--|-----------|--|---------------------------|--|
| Posicionamiento de Base | | Manual | Manual | Automático |
| Transporte entre FACs | | Disco Giratorio | Disco Giratorio | Banda Transportadora |
| Codificación de cada espacio de ensamble | | Sistema Binario | Sistema Binario | Código de Barras |
| Inspección de Ejes | Color | Bi Color | Sin Detección de Color | Multicolor |
| | Geometría | Sin detección de Geometría | Medición de diámetro | Medición de altura |
| | Material | Polímeros y Metales | Polímeros y Metales | Polímeros y Metales |
| Manipulación de Ejes | | Actuadores neumáticos y Servo mecanismos | Servo mecanismos | Actuadores Neumáticos |
| Posicionamiento y Ensamble de Ejes | | Gravedad | Ventosa | Pinza |
| | Color | Sin Detección de Color | Bi Color | Bi Color |
| Inspección de Discos | Geometría | Sin detección de Geometría | Medición de altura | Sin detección de Geometría |
| | Material | Polímeros y Metales | Sin detección de material | Sin detección de material |
| Manipulación de Discos | | Actuadores neumáticos y Servo mecanismos | Actuadores Neumáticos | Servo mecanismos |
| Posicionamiento Ensamble de Discos | | Pinza | Ventosa | Pinza |
| Manipulación de Tapas | | Actuadores Neumáticos | Servo mecanismos | Actuadores neumáticos y Servo mecanismos |
| Posicionamiento y Ensamble de Tapas | | Ventosa | Pinza | Pinza |

Tabla 12. Matriz Morfológica de evaluación Económica

| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Puntos de Evaluación | Fi | Modelo 1 | Modelo 2 | Modelo 3 | Proyecto ideal |
| Manufacturación | 4 | 2,6 | 3,0 | 2,5 | 5 |
| Importación | 3 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 5 |
| Mantenimiento | 2 | 2,3 | 2,4 | 2,2 | 5 |
| Tecnología | 5 | 3,2 | 3,4 | 3,3 | 5 |
| Valor total | | 39,82 | 43,29 | 40,19 | 70 |
| Ponderación | | 57% | 62% | 57% | 100% |

Tabla 13. Matriz Morfológica de evaluación Técnica

| EVALUACIÓN TÉCNICA | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Puntos de Evaluación | Fi | Modelo 1 | Modelo 2 | Modelo 3 | Proyecto ideal |
| Documentación Técnicas | 3 | 22.77 | 20.67 | 22.57 | 31 |
| Peso Bastidor | 3 | 11.23 | 11.27 | 10.79 | 19 |
| Deformaciones | 4 | 7.17 | 6.36 | 6.77 | 17 |
| Cap. Sistema Neumático | 3 | 7.29 | 12.00 | 7.29 | 12 |
| Tamaño de actuadores | 5 | 6.00 | 5.50 | 5.69 | 9 |
| Espacio físico | 2 | 3.00 | 2.73 | 2.92 | 5 |
| Valor Total | | 188.5 | 190.2 | 183.3 | 309.0 |
| Ponderación Final | | 61% | 62% | 59% | 100% |

Una vez evaluadas cada una de las opciones se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 14. Matriz Morfológica de Resultados

| | COEFICIENTE ECONÓMICO | COEFICIENTE TÉCNICO |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|
| MODELO 1 | 57% | 61% |
| MODELO 2 | 62% | 62% |
| MODELO 3 | 57% | 59% |
| MEDIA | 59% | 61% |

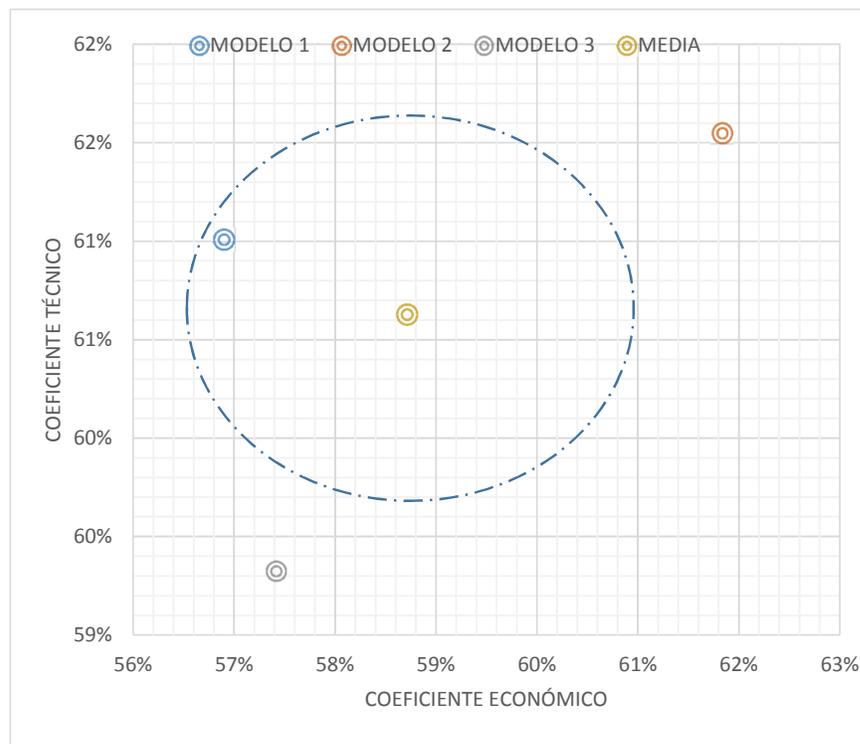


Figura 14. Coeficiente Técnico vs Coeficiente Económico de Modelos de solución

En la figura 14 se identifica que el mejor modelo de solución es el modelo 1 ya que es la opción morfológica con un balance adecuado entre el coeficiente técnico y el coeficiente económico.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SFMDengine 1.07

3.1 Características de Diseño

En el capítulo 1 se planteó objetivos específicos que determinan el desarrollo y el diseño del sistema SFMDengine 1.07, pero estas premisas no son las únicas que gobiernan al diseño del módulo, también lo hacen las características técnicas de la matriz QFD (Tabla 2) la solución planteada por la matriz morfológica (Tabla 12) el diseño conceptual (Cuadro 9, Cuadro 10, Cuadro 11, Cuadro 12, Cuadro 13).

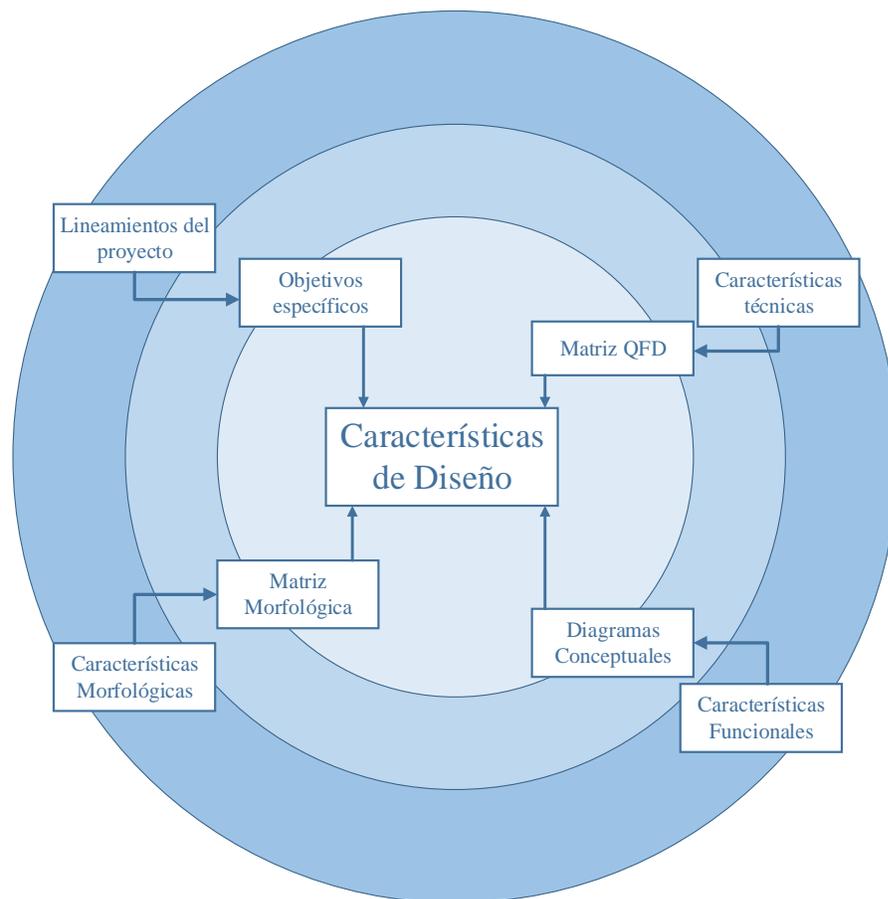


Figura 15. Definición de características de diseño

Cuadro 21. Características Morfológicas de diseño

| | | | | |
|-----------------------------|-----|--|---|---|
| | | Posicionamiento de la base Manual | | |
| CELDA DE TRANSPORTE | STR | Transporte entre FACs Disco Giratorio | Codificación de puestos de ensamble Sistema Binario | |
| CELDA DE ENSAMBLE DE EJES | SE | Inspección de Ejes Bi Color Polímero y metal | Manipulación de Ejes Servomecanismos y Actuadores neumáticos | Posicionamiento y Ensamble de Ejes Gravedad |
| CELDA DE ENSAMBLE DE DISCOS | SD | Inspección de Discos Polímero y metal | Manipulación de Discos Pinza | Posicionamiento y Ensamble de Discos Servomecanismos y Actuadores neumáticos |
| CELDA DE ENSAMBLE DE TAPAS | ST | Manipulación de Tapas Ventosa | Posicionamiento y Ensamble de Tapas Actuadores Neumáticos | |

Cuadro 22. Características Técnicas de Diseño

| | | |
|--|--------------------------------|------------|
| Uso de accesorios bajo Norma y estándares técnicos usados en el Ecuador | | 33% |
| Disminuir peso del bastidor | < 30kg | 20% |
| Disminuir Deformación por Esfuerzos | <0.001m | 18% |
| Disminuir la capacidad del sistema neumático | < 0.015m³ | 12% |
| Disminuir el tamaño de actuadores y mecanismos | < 0.6m | 9% |
| Disminuir el área que ocupa el módulo | < 0.064m² | 5% |
| Alto factor de seguridad ante Esfuerzos | < 3.5 | 2% |

Cuadro 23. Lineamientos del Proyecto

Establecer un **sistema estructural base...** ... donde se colocarán los componentes y accesorios mecánicos

Definir un **sistema de tarjetas electrónicas** que faciliten la interacción entre el módulo y el usuario para obtener un control **eficaz y flexible.**

Considerar en la implementación... **la manufactura** de los elementos **a la compra o importación** de los mismos **basándose en los costos ofertados** por los proveedores y productores.

Establecer un **sistema de evaluación de desempeño**... ..tomando en consideración las habilidades que se desea potencializar con el módulo: **control por micro controladores,** control por **PLCs,** uso de **Software** de simulación industrial **Automation Studio.**

Conceptualizar la información **para soporte, uso y operación** del módulo..

Aún con un planteamiento exhaustivo en las fases I y II del modelo descriptivo lineal (Cuadro 1) es muy probable que en la etapa de diseño detallado (fase III) aparezcan nuevas variables, múltiples soluciones de diseño y posibles amenazas al proyecto que deberán ser abordadas técnicamente con el fin disminuir el grado heurístico en la toma de decisiones. La herramienta que usaremos para este fin será la matriz morfológica.

Estas matrices morfológicas que serán planteadas en este capítulo son diferentes a la matriz planteada en la fase II de diseño (Diseño preliminar CAP II). Estas nuevas matrices contarán con las características de diseño (Tabla 6) anteriormente definidas, y las nuevas características que se generen serán valoradas con el promedio de los pesos de las características QFD (14%).

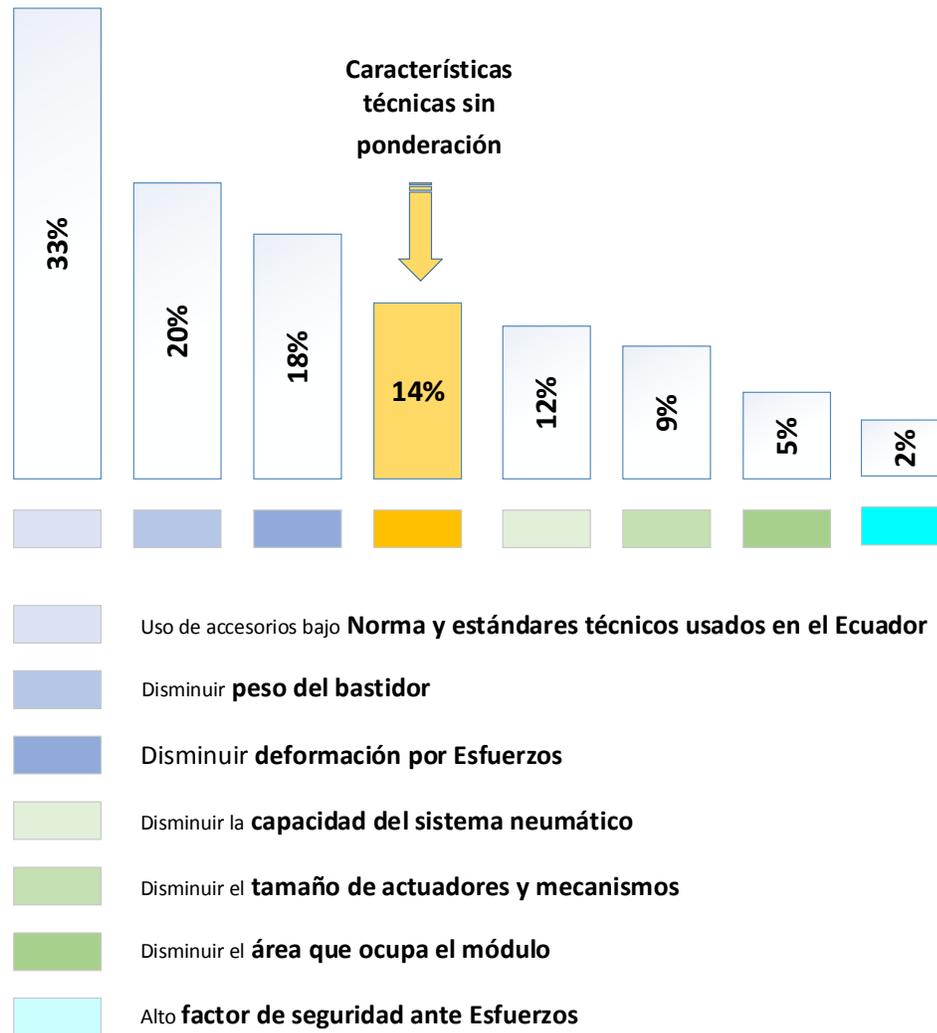
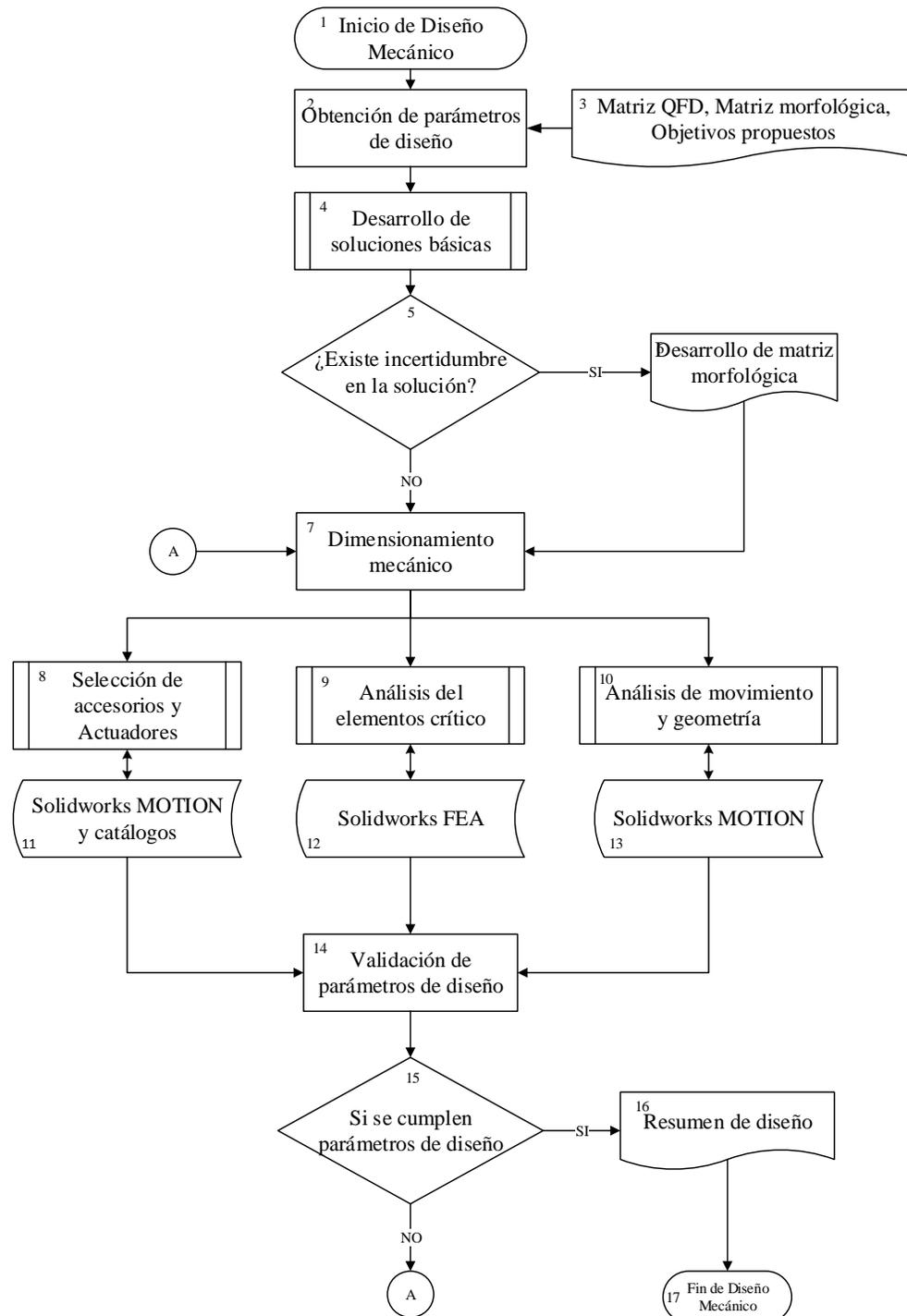


Figura 16 Ponderación Porcentual de características Técnicas

3.2 Diseño mecánico

3.2.1 Planteamiento de diseño Mecánico

Cuadro 24. Modelo de diseño Mecánico



El Diseño Mecánico empieza con el planteamiento de las características de diseño relevantes para cada celda de ensamble, es decir, del conjunto de características descritas en los Cuadro 21, Cuadro 23 prescindiremos de las características que no tengan relación con la celda a diseñar.

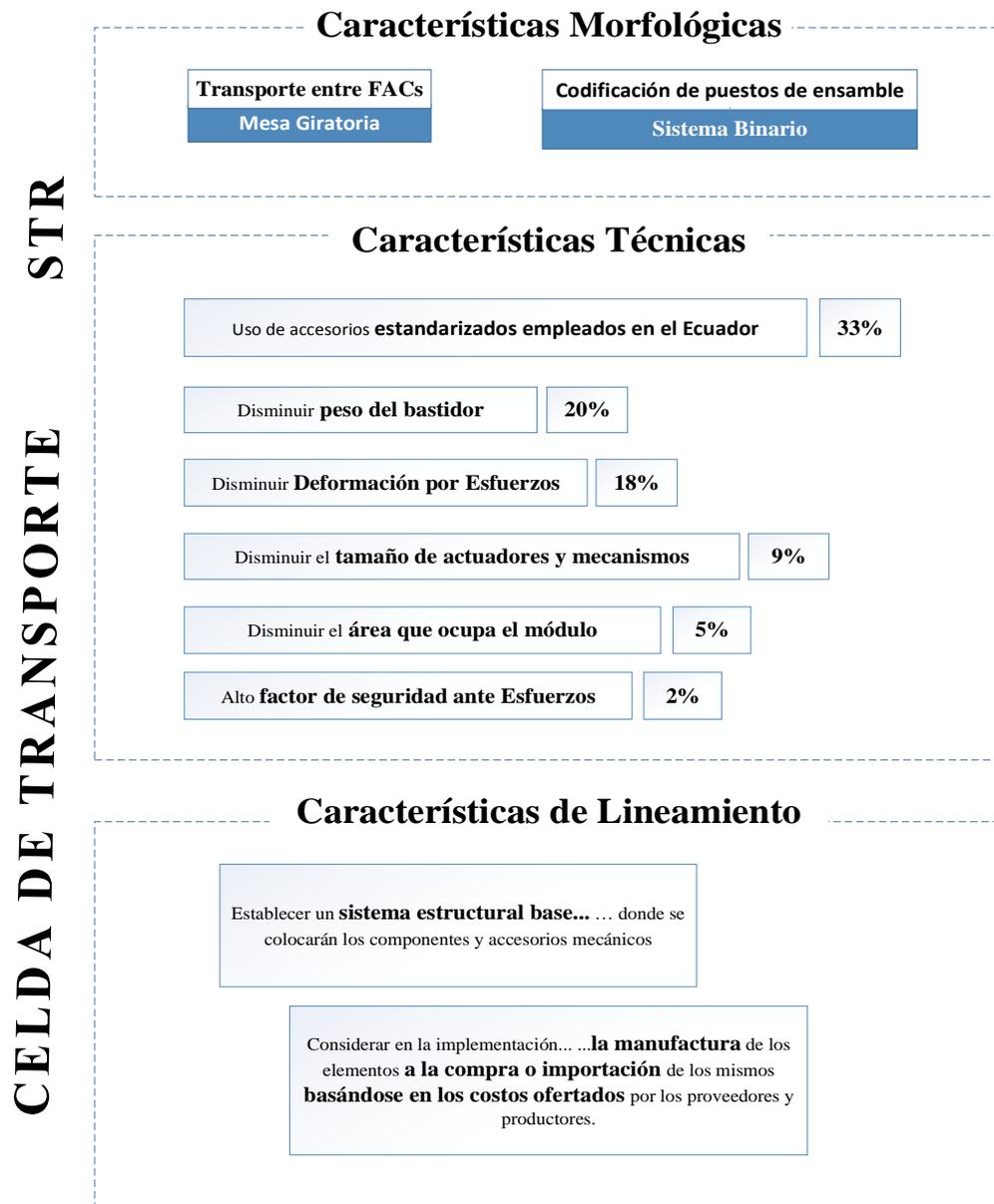
El siguiente paso en el diseño será el planteamiento de soluciones mecánicas a fines a cada celda de ensamble. Sí en el planteamiento de estos modelos mecánicos se desarrollan múltiples soluciones de diseño se elaborará una matriz morfológica que discrimine la solución más apta.

Una vez detallado la morfología del modelo solución se procederá al dimensionamiento de accesorios y actuadores, al análisis de puntos críticos del diseño y evaluación respectiva de cada modelo solución. Para finalizar el diseño a detalle los resultados serán resumidos en tablas técnicas.

3.2.2 Diseño mecánico de la celda flexible de transporte

3.2.2.1 Parámetros de Diseño

Cuadro 25. Parámetros de Diseño - Celda de transporte



3.2.2.2 Modelos de Solución



Figura 17. Planteamiento de modelos de solución a la celda de transporte

Tabla 15. Matriz morfológica aplicada a la celda de transporte

| CELDA | CELDA DE TRANSPORTE | | | PONDERACIÓN DE DISEÑO |
|---|----------------------------------|------|------|-----------------------|
| FUNCIÓN | TRANSPORTE ENTRE FAC | | | |
| ARCHIVO CAD | STR-SISTEMA_DE_TRANSPORTE.SLDASM | | | 20% |
| CONFIGURACIÓN | A | B | C | |
| PESO [kg] | 1,97 | 1,35 | 1,48 | 9% |
| VALORACION | 0,69 | 1,00 | 0,91 | |
| TAMAÑO DEL MECANISMO [m] | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 14% |
| VALORACION | 0,95 | 0,98 | 1,00 | |
| AREA DE MATERIA PRIMA [m ²] | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 14% |
| VALORACION | 0,88 | 0,94 | 1,00 | |
| TOTAL VALORACIÓN | 0,35 | 0,42 | 0,41 | |

De la tabla anterior se concluye que el modelo solución mejor calificado es el diseño descrito en ST-ENSAMBLE_DISCO_DE_TRANSPORTE.SLDASM configuración B de la Figura 17. Planteamiento de modelos de solución a la celda de transporte

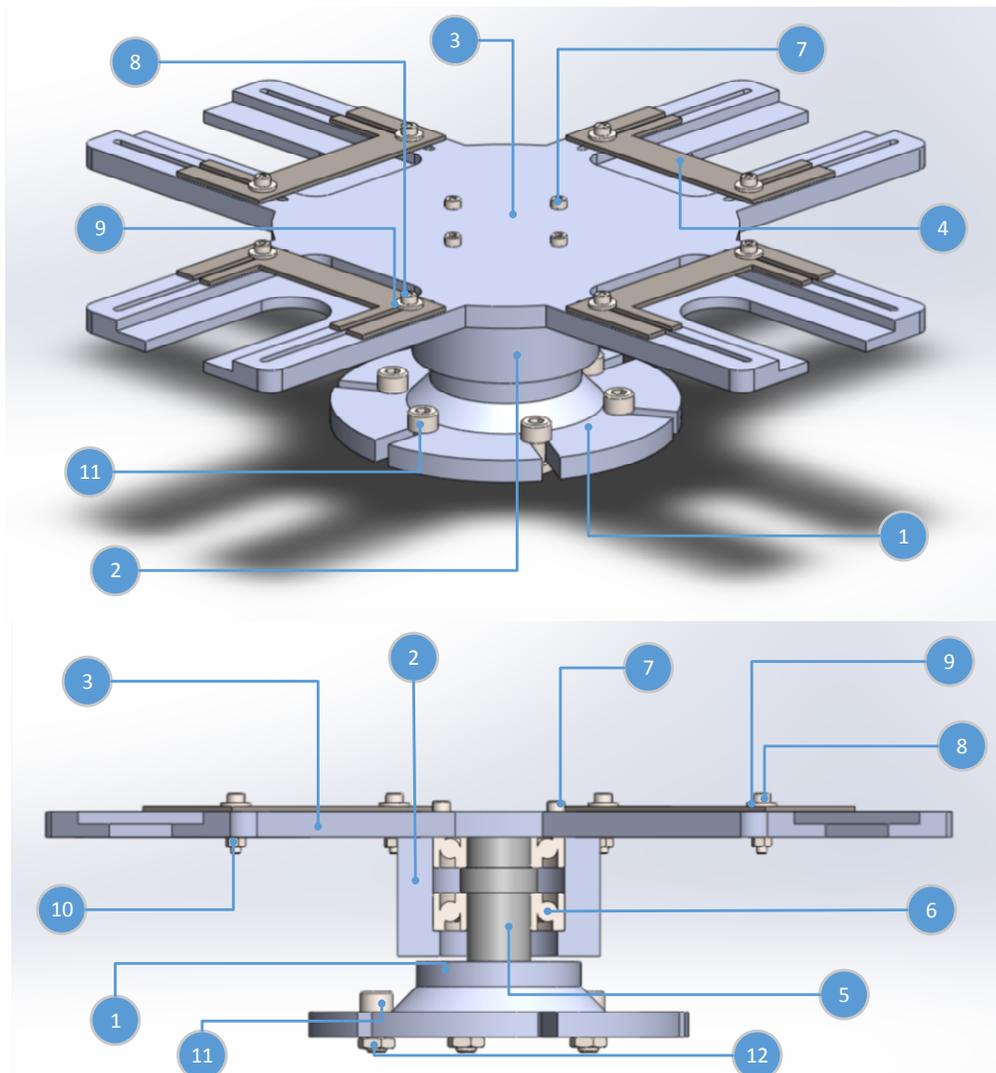


Figura 18. Mesa de Transporte

Tabla 16. Detalle de componentes de la celda de Transporte

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|--------|------------------------|----------|
| 1 | P-BASE | 1 |
| 2 | STR-G-P-BOCIN | 1 |
| 3 | STR-G-P-MESA_GIRATORIA | 1 |
| 4 | STR-G-P-PLACA_SUJECION | 4 |
| 5 | STR-G-P-EJE | 1 |
| 6 | AM-R-7502B | 2 |
| 7-8-11 | AM-S-M520HX | 20 |
| 10-12 | AM-S-TM5 | 20 |
| 9 | AM-S-AM5 | 16 |

El modelo planteado en la Figura 18. Mesa de Transporte, es derivada de la solución seleccionada por la matriz morfológica descrita en la Tabla 16. Este modelo presenta ranuras en cada punta para la sujeción de las piezas base de ensamble.

Esta celda de Transporte girará para posicionar cada pieza base frente a cada estación de ensamble FAC, cabe destacar que tanto el ingreso como salida de una pieza base sobre la mesa giratoria será realizado por el operador.

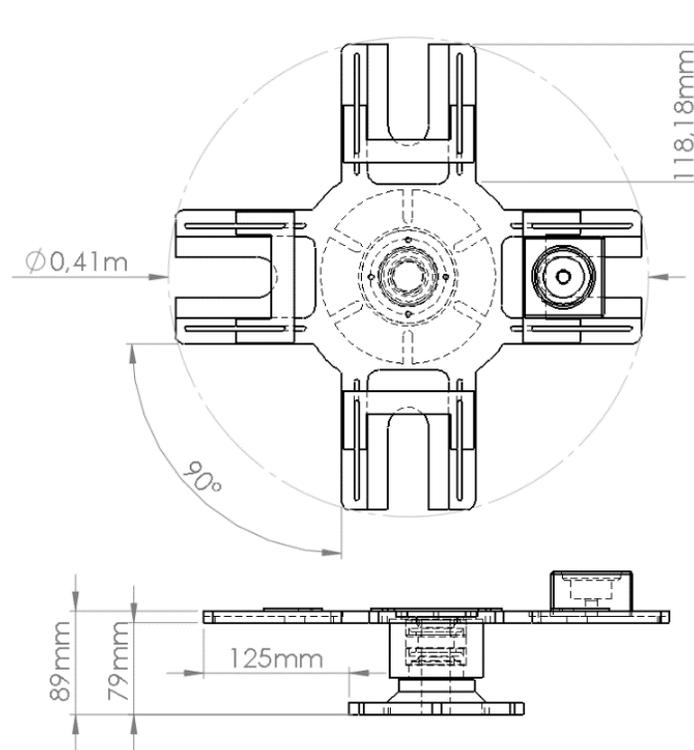


Figura 19. Detalle geométrico de la celda de Transporte

3.2.2.3 Dimensionamiento Mecánico

3.2.2.3.1 Análisis de componente crítico.

El punto crítico para la celda de Transporte es la deformación que la mesa giratoria pueda llegar a tener debido a las cargas sobre cada pieza base de ensamble. La deformación permitida en el diseño es $<0.001\text{m}$ (Tabla 6), por lo que es necesario precisar la carga máxima sobre la mesa giratoria.

Cada ensamble completo (pieza base, disco, eje y tapa) pesa alrededor de 250g pero el diseño contemplará una carga mayor con el fin de detallar el límite permisible sobre la mesa giratoria.

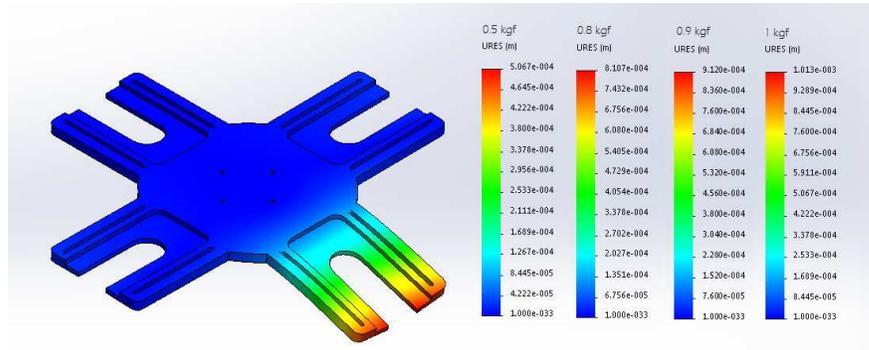


Figura 20. Análisis FEA – Deformación por carga sobre Mesa giratoria

En base al análisis de elementos finitos (Figura 20. Análisis FEA – Deformación por carga sobre Mesa giratoria) podemos aseverar que la carga máxima sobre la mesa giratoria en cada posición de ensamble es de aproximadamente 900g. Con el mismo análisis también se encontró que el factor de seguridad ante esfuerzos es aproximadamente 68 siendo este el factor de seguridad más bajo de la celda.

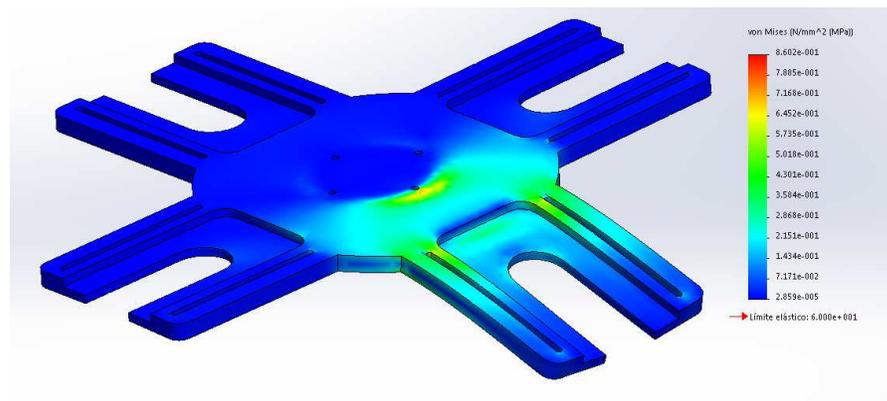


Figura 21. Análisis FEA - Gráfica de esfuerzos según Von Mises

3.2.2.3.2 Dimensionamiento de Rodamientos.

Para analizar las cargas dinámicas sobre los rodamientos se tomó en consideración una velocidad angular de 15 rpm y una carga de 900g (carga máxima sobre la mesa giratoria) por estación de ensamble.

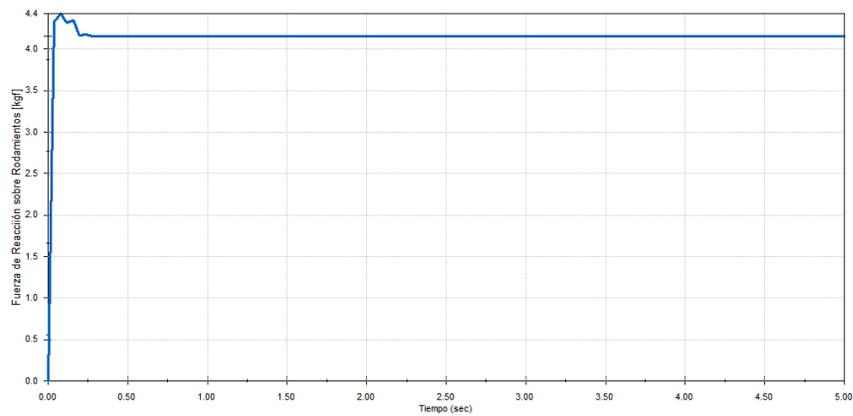
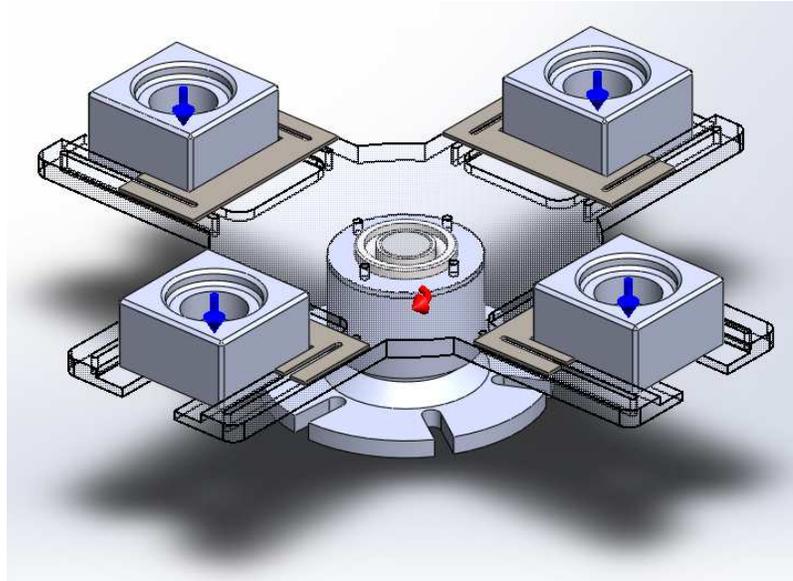


Figura 22. Celda de Transporte - Simulación Dinámica y Fuerza sobre Rodamientos

Dada la naturaleza axial de la carga sobre los rodamientos es necesario precisar que los mismos deben de ser de contacto angular. Por otro lado, los rodamientos disponibles en el país son usualmente utilizados para repuestos de maquinaria, por esta

razón los rodamientos de carga y tamaño más bajo disponibles en el mercado local son los rodamientos 7205B.

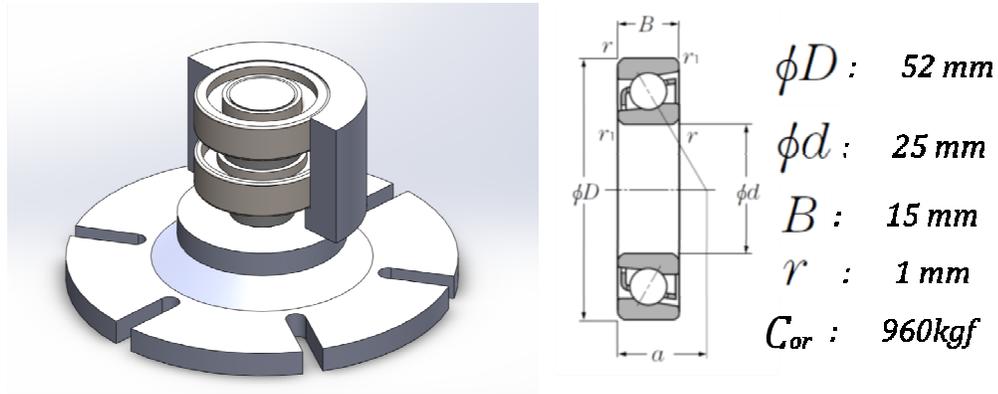


Figura 23. Características técnicas del Rodamiento 7205B NTN

Para precisar el factor de seguridad de los rodamientos debemos tomar en cuenta que la fuerza radial sobre los ellos es prácticamente nula, la carga axial es de aproximadamente 4.4 kgf (Figura 22. Celda de Transporte - Simulación Dinámica y Fuerza sobre Rodamientos), y la disposición de los rodamientos es de tipo DF. De esta forma las ecuaciones que rigen el factor de seguridad de los rodamientos son:

$$S_0 = \frac{C_{or}}{P_{or}}$$

$$P_{or} = F_r + 0.66 \cdot F_a$$

$$\text{donde: } F_r = 0 \cdot \text{kgf} \quad F_a = 4.4 \cdot \text{kgf} \quad C_{or} = 960 \cdot \text{kgf}$$

$$\therefore S_0 = 330$$

Este factor de seguridad S_0 es alto debido a que este tipo de rodamientos por lo general están sometidos a cargas producidas por el funcionamiento de mecanismos propios de un automóvil.

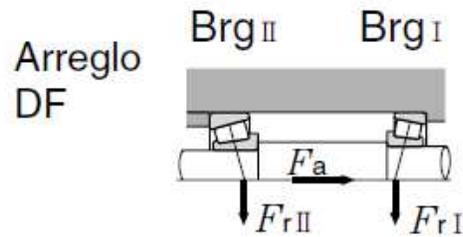


Figura 24. Disposición DF de rodapiamientos tabla 4.5 de catálogo NTN

3.2.2.3.3 Dimensionamiento de Torque Requerido

Para realizar el dimensionamiento del motor que permitirá accionar la mesa giratoria debemos encontrar el mínimo torque que este actuador debe tener. Para este fin se simuló en SolidWorks Motion el movimiento de la mesa giratoria en base a las siguientes graficas que describen la cinemática del sistema:

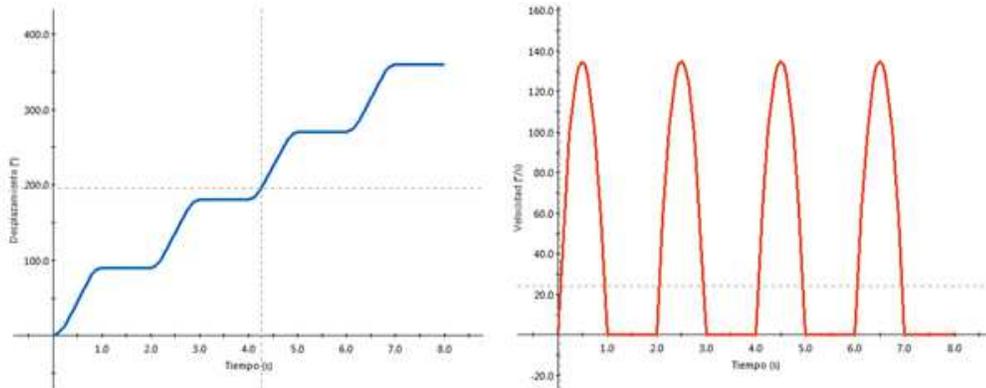


Figura 25. Grafica Desplazamiento y velocidad angular del Sistema de transporte

Con estas características de simulación y una carga de 900g por cada puesto de ensamble se encontró que el torque requerido por un motor asociado a este sistema es de aproximadamente $8.8 \cdot \text{kgf} \cdot \text{cm}$ como muestra la Figura 26. Celda de Transporte - Torque Requerido por el actuador Rotativo)

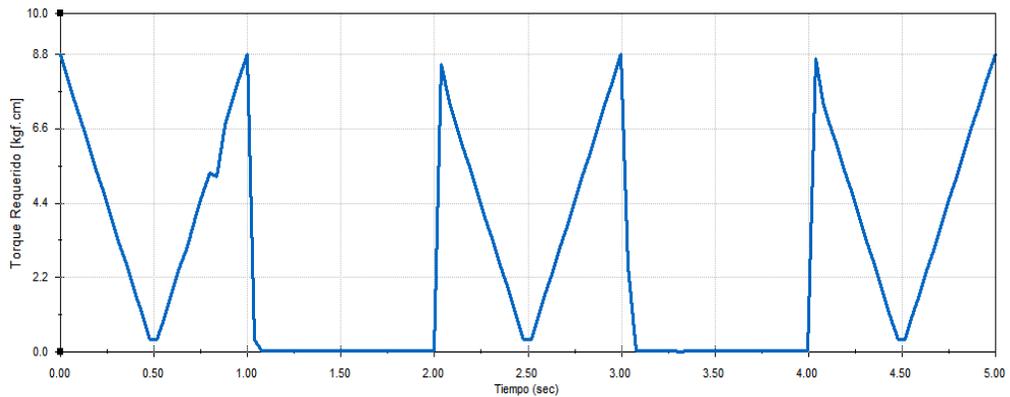


Figura 26. Celda de Transporte - Torque Requerido por el actuador Rotativo

Considerando la Figura 25. Grafica Desplazamiento y velocidad angular del Sistema de transporte) que describe el comportamiento cinemático del sistema podemos apreciar que la mesa giratoria se desplaza 90° y luego se detiene, después de un segundo vuelve a girar 90° y nuevamente se detiene. Esta configuración en la cinemática de sistema permite considerar la inercia del mecanismo y aproximar de mejor manera el torque del motor asociado a este movimiento.

El actuador eléctrico seleccionado para esta función es un motor a pasos unipolar (SY57STH56-1006) con un torque de freno o arranque de 9 kgf.cm.



Figura 27. Motor a pasos SY57STH56-1006
(Pololu, 2014)

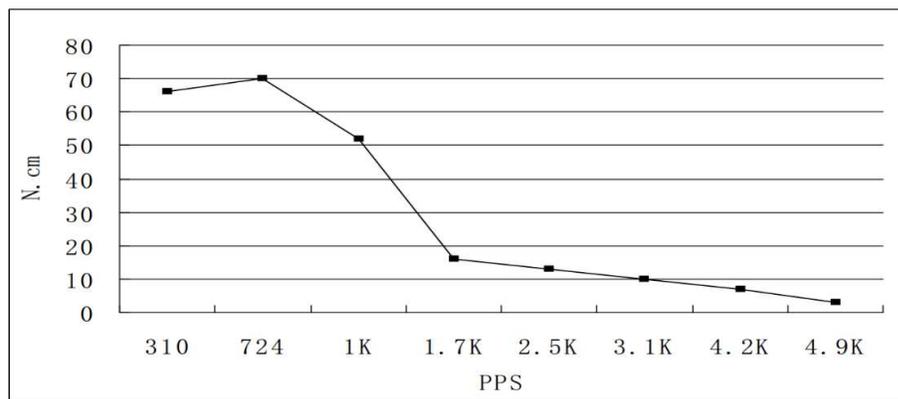


Figura 28. Torque generado por el motor SY57STH56-1006
(Pololu, 2014)

3.2.2.4 Resumen de diseño

Tabla 17. Características Generales - Celda de Transporte

| CARACTERISTICAS GENERALES | |
|--|-----------------------------------|
| NOMBRE DE LA CELDA | Celda de Transporte |
| FUNCIÓN DE LA CELDA | Movilizar piezas bases entre FACs |
| PREFIJO DE REFERENCIA DEL SISTEMA | ST |
| ARCHIVO CAD DE ENSAMBLE DEL SISTEMA | ST-CELDA_DE_TRANSPORTE.sldasm |
| PESO DEL SISTEMA | 1.27 kg |
| LONGITUD MÁXIMA DEL SISTEMA | 0.41 m |
| MÁXIMA CARGA SOBRE EL SISTEMA | 0.9 kg (por posición de ensamble) |
| FACTOR DE SEGURIDAD ANTE ESFUERZOS (S_0) | 68 |
| NOMBRE PARTE (S_0) | STR-MESA_GIRATORIA.sldprt |
| DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (Df_0) | 0.0009m |
| NOMBRE DE PARTE (Df_0) | STR-MESA_GIRATORIA.sldprt |
| ACTUADORES EN EL SISTEMA | 1 x Motor a paso (SY57STH56-1006) |
| ACCEOSRIOS EN EL SISTEMA | 2 x Rodamientos (DIM-7205B NTN) |

Tabla 18. Características de motor - Celda de transporte

| CARACTERISTICAS DE MOTOR ST-M-SY57STH56_1006 | |
|--|-------------------------|
| TORQUE DEL ACTUADOR | 9 N.m |
| FACTOR DE SEGURIDAD EN TORQUE | 1.02 |
| VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN | 7V |
| CORRIENETE NOMINAL | 1A |
| FORMA DE CONTROL | Pulsos por segundo (Hz) |
| VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO | 15 RPM (aprox. 1Hz) |

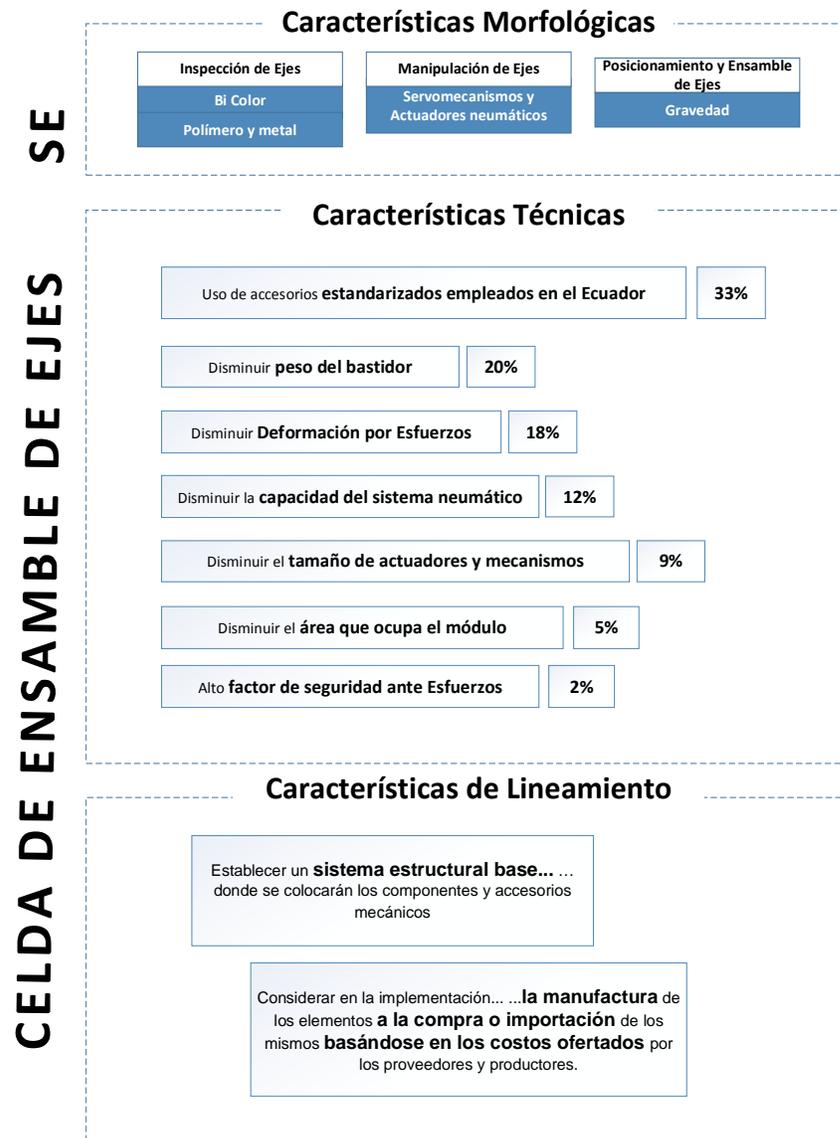
Tabla 19. Características de rodamiento - Celda de Transporte

| CARACTERISTICAS DE RODAMIENTO ST-R-7205B | |
|--|--------------------------------|
| CARGA DEL RODAMIENTO | 9.4 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD | 330 |
| TIPO DE RODAMIENTO | Rodamiento de contacto angular |

3.2.3 Diseño mecánico de la celda de ensamble de ejes

3.2.3.1 Parámetros de Diseño

Cuadro 26. Parámetros de diseño – Celda de ensamble de ejes



El Cuadro 26. Parámetros de diseño – Celda de ensamble de ejes) muestra los parámetros de diseño sobre los cuales se basara el desarrollo de la celda de ensamble de ejes, los primeros parámetros a ser considerados son los arrojados de la matriz morfológica que especifica el tipo de material a inspeccionar (metal y plástico), el posicionamiento y ensamble de ejes será por gravedad y la manipulación del eje por servo mecanismos y actuadores neumáticos. Para la manipulación y el posicionamiento del eje se plantea dos posibles soluciones detalladas en la Figura 29.

3.2.3.2 Modelos de solución



Figura 29. Soluciones planteadas para la celda de ensamble de ejes

Para la discriminación de los dos modelos planteados se propone evaluar los siguientes parámetros de diseño: peso (kg), piezas manufacturadas y número de actuadores. Los parámetros de piezas manufacturadas y número de actuadores no pertenecen al conjunto de características técnicas arrojadas por la matriz QFD por lo tanto su valoración será 14% (promedio de características técnicas QFD).

Tabla 20. Matriz morfológica para manipulación de la celda de ensamble de ejes

| CELDA | CELDA DE ENSAMBLE DE EJES | | PONDERACIÓN DE DISEÑO |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------|-----------------------|
| FUNCION | MANIPULACION DE EJES | | |
| ARCHIVO CAD (A) | SE-ENSAMBLE_TORRES_VERTICALES.SLDASM | | |
| ARCHIVO CAD (B) | SE-ENSAMBLE_MESA_GIRATORIA.SLDASM | | |
| | MODELO A | MODELO B | |
| PESO [kg] | 2,30 | 2,70 | 19% |
| VALORACION | 1,00 | 0,85 | |
| N° DE PIEZAS MANUFACTURADAS | 21 | 11 | 14% |
| VALORACION | 0,52 | 1,00 | |
| N° DE ACTUADORES | 4 | 3 | 14% |
| VALORACION | 0,75 | 1,00 | |
| TOTAL VALORACIÓN | 0,38 | 0,45 | |

La tabla 19 muestra que la mejor opción es el modelo descrito en SE-MESA_GIRATORIA.SLDASM (modelo A) al tener la mayor ponderación de las características evaluadas. Con este diseño preliminar se procederá a dimensionar y evaluar los componentes acorde a los parámetros de diseño obtenidos de la matriz QFD.

Como primera instancia se especifica los componentes y actuadores del sistema de ensamble de ejes, el cual consta de dos actuadores neumáticos (cilindros de doble efecto) para el ensamble del eje y un actuador eléctrico que generar el movimiento giratorio que conjuntamente con los sensores facilita la discriminación del material del eje. La Figura 30 muestra los componentes y actuadores que forman parte del sistema de ensamble de ejes.

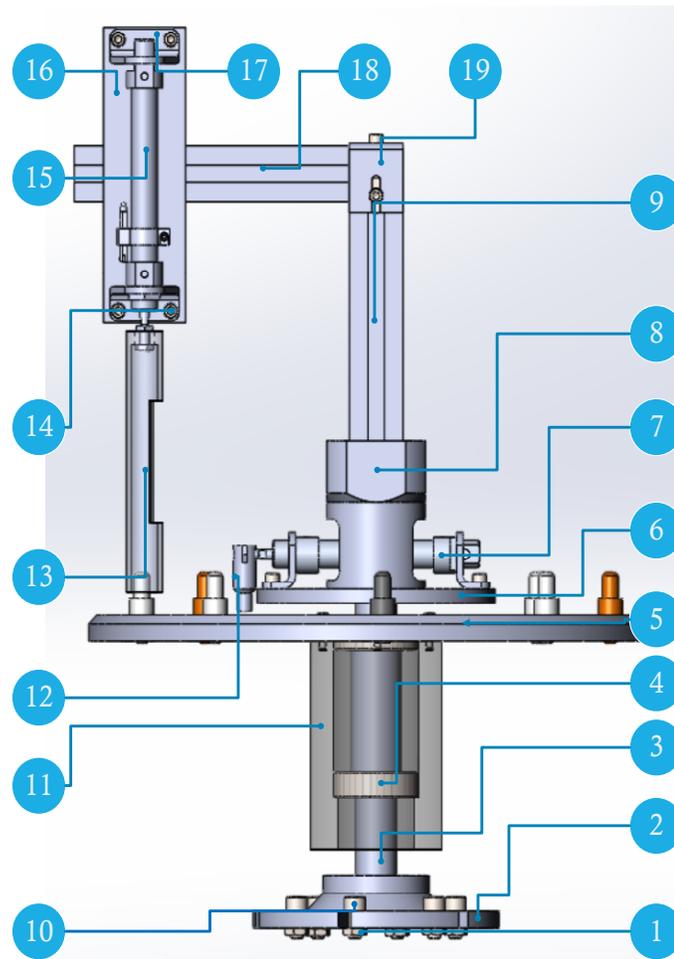


Figura 30. Diagrama de componentes de la celda de ensamble de ejes

Tabla 21. Detalle de componentes de la celda de ensamble de ejes

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|-------|-----------------------|----------|
| 1-14 | AM-S-TM8 | 19 |
| 2 | P-BASE | 1 |
| 3 | SE-G-P-EJE | 1 |
| 4 | AM-R-7205B | 2 |
| 5 | SE-G-P-MESA_GIRATORIA | 1 |
| 6 | SE-X-P-BASE | 1 |
| 7 | SE-X-CL-65016D | 1 |
| 8 | SE-X-P-CONECTOR | 1 |
| 9 | AM-PERFIL | 2 |
| 10-14 | AM-S-M516HX | 19 |

CONTINUA ⇨

| | | |
|-----------|------------------------------|----------|
| 11 | SE-G-P-BOCIN | 1 |
| 12 | SE-X-P-PALANCA | 1 |
| 13 | SE-V-P-BOCIN_GUIA | 1 |
| 15 | SE-V-CL-68016D | 1 |
| 16 | SE-V-P-PLCA_SOPORTE_CILINDRO | 1 |
| 17 | AM-MONTAJE_LB_CILINDRO | 4 |
| 18 | AM-PERFIL | 2 |
| 19 | SE-V-P-PLACASOPORTE_PERFIL | 2 |

3.2.3.3 Dimensionamiento mecánico de la celda de ensamble de ejes

3.2.3.3.1 Dimensionamiento de actuadores

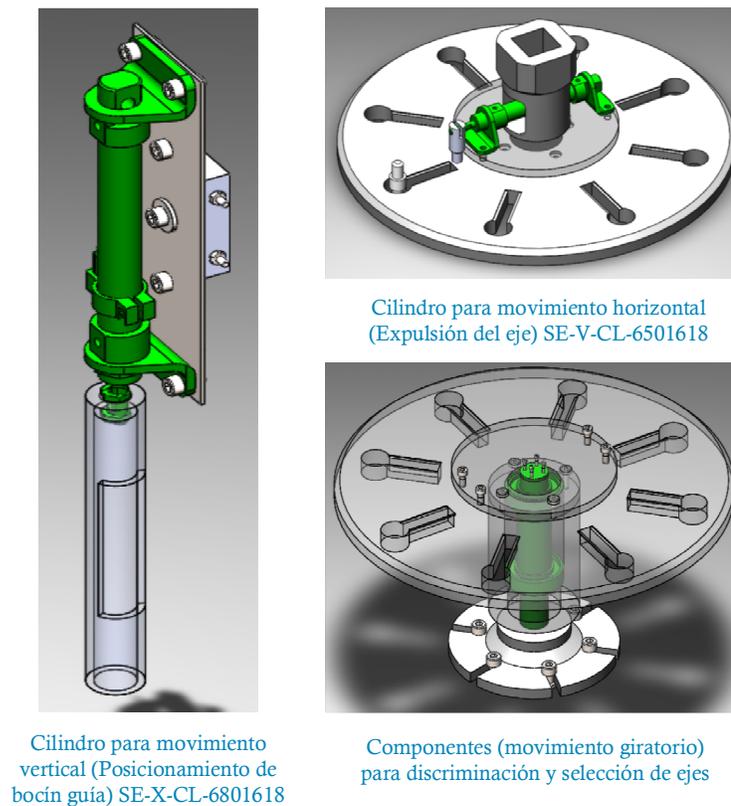


Figura 31. Actuadores de la celda de ensamble de ejes

Para dimensionar los actuadores neumáticos lineales (cilindros) se precisa determinar la fuerza mínima de funcionamiento y el diámetro de la camisa necesario para generar dicha fuerza a una presión de 6 bar, para lo cual, se simula en la

plataforma SolidWorks Motion el movimiento de los actuadores lineales en base a las curvas de desplazamiento y velocidad lineal descritas en las figuras Figura 32 y Figura 33.

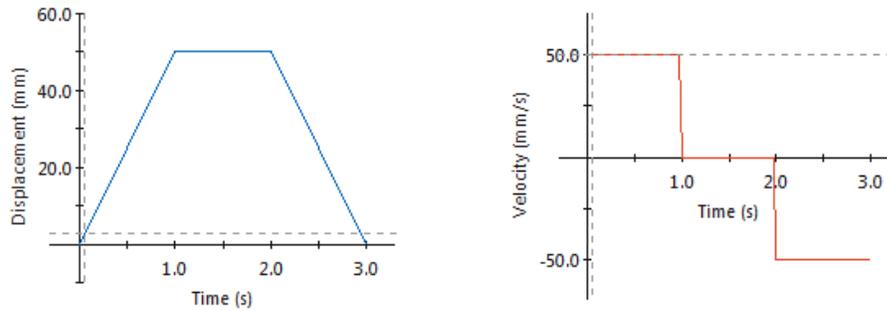


Figura 32. Curvas de desplazamiento y velocidad lineal para el cilindro SE-V-CL-65016D

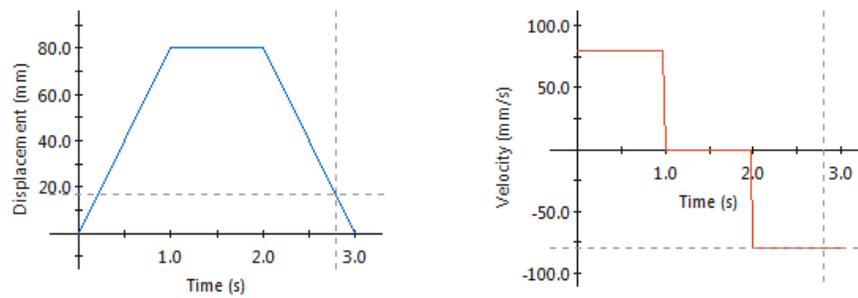


Figura 33. Curvas de desplazamiento y velocidad lineal para el cilindro SE-X-CL-68016D

Con estas características se determinó que la fuerza mínima requerida es de 1.26 [N] y 1.13 [N] respectivamente.

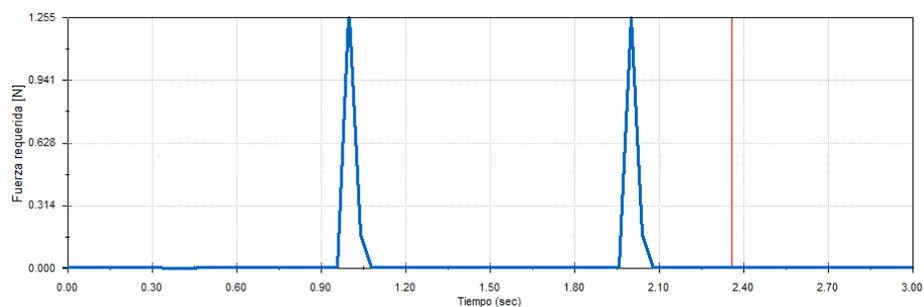


Figura 34. Curva de fuerza para el cilindro SE-X-CL-6501618D

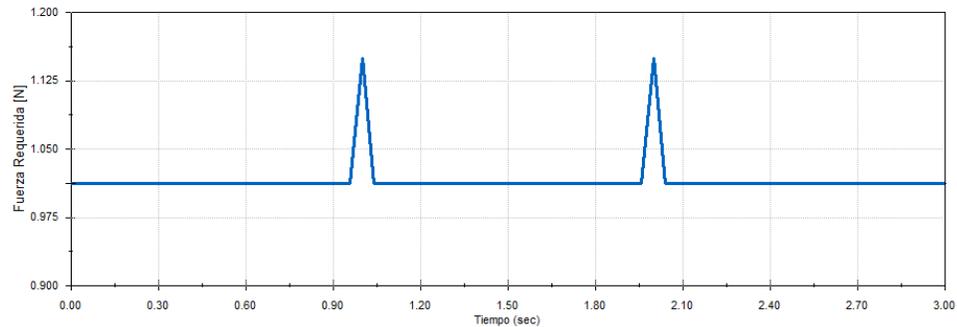


Figura 35. Curva de fuerza para el cilindro SE-V-CL-6801618

A partir de la definición de las curvas de fuerza sobre los actuadores neumáticos (Figura 34 y Figura 35) se plantean las siguientes ecuaciones para encontrar el diámetro mínimo de los cilindros neumáticos.

$$F = 10 \cdot p \cdot \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4} \right)$$

Donde:

F: Fuerza de aplicación del cilindro neumático [N]

p: Presión de funcionamiento [bar]

d: Diámetro del cilindro neumático [cm]

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{máxima}}{10 \cdot p \cdot \pi}}$$

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1.26 [N]}{10 \cdot 6 [bar] \cdot \pi}}$$

$$d \geq 1.63 [mm]$$

Se toma como diámetro inicial 8 [mm] a una presión de 6 [bar] para plantear las siguientes ecuaciones:

$$d = 0.8 \text{ [cm]} \quad p = 6 \text{ [bar]}$$

$$F_{teorica} = 10 \cdot 6 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.8^2}{4} \right) \quad F_{teorica} = 30.144 \text{ [N]}$$

Para determinar el factor de seguridad se divide la fuerza teórica calculada para la fuerza obtenida de la simulación de movimiento (Figura 34 y Figura 35) con lo cual se obtiene el siguiente resultado:

$$S_0 = \frac{F_{teorica}}{F_{requerida}}$$

$$F_{requerida} = 3.57 \text{ [N]}$$

$$S_0 = \frac{30.144}{1.255} \quad S_0 = 24.02$$

Los resultados obtenidos en el cálculo de la *fuerza_{teorica}*, del factor seguridad y del diámetro mínimo se muestran en la Tabla 22. Dimensionamiento de cilindros de 8mm para la celda de ensamble de ejes.

Tabla 22. Dimensionamiento de cilindros de 8mm para la celda de ensamble de ejes

| Cilindro (Código) | Carrera [mm] | Diámetro inicial [cm] | Presión (bar) | MICRO | | | |
|----------------------|-----------------|--------------------------|------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|------------------|
| | | | | Fuerza Teórica [N] | Fuerza Requerida [N] | Factor de seguridad | Diámetro [mm] |
| SE-V-CL- 6801618 | 80 | 0,8 | 6 | 30,144 | 1,255 | 24,02 | 1,63 |
| SE-X-CL- 6501618 | 50 | 0,8 | 6 | 30,144 | 1,2 | 25,12 | 1,60 |

El diámetro obtenido de 8 [mm] no es accesible en el mercado nacional por lo cual fue necesario determinar un nuevo diámetro que tenga accesibilidad inmediata llegando así a un diámetro óptimo de 16 [mm].

Tabla 23. Dimensionamiento de cilindro de 16mm para la celda de ensamble de ejes

| Cilindro (Código) | Carrera [mm] | Diámetro inicial [cm] | Presión (bar) | MICRO | | Factor de seguridad | diámetro [mm] |
|-------------------|--------------|-----------------------|---------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | | | Fuerza Teórica [N] | Fuerza Requerida [N] | | |
| SE-V-CL-6801618 | 80 | 1,6 | 6 | 120,576 | 1,255 | 96,08 | 1,63 |
| SE-X-CL-6501618 | 50 | 1,6 | 6 | 120,576 | 1,2 | 100,48 | 1,60 |

3.2.3.3.2 Dimensionamiento de Rodamientos.

Para analizar las cargas dinámicas sobre los rodamientos se tomó en consideración una velocidad angular de 15 rpm y una carga de 2 kg.

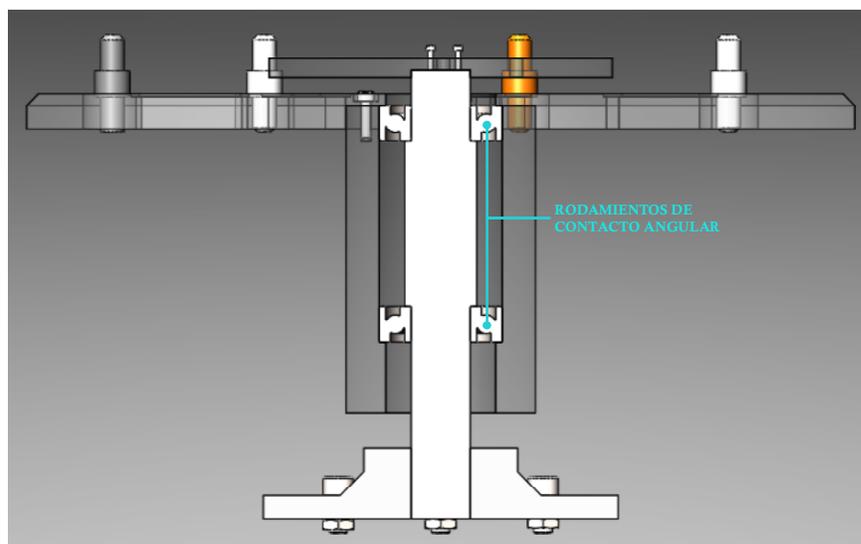


Figura 36. Rodamientos de contacto angular celda de ensamble de ejes

Al igual que la celda de transporte la naturaleza de la carga sobre los rodamientos es de tipo axial, por ende, el tipo de rodamiento más idóneo es uno de contacto angular como lo muestra la Figura 36. La serie del rodamiento es la misma que la usada en la celda de transporte (7205B).

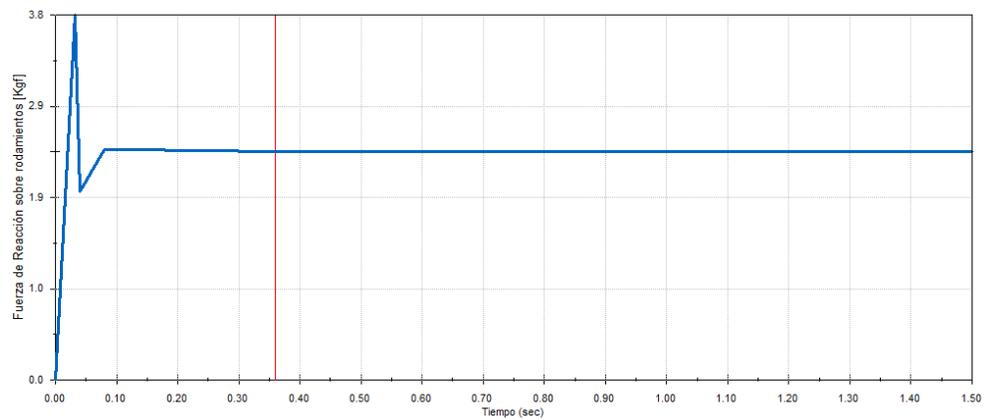
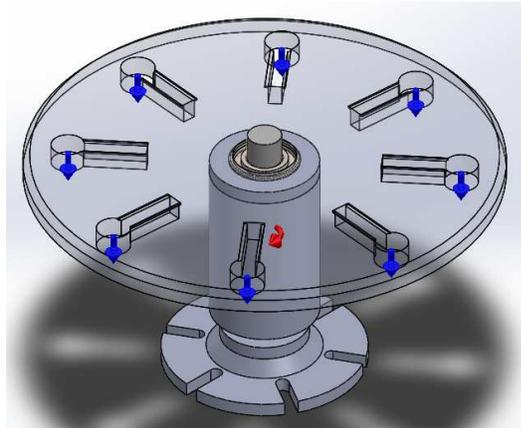


Figura 37. Celda de ensamble de ejes - Simulación Dinámica y Fuerza sobre Rodamientos

Para precisar el factor de seguridad de los rodamientos debemos tomar en cuenta que la fuerza radial sobre los ellos es prácticamente nula, la carga axial es de aproximadamente 3.8 kgf (Figura 37), y la disposición de los rodamientos es de tipo DF. De esta forma las ecuaciones que rigen el factor de seguridad de los rodamientos son:

$$S_0 = \frac{C_{or}}{P_{or}}$$

$$P_{or} = F_r + 0.66 \cdot F_a$$

$$\text{donde: } F_r = 0 \cdot \text{kgf} \quad F_a = 3.8 \cdot \text{kgf} \quad C_{or} = 960 \cdot \text{kgf}$$

$$\therefore S_0 = 380$$

3.2.3.3 Dimensionamiento de motor

En el dimensionamiento del motor se precisa obtener el mínimo torque necesario para el desplazamiento angular de la mesa giratoria para lo cual se emulo el movimiento del sistema utilizando SolidWorks Motion en base a las curvas mostradas en la Figura 39 que describen la cinemática del sistema.

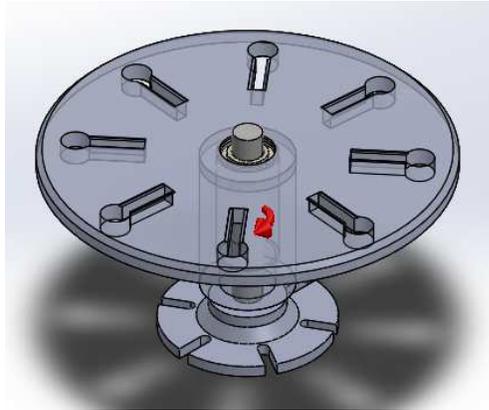


Figura 38. Simulación de movimiento en SolidWorks Motion

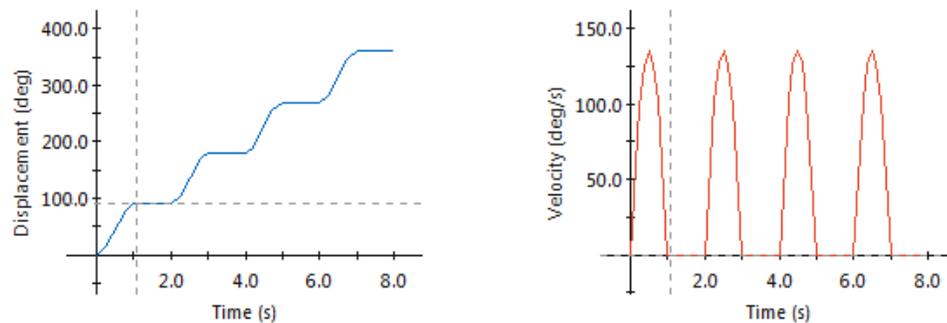


Figura 39. Curva de desplazamiento y velocidad angular de la Celda de ensamble de ejes

Con estas características de simulación se determinó que el torque requerido por un motor asociado a este sistema es de aproximadamente 4 kg. cm .

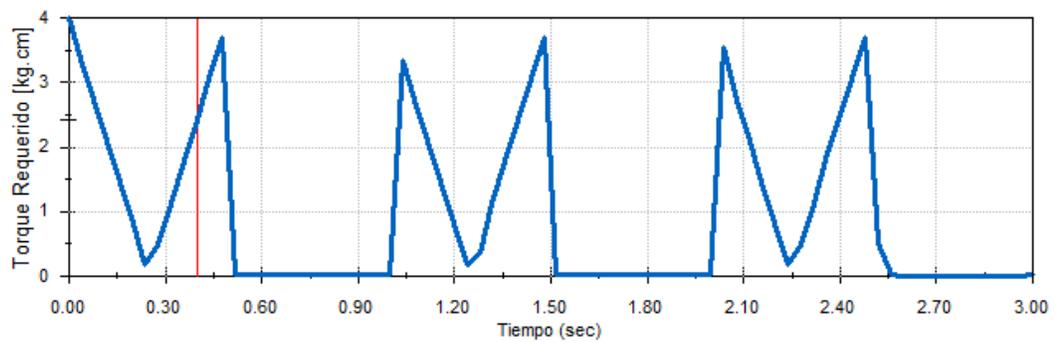


Figura 40. Curva de Torque Requerido al vencer y detener efecto de inercia

El actuador eléctrico seleccionado para esta función es un motor a pasos unipolar (SY57STH56-1006) con un torque de freno o arranque de 9 kg.cm.

3.2.3.3.4 Análisis de componente crítico

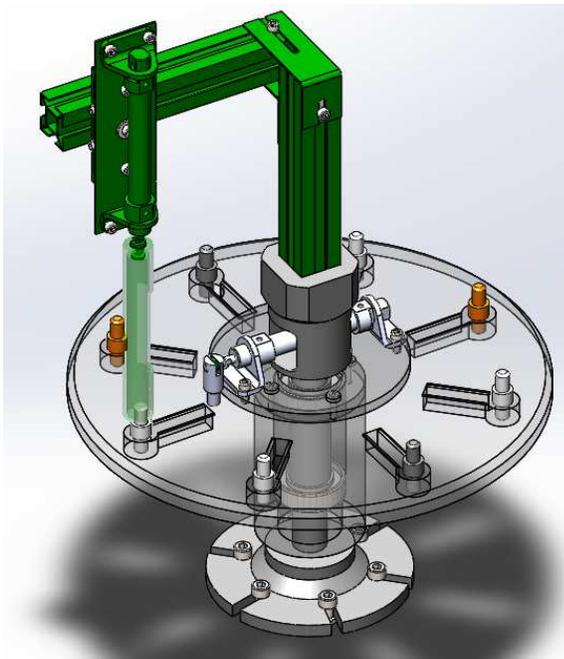


Figura 41. Componentes para análisis de elementos finitos en la celda de ensamble de ejes

La porción del sistema de ensamble de ejes sobre la cual se realizara el análisis de elementos finitos está conformado por los componentes mostrados en la Figura 41.

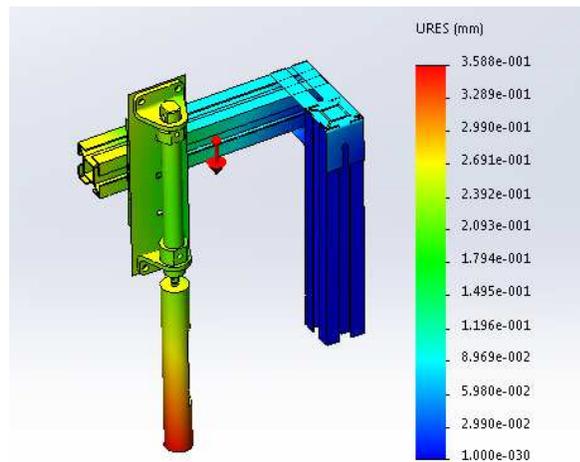


Figura 42. Análisis de deformaciones sobre componentes críticos de la celda de ensamble de ejes

El análisis de elementos finitos sobre la estructura de la Figura 42 determina que la deformación máxima alcanzada por los componentes es menor a 0.35mm siendo este un valor favorable para el sistema al no sobrepasar el rango máximo de deformación (1 mm).

Otro componente que requiere un análisis de elementos finitos es SE-V-P-PLACA_SOPORTE_PERFIL debido a la función que cumple, sosteniendo el perfil de aluminio sobre el cual estará el actuador neumático (SE-V-CL-6801618) y demás componentes.

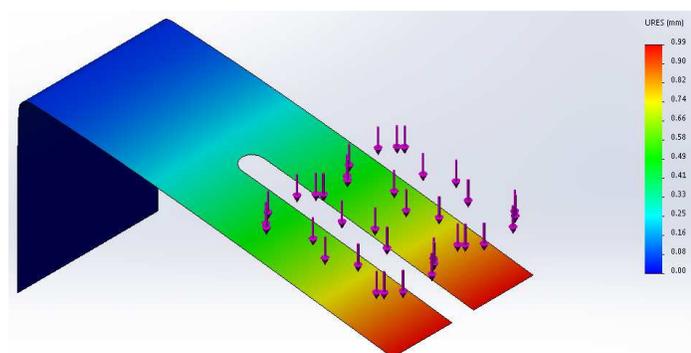


Figura 43. Análisis de deformaciones en el componente SE-V-P-PLACA_SOPORTE_PERFIL

En la Figura 43 se observa que la deformación es de 0.99 [mm] con una carga de 3.5 [N] siendo esta la máxima carga permisible por este componente y consecuencia por la celda de ensamble de ejes.

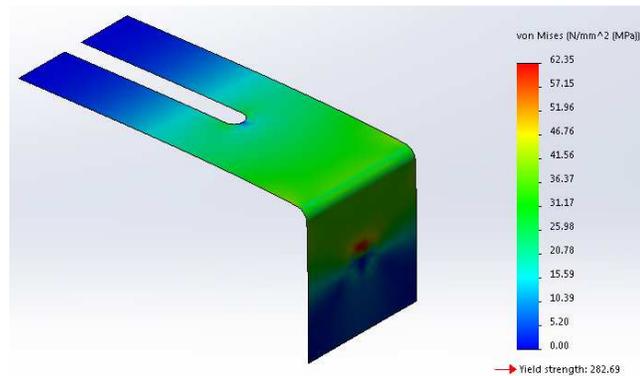


Figura 44. Análisis de esfuerzos en el componente SE-V-P-PLACA_SOPORTE_PERFIL

Analizando la figura 43 y considerando que el límite elástico del acero es 210 MPa se puede describir que:

$$S_0 = \frac{210 \text{ MPa}}{62.35 \text{ MPa}}$$

$$S_0 \approx 3.4$$

3.2.3.4 Resumen de diseño

Tabla 24. Características generales - Celda de ensamble de ejes

| CARACTERÍSTICAS GENERALES | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| NOMBRE DE LA CELDA | Celda de Ensamble de ejes |
| FUNCIÓN DE LA CELDA | Movilizar piezas bases entre FACs |
| PREFIJOS DE REFERENCIA DEL SISTEMA | SE SE-PEH SE-PEV SE-M |
| ARCHIVO CAD DE ENSAMBLE DEL SISTEMA | SE-CELDA_DE_ENSAMBLE_DE_EJES.sldasm |
| PESO DEL SISTEMA | 2.9 kg |
| LONGITUD MÁXIMA DEL SISTEMA | 0.52 m |

CONTINUA 

| | |
|--|--|
| MÁXIMA CARGA SOBRE EL SISTEMA | 0.35 kg |
| FACTOR DE SEGURIDAD ANTE ESFUERZOS (S ₀) | 3.4 |
| NOMBRE PARTE (S ₀) | SE-PEV-AM-PLACA_SOPORTE_PERFIL.sldprt |
| DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (Df ₀) | 0.00035 m |
| NOMBRE DE PARTE (Df ₀) | SE-PEV-ENSAMBLE_CRITICO.sldasm |
| ACTUADORES EN EL SISTEMA | 1 x Motor a pasos (SY57STH56-1006) |
| | 1 x Cilindro de Doble efecto (SE-X-CL-6501618) |
| | 1 x Cilindro de Doble efecto (SE-V-CL-6801618) |
| ACCESORIOS EN EL SISTEMA | 2 x Rodamientos (DIM-7205B NTN) |

Tabla 25. Características de cilindro SE-PEH-CL-65016D

| CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO SE-PEH-CL-65016D | |
|--|------------------------------------|
| FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR | 120 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE | 100 |
| DIAMETRO | 16 mm |
| CARRERA | 50 mm |
| PRESION DE FUNCIONAMIENTO | 6 bar |
| MONTAJE DEL CILINDRO | Tipo LB |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 5/2 (SE-PEH-V-652M) |

Tabla 26. Características de cilindro SE-PEV-CL-68016D

| CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO SE-PEV-CL-68016D | |
|--|------------------------------------|
| FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR | 120 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE | 96 |
| DIAMETRO | 16 mm |
| CARRERA | 80 mm |
| PRESION DE FUNCIONAMIENTO | 6 bar |
| MONTAJE DEL CILINDRO | Tipo LB |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 5/2 (SE-PEV-V-652M) |

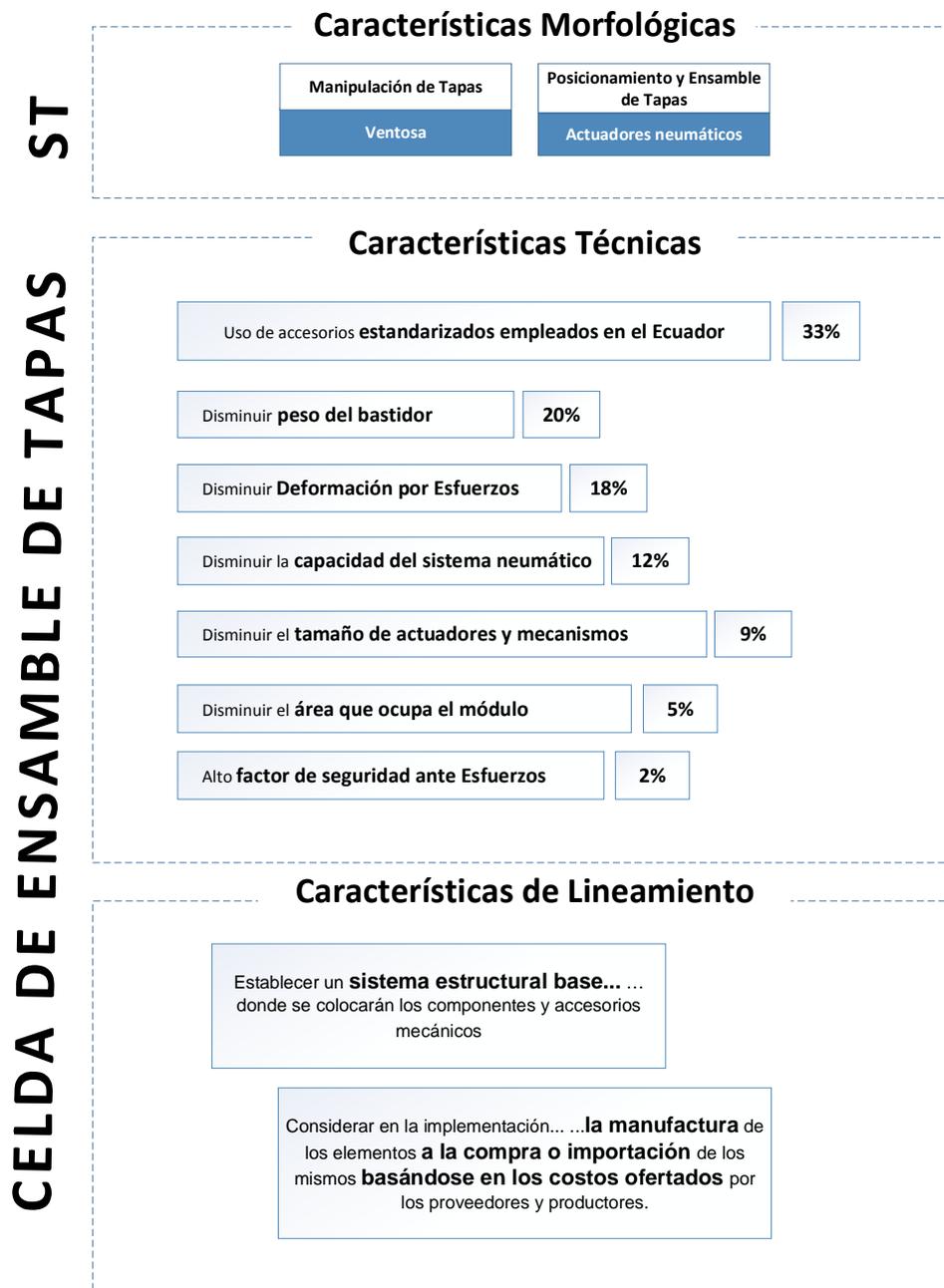
Tabla 27. Características de motor SE-M-M-SY57STH56_1006

| CARACTERÍSTICAS DE MOTOR SE-M-M-SY57STH56_1006 | |
|--|-------------------------|
| TORQUE DEL ACTUADOR | 0.9 N.m |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE | 2.25 |
| VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN | 7V |
| CORRIENTE NOMINAL | 1 ^a |
| FORMA DE CONTROL | Pulsos por segundo (Hz) |
| VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO | 7.5 RPM (aprox. 0.5Hz) |

3.2.4 Diseño mecánico de la celda de ensamble de tapas

3.2.4.1 Parámetros de diseño

Cuadro 27. Parámetros de diseño - Celda de ensamble de tapas



3.2.4.2 Modelo solución

El Cuadro 27. Parámetros de diseño - Celda de ensamble de tapas) muestra los parámetros técnicos del sistema de ensamble de Tapas donde la función de manipulación será realizada por una ventosa y el posicionamiento y ensamble por actuadores neumáticos. Con estos parámetros iniciales se bosqueja la siguiente solución.

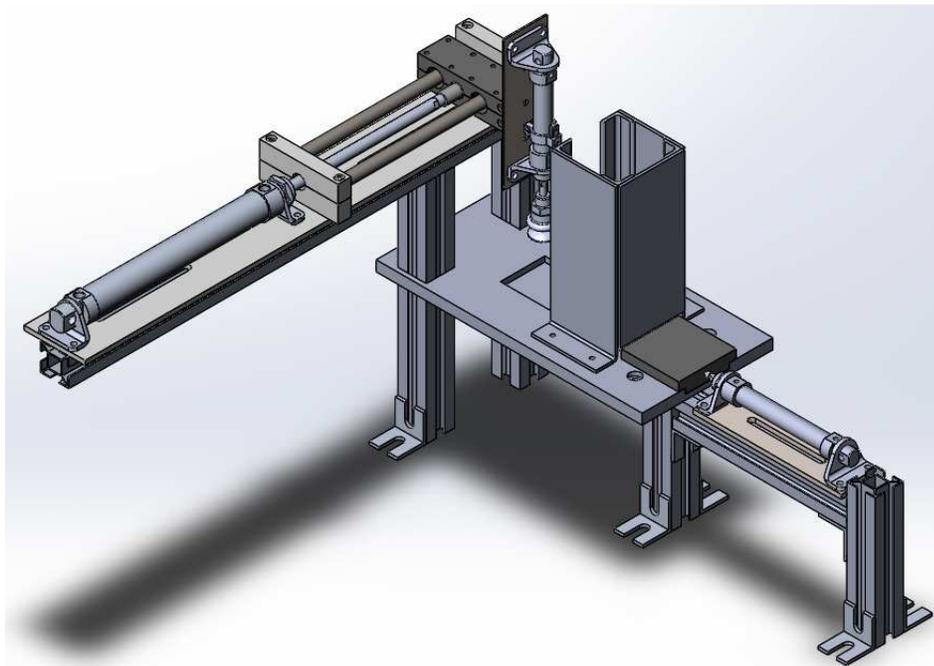


Figura 45. Modelo solución - Celda de ensamble de tapas

La solución mostrada en la Figura 45 ilustra los componentes que forman parte del sistema de ensamble de tapas los cuales están agrupados por funciones para su mejor comprensión. El sistema desempeña tres funciones: posicionamiento, manipulación y almacenamiento del componente a ensamblar, para lo cual se precisa de tres actuadores neumáticos para el posicionamiento (Figura 46 - a), de una ventosa tipo fuelle para la manipulación (Figura 46 - b), y de una torre de gravedad para el almacenamiento de las tapas (Figura 46 - c) con una capacidad máxima de diez unidades.

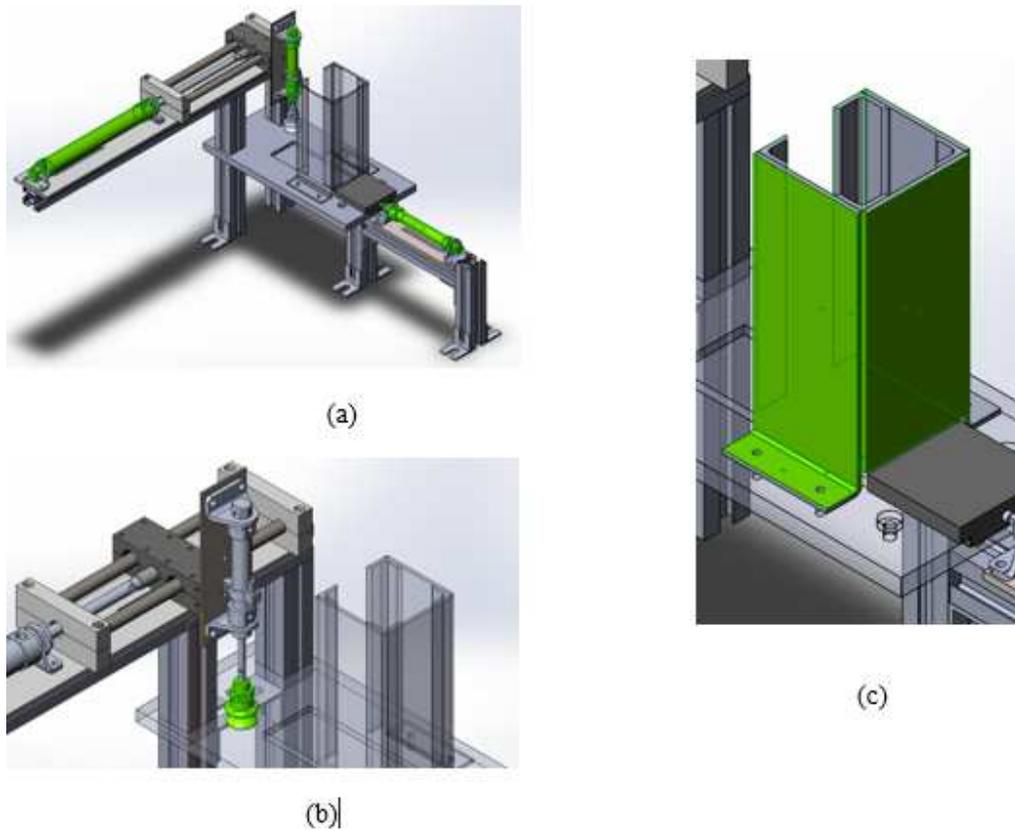
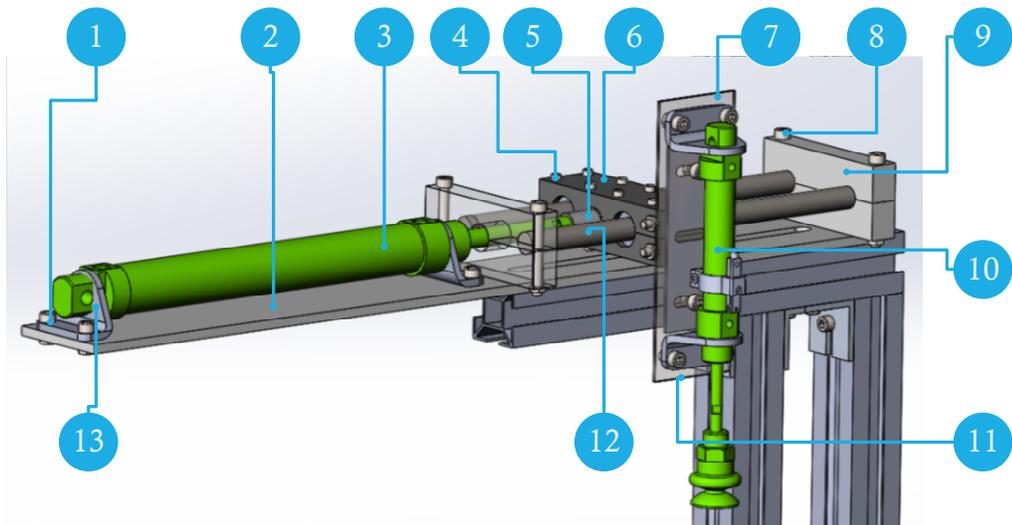
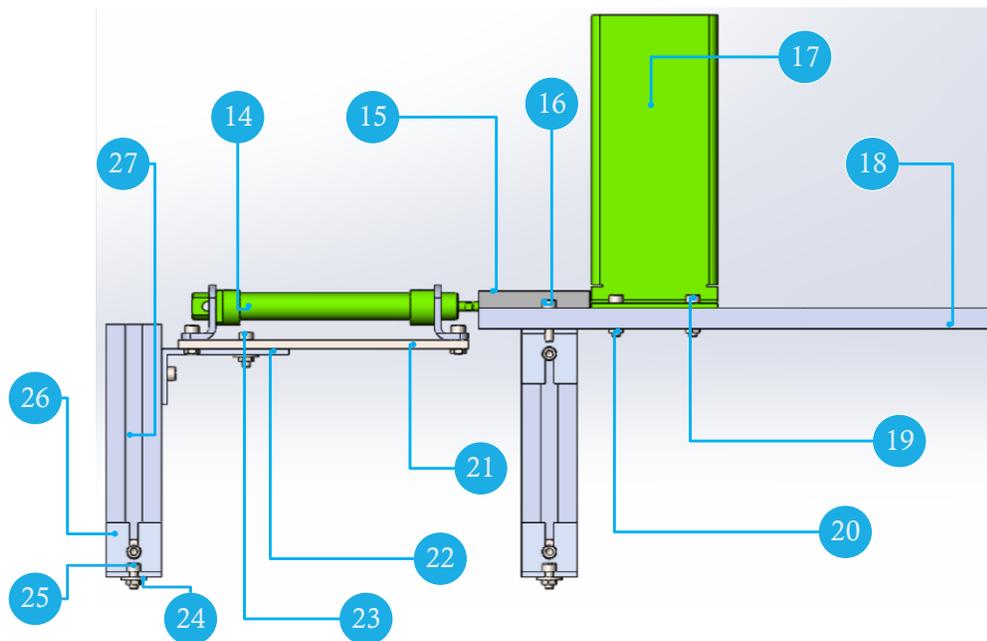


Figura 46. Actuadores neumáticos para posicionamiento y transporte (b) Ventosa para sujeción (c) Torre de gravedad para almacenamiento de tapas

Una vez especificados los componentes principales de la celda de ensamble de tapas se determina la estructura y los elementos necesarios para que la celda flexible de ensamble (FAC) puede cumplir con las funciones asignadas a la misma. Las figuras Figura 47(a) y Figura 47 (b) conjuntamente con la Tabla 28 muestran a detalle cada uno de los componentes del sistema de ensamble de tapas.



(a)



(b)

Figura 47. Componentes de la celda de ensamble de tapas

Tabla 28. Detalle de componentes - Celda de ensamble de tapas

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|-----------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | AM-S-M512HX | 8 |
| 2 | ST-H-P-BASE_CILINCRO | 1 |
| 3 | ST-H-CL-616016D | 1 |
| 4 | AM-S-M330HX | 8 |
| 5 | ST-H-P-CONCETOR_VASTAGO | 1 |
| 6 | ST-H-P-DADO | 1 |
| 7 | ST-V-P-PLACA_SOPORTE_CILINDRO | 1 |
| 8 | AM-S-M545HX | 4 |
| 9 | ST-H-P-CHUMACERA | 2 |
| 10 | ST-V-CL-65016D | 1 |
| 11 | P-PLACA-SOPORTE | 1 |
| 12 | ST-H-P-GUIA | 2 |
| 13 | AM-MONTAJE_LB_CILINDRO | 6 |
| 14 | ST-X-CL-68016D | 1 |
| 15 | ST-X-P-CONCETOR | 1 |
| 16-19 | AM-S-M520HX | 8 |
| 17 | ST-X-P-ALMACEN_TAPAS | 2 |
| 18 | ST-X-P-BASE | 1 |
| 20 | AM-S-TM5 | 32 |
| 21 | ST-X-P-PLACA_SOPORTE_CILINDRO | 1 |
| 22 | AM-SUJECCION_A | 1 |
| 23 | AM-S-M516HX | 1 |
| 24 | AM-S-AM5 | 24 |
| 25 | AM-S-M58HX | 24 |
| 26 | AM-SUJECCION | 13 |

3.2.4.3 Dimensionamiento mecánico de la celda de ensamble de tapas

3.2.4.3.1 Dimensionamiento de actuadores neumáticos

Para el dimensionamiento de los actuadores neumáticos se realizó una simulación de movimiento sobre la plataforma SolidWorks Motion para determinar la fuerza mínima requerida por el actuador neumático que genera trabajo mecánico. Los parámetros de simulación están definidos por las curvas descritas en la Figura 48, y Figura 49. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-H-CL-616016D

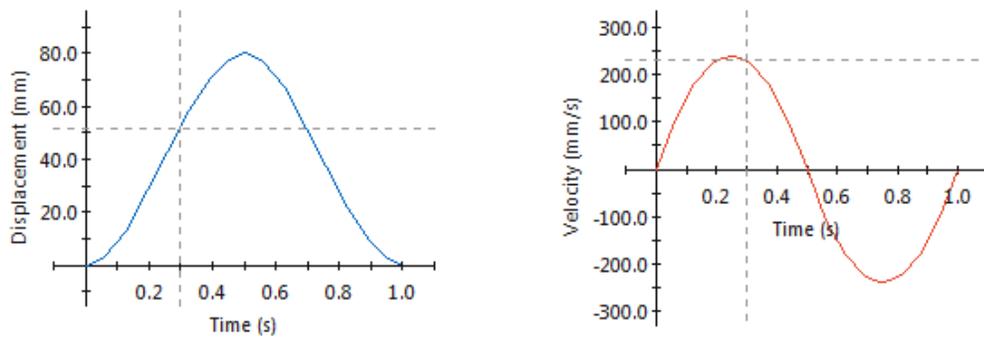


Figura 48. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-X-CL-68016D

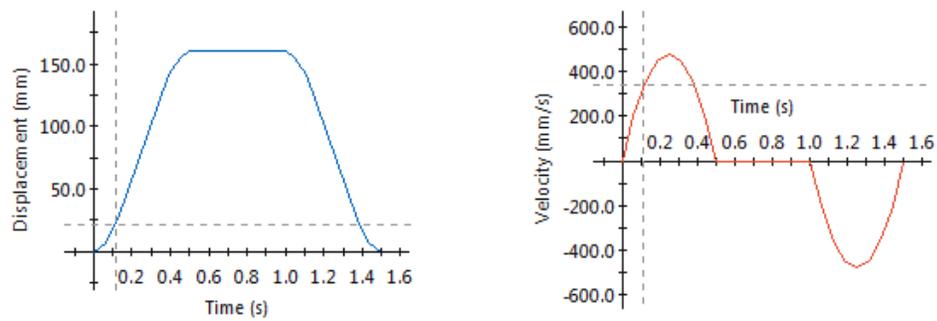


Figura 49. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-H-CL-616016D

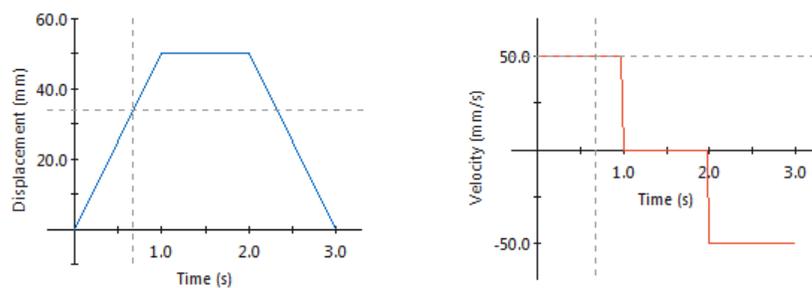


Figura 50. Curva de desplazamiento y velocidad para el cilindro ST-V-CL-65016D

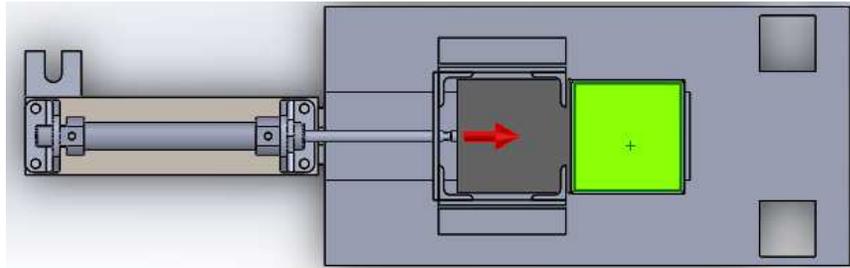


Figura 51. Simulación en SolidWorks Motion del cilindro ST-X-CL-68016D

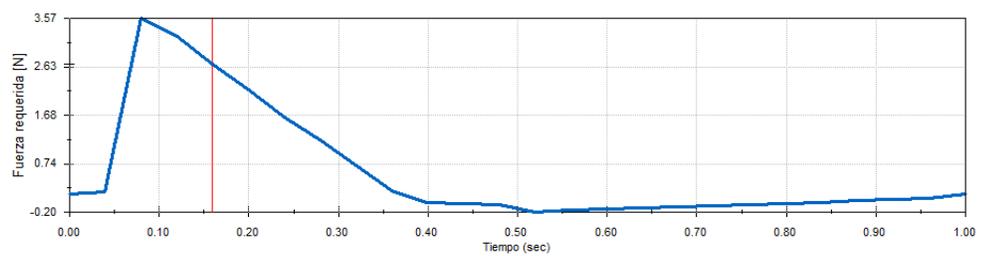


Figura 52. Curva de fuerza para el cilindro ST-X-CL-68016D

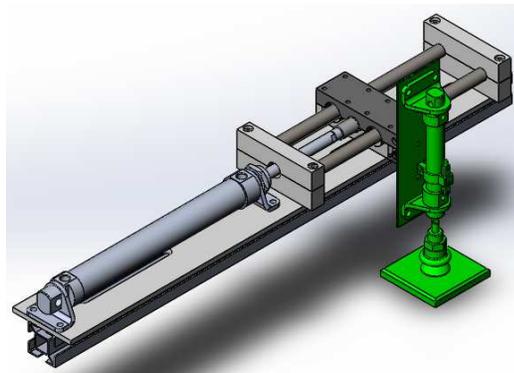


Figura 53. Simulación en SolidWorks Motion del cilindro ST-H-CL-616016D

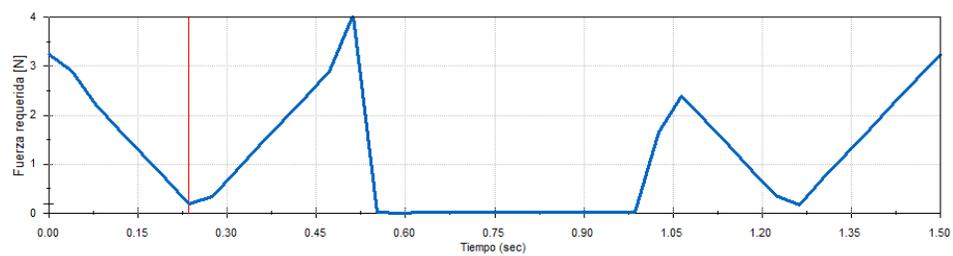


Figura 54. Curva de fuerza para el cilindro ST-H-CL-616016D

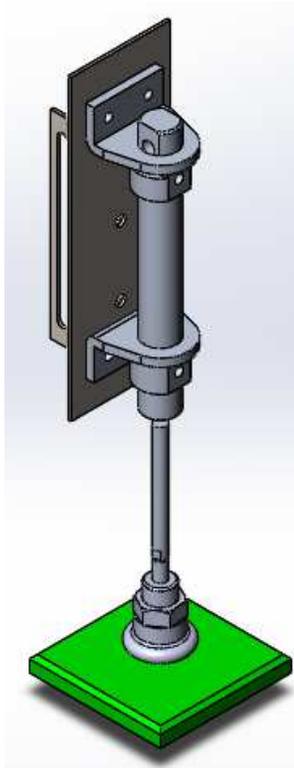


Figura 55. Simulación en SolidWorks Motion del cilindro ST-V-CL-65016D

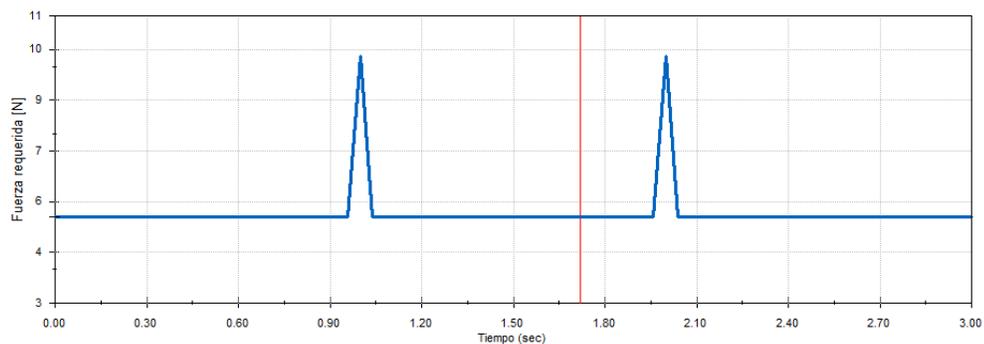


Figura 56. Curva de fuerza para el cilindro ST-V-CL-65016D

A partir de la definición de las curvas de desplazamiento y velocidad para cada uno de los actuadores neumáticos se obtienen las curvas de fuerza ilustradas en las figuras 51, 53 y 55 respectivamente. Con la información de estas curvas de fuerza se determina el diámetro mínimo y el factor de seguridad sobre cada cilindro neumático siguiendo el mismo análisis descrito en Capítulo III, Diseño mecánico de Sistema de Ensamble de ejes, dimensionamiento mecánico, dimensionamiento de actuadores.

Los resultados obtenidos en el cálculo de la $fuerza_{teorica}$, del factor seguridad y del diámetro mínimo se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Características de cilindros neumáticos de la celda de ensamble de tapas

| MICRO | | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----------------------|---------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Cilindro (Código) | Carrera [mm] | Diámetro inicial [cm] | Presión (bar) | Fuerza Teórica [N] | Fuerza Requerida [N] | Factor de seguridad | diámetro [mm] |
| ST-A-CL-68016D | 80 | 1,6 | 6 | 120,576 | 3,57 | 33,77 | 2,75 |
| ST-PEV-CL-65016D | 50 | 1,6 | 6 | 120,576 | 4 | 30,14 | 2,91 |
| ST-PEH-CL-616016D | 160 | 1,6 | 6 | 120,576 | 10 | 12,06 | 4,61 |

3.2.4.3.2 Dimensionamiento del sistema de vacío.

El sistema de vacío es el encargado de sujetar la tapa que va a ser ensamblada para lo cual se precisa de un eyector neumático, una ventosa tipo fuelle y una electroválvula 3/2 monoestable como muestra la Figura 57.



Figura 57. Diagrama del sistema de vacío

El eyector neumático es el encargado de generar vacío, el cual está basado en el principio de Venturi en donde el aire comprimido entra por el eyector A y fluye a través del inyector B, como resultado de esto se tiene un descenso de presión (vacío) justo detrás de la punta del inyector y el aire es enviado a través de la entrada de vacío D. (Camozzi, 2008, pág. 30).

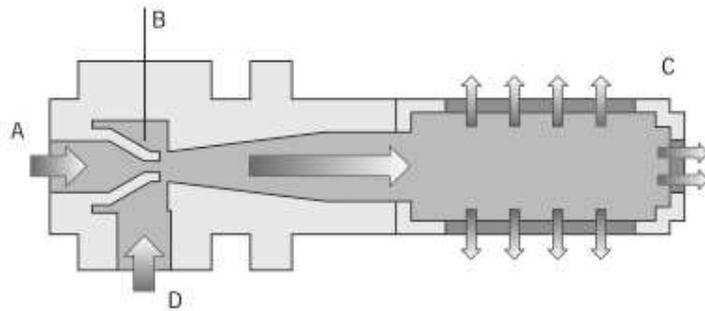


Figura 58. Eyector neumático (Introducción a la generación de vacío)
(Camozzi, 2008, pág. 30)

La ventosa está conectada a la entrada de vacío D del eyector neumático, generando vacío, haciendo que la presión atmosférica sea más alta que la presión interna de la ventosa. La diferencia de presión hace que se evacue el aire entre la ventosa y el área de trabajo sujetando de esta forma la tapa que va a ser ensamblada.

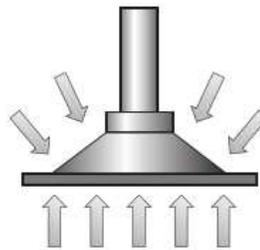


Figura 59. Modo de operación de una ventosa
(Camozzi, 2008, pág. 30)

Para el dimensionamiento de la ventosa se procede a calcular la fuerza de agarre empleando la siguiente fórmula:

$$F_{th} = m \cdot g \cdot S \quad (\text{Camozzi, 2008, pág. 30})$$

Donde:

m : masa en [kg]

g : gravedad en $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

S : factor de seguridad

$$F_{th} = 0.15 \cdot 9.81 \cdot 2$$

$$F_{th} = 2.94 [N]$$

Se procede a determinar la fuerza de sujeción para lo cual se emplea la siguiente formula:

$$F_s = F_{th}/n$$

Donde:

n : Número de ventosas

$$F_s = 2.94/1$$

$$F_s = 2.94 [N]$$

Para determinar el diámetro requerido de la ventosa se emplea la siguiente expresión:

$$d = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot S}{P_u \cdot n}}$$

Donde:

m : Masa de la pieza en [kg]

P_u : Depresión en [bar]

n : Número de ventosas

S : Factor de seguridad

$$d = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{0.15 \cdot 2}{0.4 \cdot 1}}$$

$$d = 9.70 \text{ [mm]}$$

3.2.4.3.3 Análisis de componente crítico

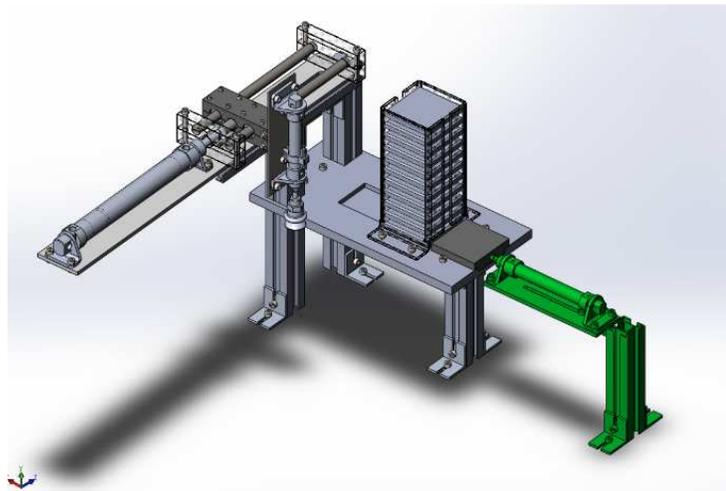


Figura 60. Celda de ensamble de tapas - componente crítico – Cilindro en voladizo con carrera de 80 mm

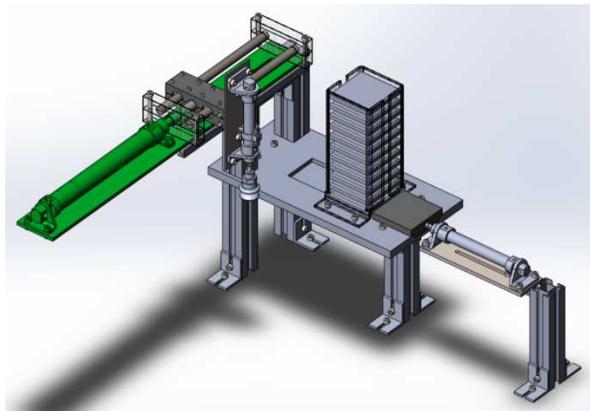


Figura 61. Celda de ensamble de tapas - componente crítico – Cilindro en voladizo con carrera de 160 mm

Las estructuras descritas en la Figura 60 y 60, al estar en voladizo y soportar el peso de los actuadores se las considera como componentes que pueden fallar en el cumplimiento de los parámetros especificados en la matriz QFD, es por ello que se plantea el análisis de deformación y esfuerzos sobre esta porción del sistema.

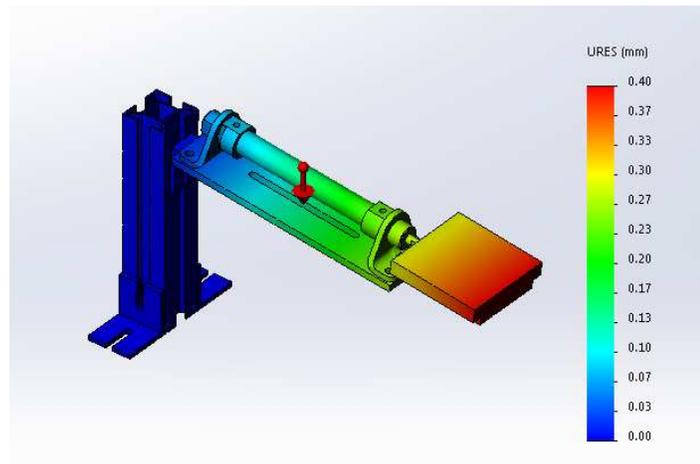


Figura 62. Celda de ensamble de tapas - Deformaciones - Cilindro en voladizo con carrera de 80 mm

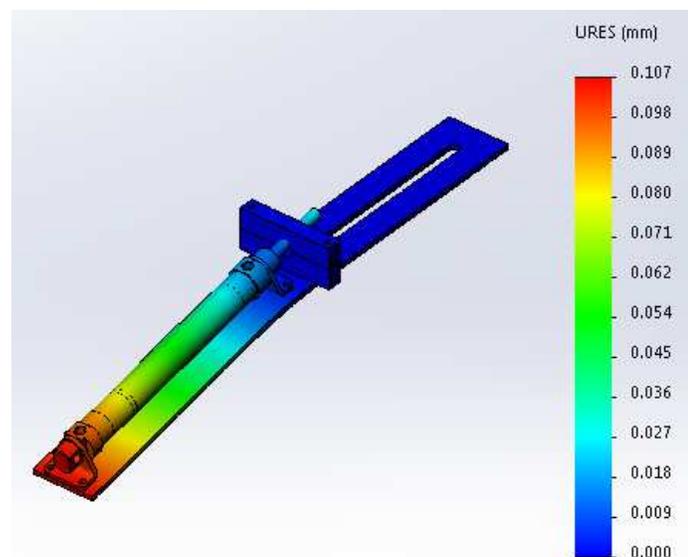


Figura 63. Sistema de ensamble de tapas – Deformaciones –Cilindro de carrera de 160 mm

El análisis de elementos finitos de la Figura 62 y Figura 63 muestran que la máxima deformación de los componentes analizados es de 0.0004 [m] y 0.00011 [m] respectivamente. Estos valores son favorables para el diseño al no excederse del límite máximo permitido que es de 0.001 [m].

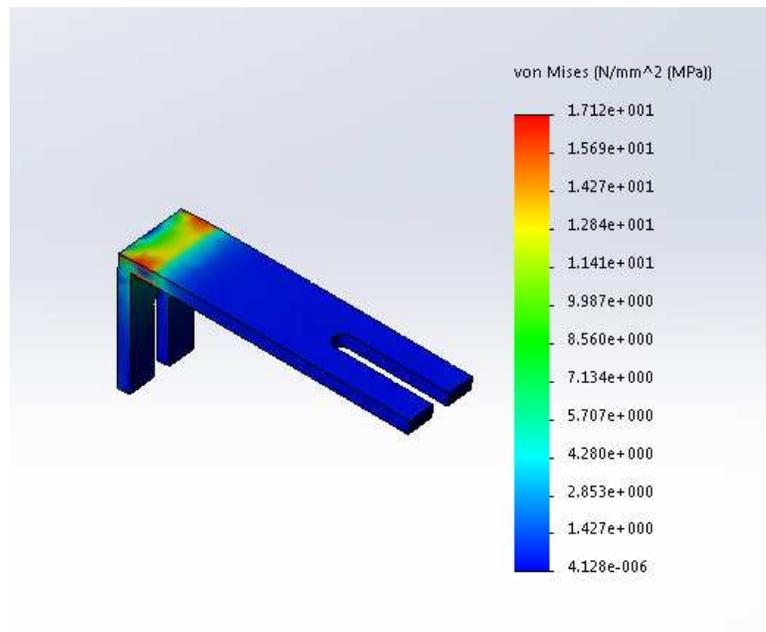


Figura 64. Celda de ensamble de tapas – Esfuerzos

Analizando la Figura 64 y considerando que el límite elástico del acero es 210 MPa se puede describir que:

$$S_0 = \frac{210 \text{ MPa}}{17.12 \text{ MPa}}$$

$$S_0 \approx 12.27$$

3.2.4.4 Resumen de diseño

Tabla 30. Características Generales - Celda de ensamble tapas

| CARACTERÍSTICAS GENERALES | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| NOMBRE DEL SISTEMA | Celda de Ensamble de tapas |
| FUNCIÓN DEL SISTEMA | Movilizar piezas bases entre FACs |
| PREFIJOS DE REFERENCIA DEL SISTEMA | ST ST-PEH SE-PEV SE-M |

CONTINUA 

| | |
|--|--|
| ARCHIVO CAD DE ENSAMBLE DEL SISTEMA | ST-SISTEMA_DE_ENSAMBLE_DE_TAPAS.sldasm |
| PESO DEL SISTEMA | 8.2 kg |
| LONGITUD MÁXIMA DEL SISTEMA | 0.53 m |
| MÁXIMA CARGA SOBRE EL SISTEMA | 0.15 kg (peso máximo de tapa de ensamble) |
| FACTOR DE SEGURIDAD ANTE ESFUERZOS (S_0) | 12.27 |
| NOMBRE PARTE (S_0) | ST-PEH-C160-ENSAMBLE_CRITICO.sldasm |
| DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (D_{f_0}) | 0.0004 m |
| NOMBRE DE PARTE (D_{f_0}) | ST-PEH-C80-ENSAMBLE_CRITICO.sldasm |
| ACTUADORES EN EL SISTEMA | 1 x Cilindro de Doble efecto (ST-X-P-CL-65016D) 1 x Cilindro de Doble efecto (ST-V-P-CL-68016D) 1 x Cilindro de Doble efecto (ST-H-P-CL-616016D) |
| ACCESORIOS EN EL SISTEMA | 1 x Ventosa tipo Fuelle |

Tabla 31. Características de cilindro ST-PEV-CL-65016D

| CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO ST-PEV-CL-65016D | |
|---|------------------------------------|
| FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR | 120 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE FUERZA | 30.14 |
| DIAMETRO | 16 mm |
| CARRERA | 50 mm |
| PRESION DE FUNCIONAMIENTO | 6 bar |
| MONTAJE DEL CILINDRO | Tipo LB |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 5/2 (ST-PEV-V-652M) |

Tabla 32. Características de cilindro ST-PEH-CL-68016D

| CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO ST-PEH-CL-68016D | |
|---|------------------------------------|
| FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR | 120 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE FUERZA | 33.77 |
| DIAMETRO | 16 mm |
| CARRERA | 80 mm |
| PRESION DE FUNCIONAMIENTO | 6 bar |
| MONTAJE DEL CILINDRO | Tipo LB |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 5/2 (ST-PEH-V-652M) |

Tabla 33. Características de cilindro ST-PEH-CL-616016D

| CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO ST-PEH-CL-616016D | |
|--|------------------------------------|
| FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR | 120 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE FUERZA | 12.06 |
| DIAMETRO | 16 mm |
| CARRERA | 160 mm |
| PRESION DE FUNCIONAMIENTO | 6 bar |
| MONTAJE DEL CILINDRO | Tipo LB |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 5/2 (ST-PEH-V-652M) |

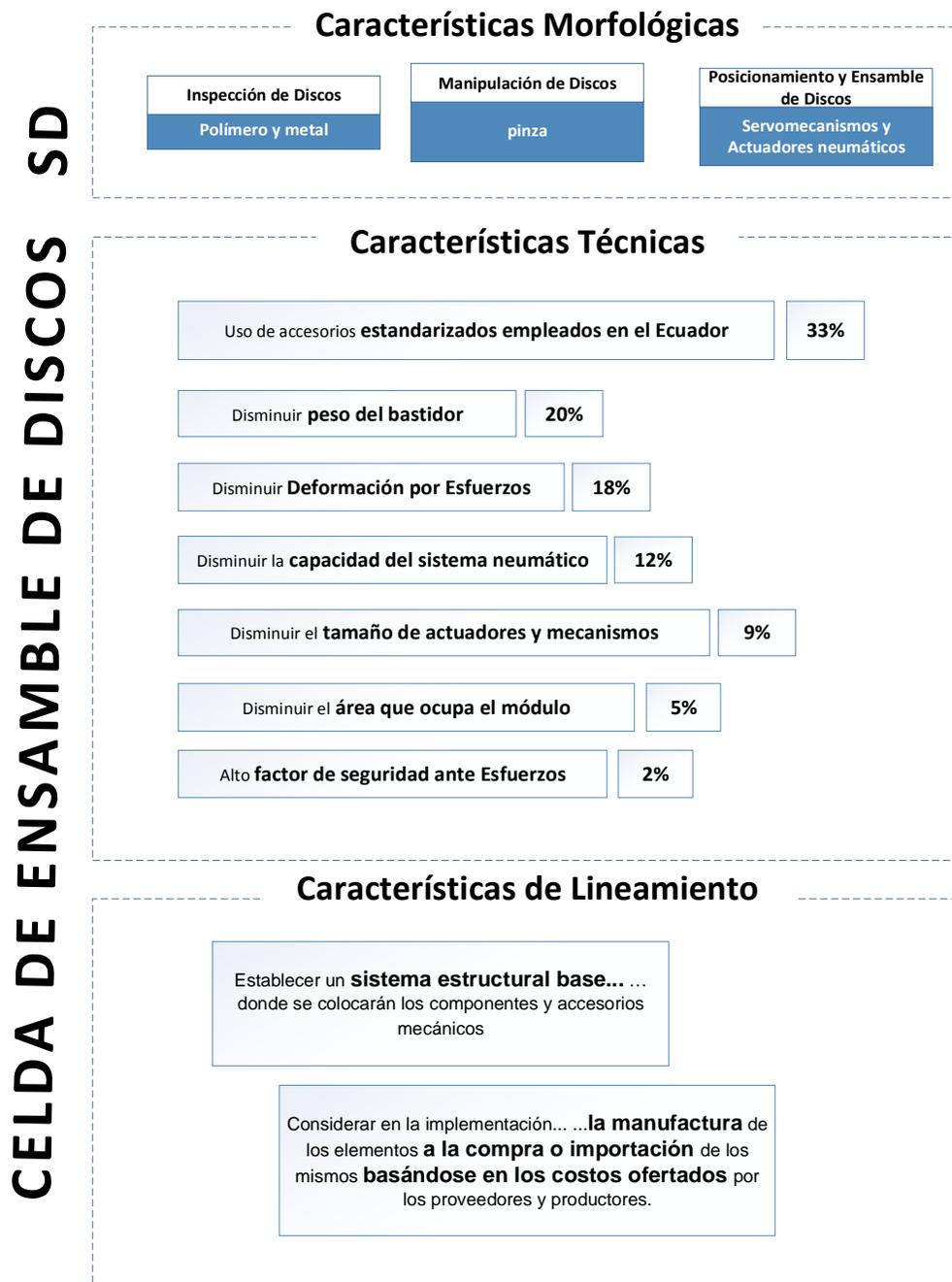
Tabla 34. Características de cilindro ST-PEH-CL-616016D

| CARACTERÍSTICAS DE VENTOSA | |
|-----------------------------------|--------------------|
| TIPO | Fuelle |
| FUERZA DE SUJECCIÓN | 2.64 [N] |
| DIAMETRO | 9.7 mm |
| FACTOR DE SEGURIDAD | 2 mm |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 3/2 |

3.2.5 Diseño mecánico de la celda de ensamble de discos

3.2.5.1 Parámetros de Diseño

Cuadro 28. Parámetros de diseño de la celda de ensamble de discos



Una característica especial que diferencia a este sistema es su función de manipulación que será realizada por una pinza o en el término anglosajón gripper. Este tipo de mecanismos son muy usados en la industria por su gran variedad de aplicaciones las cuales están ligadas a determinadas características como forma, tamaño y capacidad del mecanismo.

3.2.5.2 Modelo Solución

La solución que a continuación se plantea cumple las características de diseño, utiliza la menor cantidad de piezas manufacturadas, compradas o importadas; el diseño es totalmente basado en perfiles de aluminio estandarizados por lo que también se puede considerar flexible su construcción y adaptación a diseños nuevos. Para este sistema se planteó un solo modelo de solución

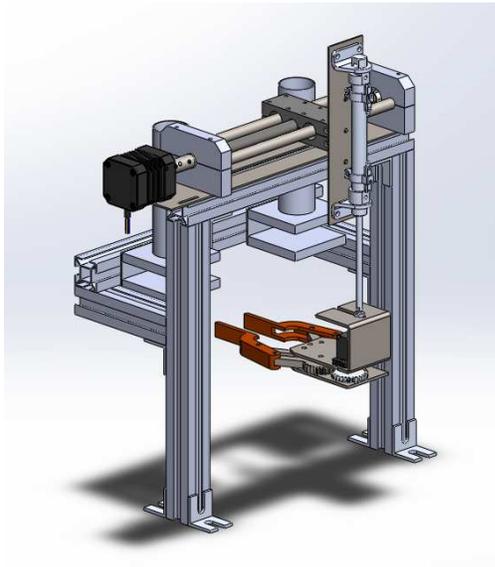


Figura 65. Modelo solución para la celda de ensamble de discos

Este modelo de solución tiene como característica de almacenamiento dos torres de gravedad donde se almacenarán los discos que serán ensamblados. Se ha escogido esta forma de almacén debido a que es simple de adaptar y permite almacenar dos tipos

de discos de ensamble (como muestra la matriz morfológica de diseño) de manera sencilla sin necesidad de un mecanismo que ayude a la discriminación.

Otra razón de la elección de torres de gravedad para el almacenamiento es el uso de una pinza mecánica para la manipulación (característica morfológica obligatoria) que en conjunto a las torres de gravedad prescinden de algún otro mecanismo para el posicionamiento y alimentación automática de discos.

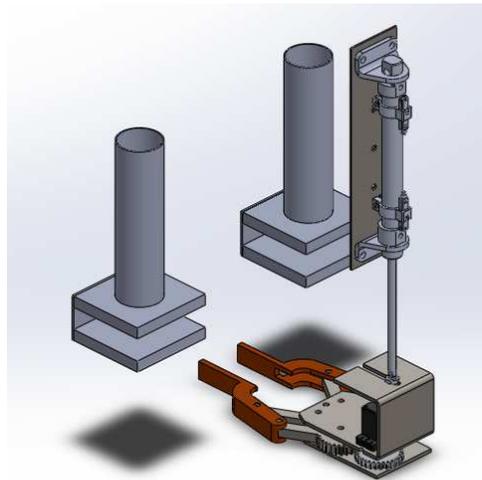


Figura 66. Torres de gravedad y pinza mecánica para la celda de ensamble de discos

La función de posicionamiento y ensamble descrito por la característica de diseño morfológica plantea para este sistema una solución basada en dispositivos neumáticos y servo mecánicos. Por esta razón el modelo planteado presenta para la función de posicionamiento horizontal un mecanismo de tornillo sin fin con un conector de ejes a un actuador rotativo de tipo eléctrico y un cilindro neumático para la función de posicionamiento vertical.

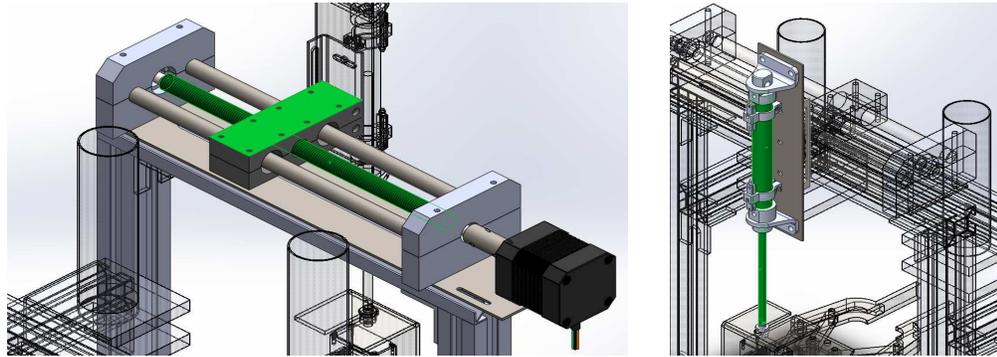


Figura 67. Mecanismo de tornillo sin fin - Cilindro neumático de posicionamiento vertical

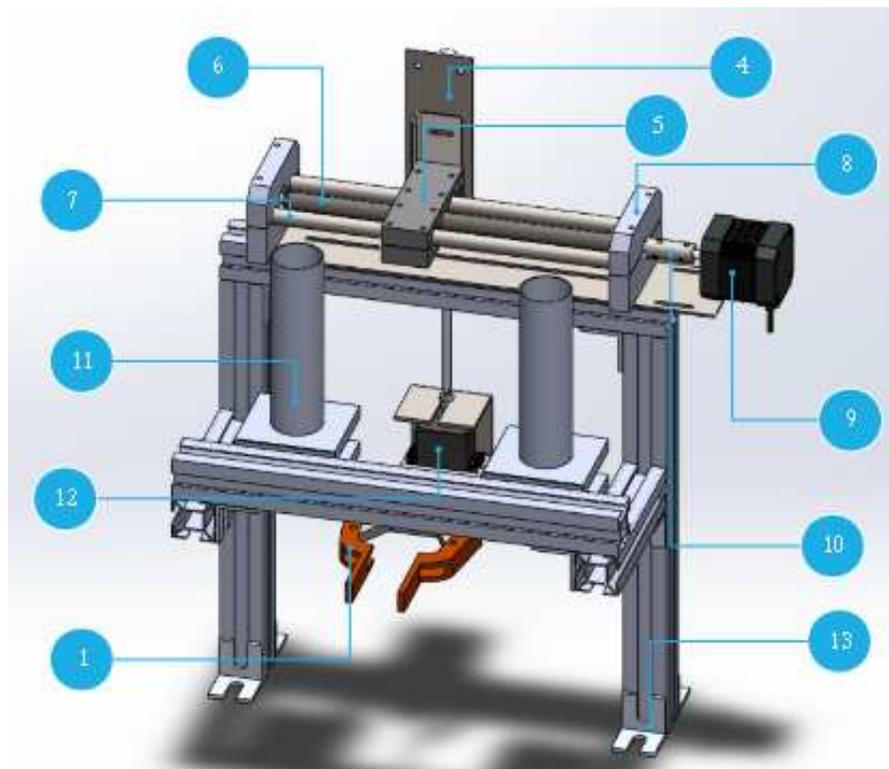


Figura 68. Componentes de la celda de ensamble de discos (a)

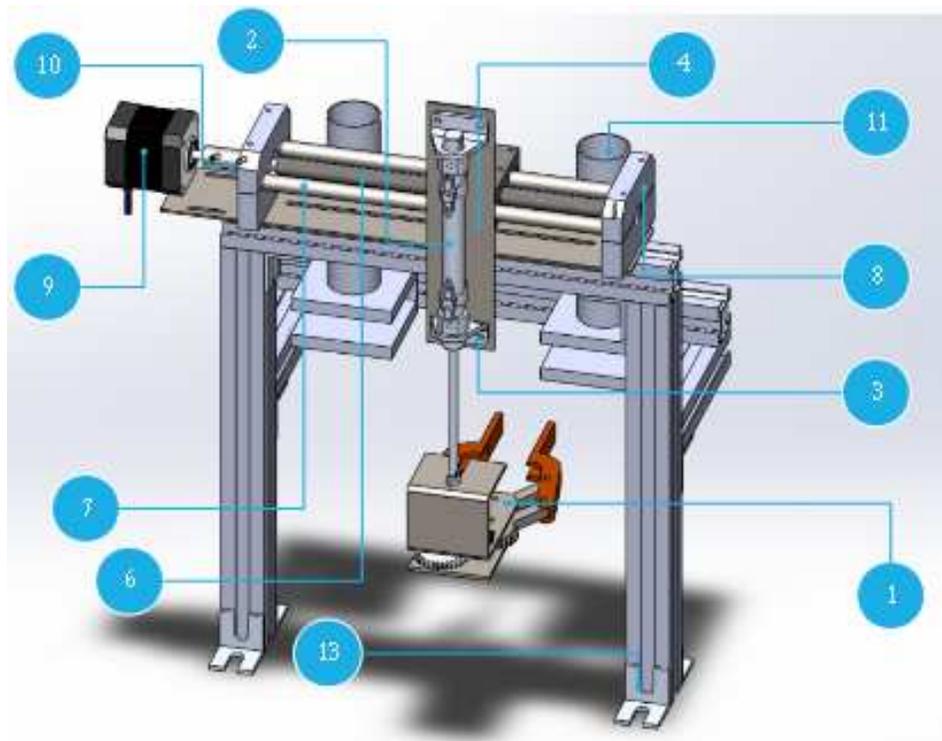


Figura 69. Componentes de la celda de ensamble de discos (b)

Tabla 35. Detalle de componentes de la celda de ensamble de discos

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|----|-------------------------------|----------|
| 1 | SD-S-P-PINZA_MECANICA | 1 |
| 2 | SD-V-CL-610016D | 1 |
| 3 | AM-MONTAJE_LB_CLINDRO | 2 |
| 4 | SD-V-P-PLACA_SOPORTE_CILINDRO | 1 |
| 5 | SD-H-P-DADO | 1 |
| 6 | SD-H-P-TORNILLO_SIN_FIN | 1 |
| 7 | SD-H-P-GUIA | 1 |
| 8 | SD-H-P-CHUMACERA | 1 |
| 9 | SD-H-M-SY57STH56_1006 | 1 |
| 10 | SD-H-P-CONECTOR_EJES | 1 |
| 11 | SD-AM-P-TORRES_DE_GRAVEDAD | 2 |
| 12 | SD-S-M-HS755HB | 1 |
| 13 | AM-SUJECION | 12 |

3.2.5.3 Dimensionamiento mecánico de la celda de ensamble de discos

3.2.5.3.1 Dimensionamiento de mecanismo tornillo sin fin

Parte de las características morfológicas de diseño para este sistema indican que el posicionamiento y ensamble de discos será realizado por servo mecanismos, por este motivo se ha seleccionado el mecanismo tornillo sin fin acoplado a un actuador rotativo eléctrico para realizar la función de posicionamiento horizontal del sistema.

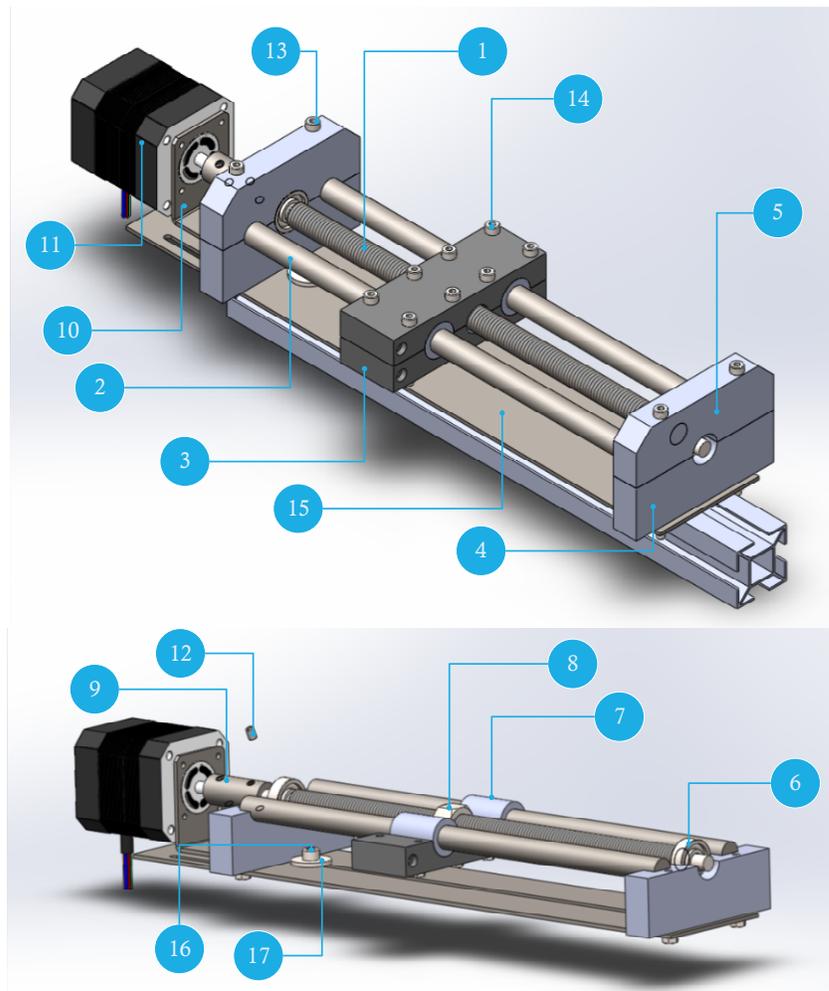


Figura 70. Celda de ensamble de discos - Componentes del mecanismo de posicionamiento horizontal

Tabla 36. Celda de ensamble de discos - Detalle de componentes del mecanismo de posicionamiento horizontal

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|----|--------------------------------|----------|
| 1 | SD-H-P-TORNILLO_SIN_FIN | 1 |
| 2 | SD-H-P-GUIA | 1 |
| 3 | SD-H-P-DADO | 1 |
| 4 | SD-H-P-CHUMACERA_A | 1 |
| 5 | SD-H-P-CHUMACER_B | 1 |
| 6 | SD-AM-R-608RS | 2 |
| 7 | AM-RL-KH1228 | 2 |
| 8 | SD-H-P-TUERCA_TORNILLO_SF | 1 |
| 9 | SD-H-P-CONCETOR_EJES | 1 |
| 10 | SD-H-P- PLACA_SOPORTE_MOTOR | 1 |
| 11 | SD-H-M-SY57STH56_1006 | 1 |
| 12 | AM-S-M35HXPR | 2 |
| 13 | AM-SM470HX | 4 |
| 14 | AM-SM435HX | 8 |
| 15 | SD-H-P-PLACA_BASE | 1 |

La pieza SD-H-P-TORNILLO_SIN_FIN es un esparrago de ½ pulgada UNC de 13 HPP de carga admisible sobre la rosca de aproximadamente 44000 Psi.

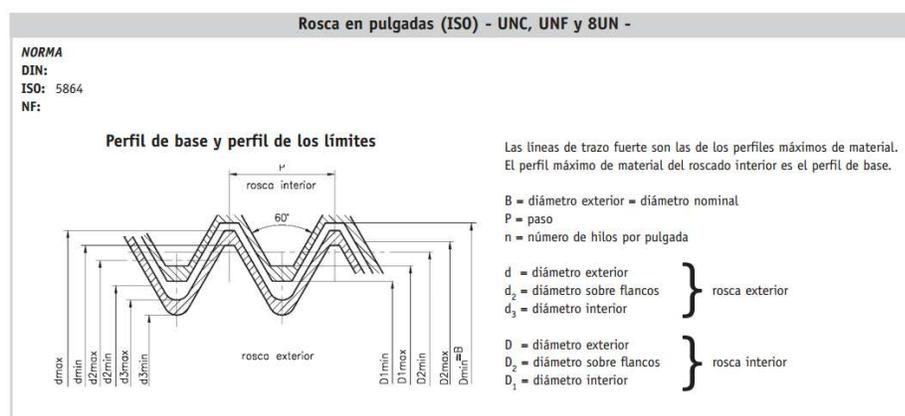


Figura 71. Perfil de base de rosca en pulgadas ISO- UNC-UNF-8UN

Tabla 37 Límites de las dimensiones de la rosca en pulgadas

| Límites de las dimensiones de la rosca en pulgadas (ISO) - UNC, UNF y 8UN - | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--------|---|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------|------------------------|--------------------|--|--|--------------------|--|
| Diámetro nominal B pulgadas | Nº de hilos por pulgada n | Paso P | Rosca exterior, clase de tolerancia 2A. Bulones y tornillos | | | | | | Rosca interior, clase de tolerancia 2B. Tuercas | | | | Secc. del Ø int. A ₃ mm ² | Secc. del Ø int. A ₅ mm ² | | |
| | | | Diámetro exterior | | Diámetro sobre flancos | | Diámetro interior | | Diámetro exterior | | Diámetro sobre flancos | | | | Diámetro interior | |
| | | | d _{máx.} | d _{mín.} | d _{2máx.} | d _{2mín.} | d _{3máx.} | d _{3mín.} | D _{mín.} | D _{2mín.} | D _{2máx.} | D _{1mín.} | | | D _{1máx.} | |
| Límites de las dimensiones de la rosca en pulgadas, de paso grueso UNC, clases de tolerancia 2A y 2B | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/4 | 20 | 1,2700 | 6,322 | 6,117 | 5,496 | 5,403 | 4,765 | 4,580 | 6,350 | 5,525 | 5,646 | 4,979 | 5,257 | 17,4 | 20,5 | |
| 5/16 | 18 | 1,4111 | 7,907 | 7,687 | 6,990 | 6,889 | 6,174 | 5,972 | 7,938 | 7,021 | 7,155 | 6,401 | 6,731 | 29,3 | 33,8 | |
| 5/8 | 16 | 1,5875 | 9,491 | 9,254 | 8,460 | 8,349 | 7,543 | 7,318 | 9,525 | 8,494 | 8,638 | 7,798 | 8,153 | 43,7 | 50 | |
| 7/16 | 14 | 1,8143 | 11,076 | 10,816 | 9,898 | 9,779 | 8,851 | 8,603 | 11,113 | 9,934 | 10,088 | 9,144 | 9,550 | 60,2 | 68,6 | |
| 1/2 | 13 | 1,9538 | 12,661 | 12,386 | 11,391 | 11,265 | 10,264 | 9,998 | 12,700 | 11,430 | 11,595 | 10,592 | 11,023 | 81,1 | 91,5 | |
| 9/16 | 12 | 2,1167 | 14,246 | 13,958 | 12,872 | 12,741 | 11,650 | 11,367 | 14,288 | 12,914 | 13,086 | 11,989 | 12,446 | 105 | 117,4 | |
| 5/9 | 11 | 2,3091 | 15,834 | 15,528 | 14,335 | 14,197 | 13,002 | 12,698 | 15,875 | 14,377 | 14,559 | 13,386 | 13,868 | 130 | 146 | |
| 3/4 | 10 | 2,5400 | 19,004 | 18,677 | 17,353 | 17,204 | 15,887 | 15,555 | 19,050 | 17,399 | 17,594 | 16,307 | 16,840 | 195 | 215 | |
| 7/8 | 9 | 2,8222 | 22,176 | 21,824 | 20,342 | 20,183 | 18,714 | 18,352 | 22,225 | 20,392 | 20,599 | 19,177 | 19,761 | 270 | 298 | |
| 1 | 8 | 3,1750 | 25,349 | 24,969 | 23,286 | 23,114 | 21,452 | 21,052 | 25,400 | 23,338 | 23,561 | 21,971 | 22,606 | 355 | 391 | |
| 1 ¹ / ₈ | 7 | 3,6286 | 28,519 | 28,103 | 26,162 | 25,980 | 24,066 | 23,623 | 28,575 | 26,218 | 26,456 | 24,638 | 25,349 | 447 | 492 | |
| 1 ¹ / ₄ | 7 | 3,6286 | 31,694 | 31,278 | 29,337 | 29,150 | 27,241 | 26,792 | 31,750 | 29,393 | 29,636 | 27,813 | 28,524 | 574 | 625 | |
| 1 ³ / ₈ | 6 | 4,2333 | 34,864 | 34,402 | 32,113 | 31,911 | 29,669 | 29,162 | 34,925 | 32,175 | 32,438 | 30,353 | 31,115 | 680 | 745 | |
| 1 ¹ / ₂ | 6 | 4,2333 | 38,039 | 37,577 | 35,288 | 35,083 | 32,844 | 32,335 | 38,100 | 35,350 | 35,615 | 33,528 | 34,290 | 835 | 906 | |
| 1 ³ / ₄ | 5 | 5,0800 | 44,381 | 43,861 | 41,081 | 40,856 | 38,148 | 37,557 | 44,450 | 41,151 | 41,445 | 38,964 | 39,827 | 1123 | 1226 | |
| 2 | 4 ¹ / ₂ | 5,6444 | 50,726 | 50,168 | 47,061 | 46,820 | 43,802 | 43,155 | 50,800 | 47,135 | 47,449 | 44,679 | 45,593 | 1484 | 1613 | |
| 2 ¹ / ₄ | 4 ¹ / ₂ | 5,6444 | 57,076 | 56,518 | 53,411 | 53,165 | 50,152 | 49,500 | 57,150 | 53,485 | 53,804 | 51,029 | 51,943 | 1948 | 2097 | |
| 2 ¹ / ₂ | 4 | 6,3500 | 63,421 | 62,817 | 59,296 | 59,033 | 55,631 | 54,910 | 63,500 | 59,376 | 59,717 | 56,617 | 57,581 | 2400 | 2581 | |
| 2 ³ / ₄ | 4 | 6,3500 | 69,768 | 69,165 | 65,643 | 65,378 | 61,978 | 61,255 | 69,850 | 65,726 | 66,073 | 62,967 | 63,931 | 2981 | 3181 | |
| 3 | 4 | 6,3500 | 76,118 | 75,515 | 71,993 | 71,722 | 68,328 | 67,600 | 76,200 | 72,076 | 72,428 | 69,317 | 70,281 | 3626 | 3852 | |

Tomando en cuenta la característica de la rosca UNC 1/2 pulgada se detallan la siguiente relación:

$$Paso\ de\ rosca: 13\ HPP \rightarrow 0.0769in \rightarrow 1.95mm$$

Esto implica que en cada giro el tornillo transmite un desplazamiento lineal de 1.95 [mm] Con este paso de rosca y una velocidad nominal de 500 rpm podemos calcular el tiempo que tardará el mecanismo en desplazarse a lo largo de su recorrido.

$$d_{recorrido} = 300mm \quad \omega_{motor} = 500rpm \quad P = 1.95mm$$

$$v_{lineal} = P \cdot \omega_{motor}$$

$$v_{lineal} = 975 \frac{mm}{min} = 16.25 \frac{mm}{s}$$

$$t = \frac{d_{recorrido}}{v_{lineal}} = 18.46\ s$$

Para determinar el factor de seguridad sobre el esparrago es necesario cargar en una simulación de SolidWorks Motion la velocidad lineal que transmitirá el sistema y

sus respectivas cargas de funcionamiento. Cabe precisar que la carga máxima que este sistema desplazará horizontalmente es 1.64 kgf que corresponde al peso del cilindro vertical, sus respectivos accesorios de montaje, la pinza de sujeción, y un peso máximo de disco de 500 g (25 veces el peso del disco a usar).

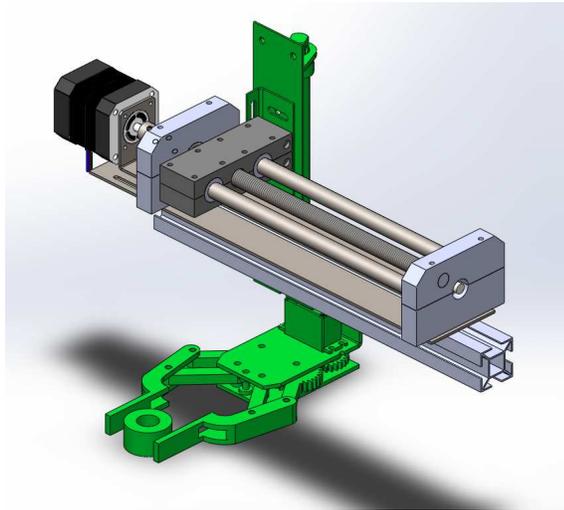


Figura 72. Celda de ensamble de Discos - función de posicionamiento Horizontal y vertical

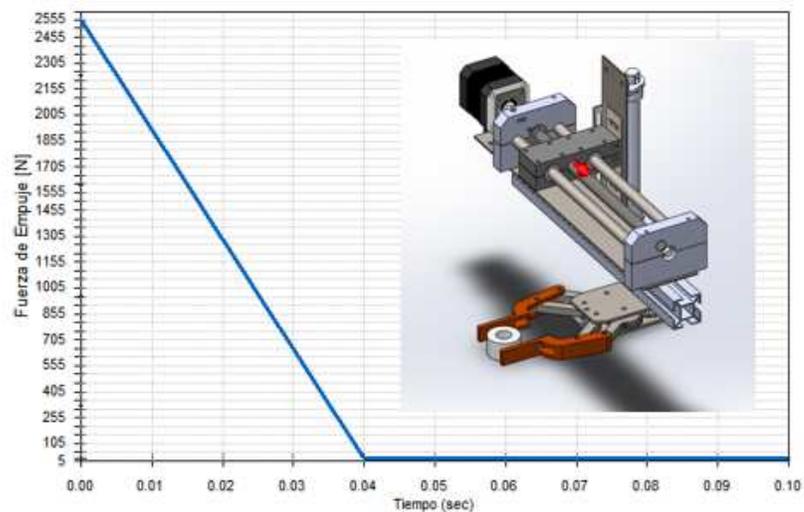


Figura 73. Simulación Dinámica de empuje sobre el esparrago a velocidad de 500rpm

Con estos datos podemos plantear las siguientes ecuaciones para determinar el factor de seguridad sobre el esparrago tornillo sin fin.

$$C_{s_{maxima}} = 44000 \text{ Psi} \rightarrow 305 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad A_{transversal} = 81.1 \text{ mm}^2$$

$$C_{maxima \text{ sobre esparrago}} = 24.7 \text{ kN}$$

$$S_0 = \frac{24.7 \text{ kN}}{2.5 \text{ kN}} \cong 10$$

Si bien la rosca UNC ½ pulgada puede soportar un exceso de 10 veces la carga máxima del sistema, analizando la Figura 73 podemos apreciar que el pico de carga sucede instantáneamente para vencer la inercia del sistema por esta razón se asevera que el factor de seguridad sobre el tornillo sin fin es definitivamente mayor que 10 (vida infinita).

En base a esta simulación también se puede aseverar que la Figura 73 muestra la fuerza de oposición al movimiento horizontal del sistema. Con esta premisa se realiza una segunda simulación con la adición de una relación lineal – rotacional (1.95mm/Rev.) para encontrar el torque necesario del mecanismo tornillo sin fin.

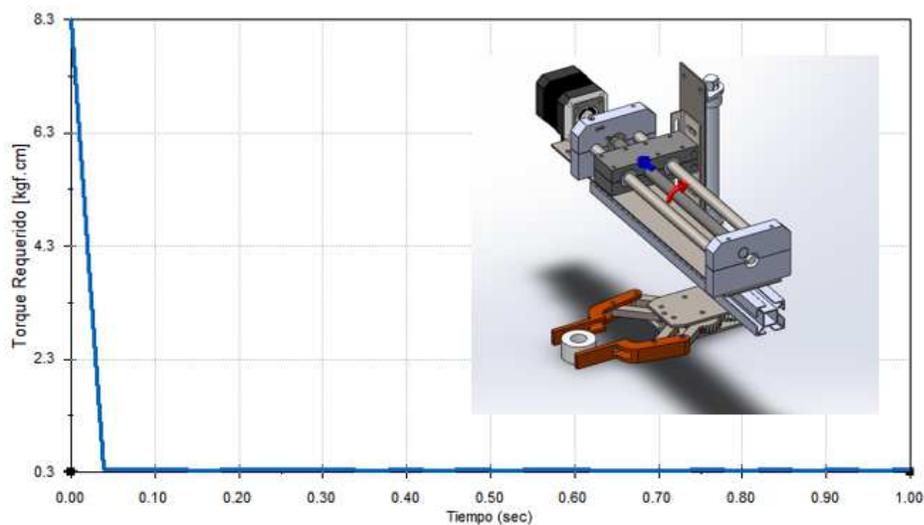


Figura 74. Simulación Dinámica - Torque requerido por el sistema

En base a esta segunda simulación se ha determinado que el torque necesario para la función de posicionamiento horizontal es de 8.3 kgf.cm. El actuador eléctrico

seleccionado para esta función es un motor a pasos unipolar (SY57STH56-1006) con un torque de freno o arranque de 9 kg.cm

3.2.5.3.2 Dimensionamiento de pinza mecánica.

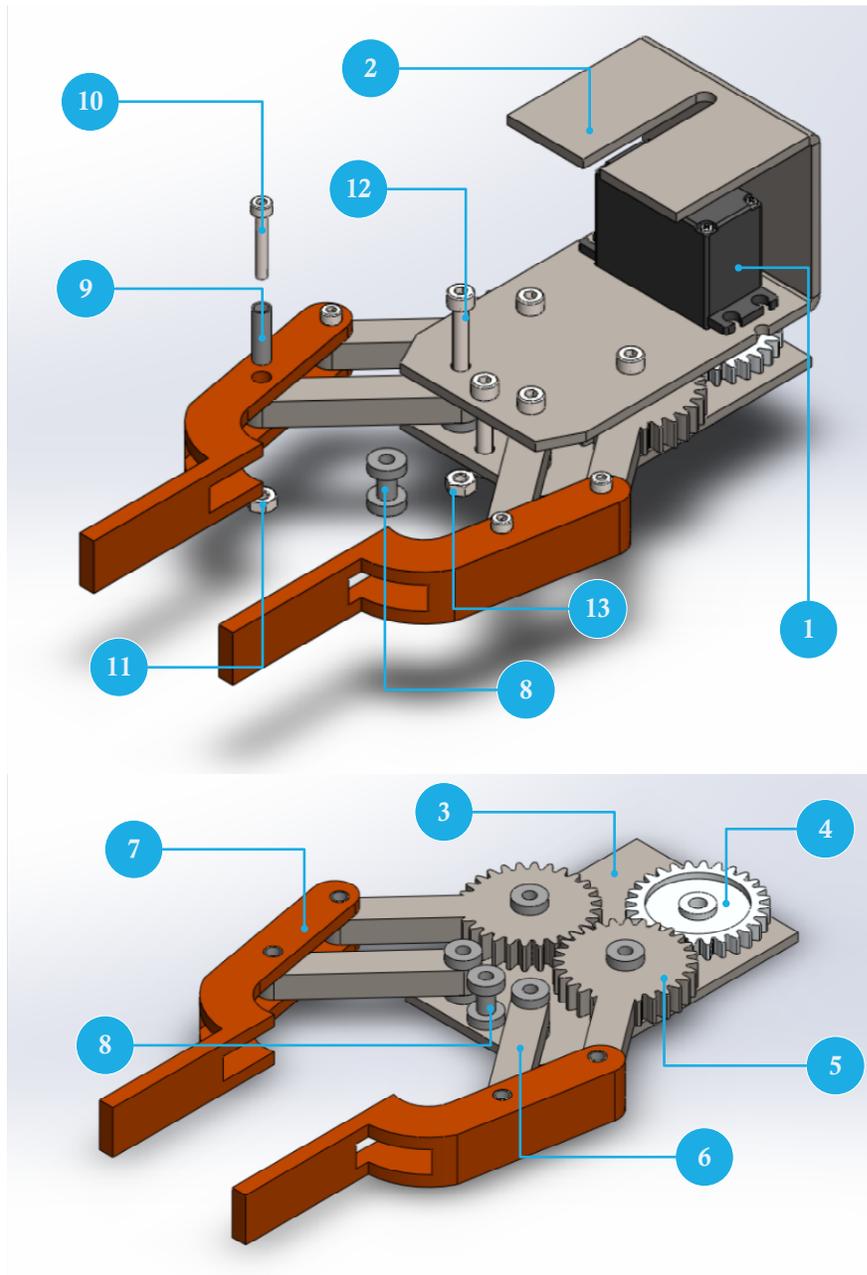


Figura 75. Componentes de la pinza mecánica

Tabla 38. Detalle de componentes de la pinza mecánica

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|----|---------------------|----------|
| 1 | SD-S-M-HS755HB | 1 |
| 2 | SD-S-P-PLACA_BASE_A | 1 |
| 3 | SD-S-P-PLACA_BASE_B | 1 |
| 4 | SD-S-P-PIÑÓN | 1 |
| 5 | SD-S-P-ENGRANAJE | 2 |
| 6 | SD-S-P-ESLABON | 2 |
| 7 | SD-S-P-PINZA | 2 |
| 8 | SD-S-P-PASADOR_A | 5 |
| 9 | SD-S-P-PASADOR_B | 4 |
| 10 | AM-S-M320HX | 4 |
| 11 | AM-S-TM3 | 4 |
| 12 | AM-S-M425HX | 5 |
| 13 | AM-STM4 | 5 |

La figura 75 muestra el mecanismo de manipulación de discos que permitirá trasladar los discos de ensamble desde las torres de gravedad a su posición de ensamble ubicada sobre la mesa giratoria del sistema de transporte.

Antes de analizar cargas mecánicas sobre el sistema se detallará la geometría del mecanismo con el fin de precisar su correcto acople y determinar su rango de sujeción (apertura de funcionamiento).

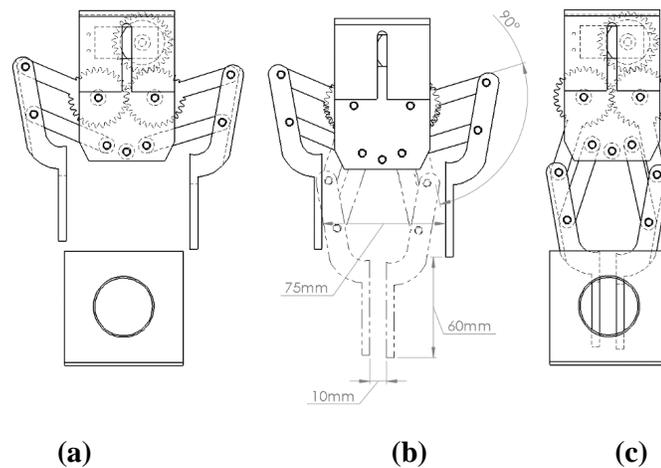


Figura 76. Detalle geométrico apertura de pinza

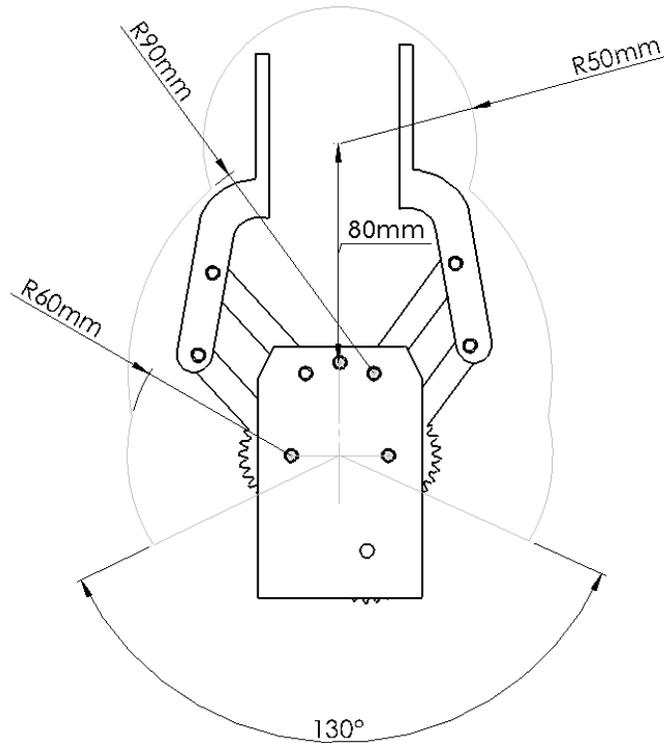


Figura 77. Espacio geométrico de operación

Con la Figura 76 se determina que el rango de sujeción de este mecanismo es:

$$10\text{mm} < d_{\text{rango de apertura}} < 75\text{mm} \leftrightarrow 0^\circ < \theta_{\text{motor}} < 90^\circ$$

Otro punto importante que se rescata de la gráfica anterior es su rango de desplazamiento frontal ($d = 60\text{mm}$). Este valor permitirá detallar la movilidad del mecanismo entre las torres de gravedad en su posición básica de apertura (Figura 76a) y su posición de apriete (Figura 76b).

El actuador relacionado a la acción del mecanismo es un servo motor cuyo dimensionamiento físico será realizado por medio de una simulación sobre la plataforma de SolidWorks Motion. Para detallar la información que se configurará en el simulador dinámico se planteó el siguiente análisis:

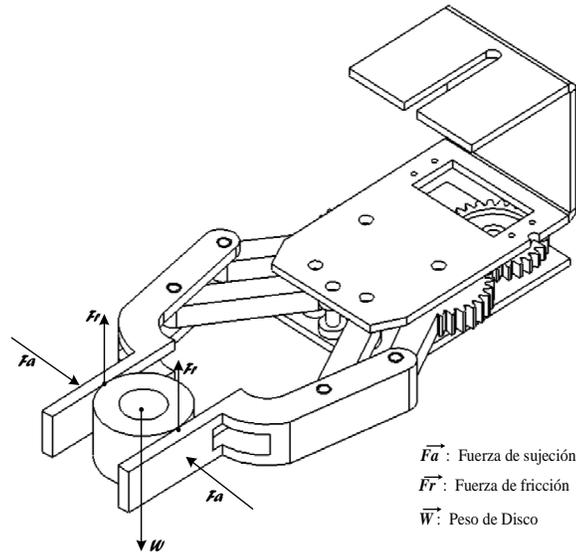


Figura 78. Diagrama de cuerpo libre del sistema de sujeción (Pinza)

De acuerdo a la Figura 78 que planeta el diagrama de cuerpo libre para la sujeción de discos se puede apreciar que la fuerza de fricción está en equilibrio estático con el peso del disco. De esta manera se plantea las siguientes ecuaciones:

$$2 \cdot \vec{F}_r = \vec{W}$$

$$\vec{F}_r = \mu \cdot \vec{N} \quad \text{donde} \quad \vec{N} = \vec{F}_a$$

$$2 \cdot \mu \cdot \vec{F}_a = \vec{W}$$

Tomando en consideración que el coeficiente de fricción entre nylon y acero es 0.25 y aplicando el peso máximo de disco de 500g (dimensionamiento de Tornillo sin Fin) se asevera que $F_a = 1 \text{ kgf}$.

Esta fuerza de sujeción es la fuerza de apriete de la pinza sobre la superficie del disco. Cabe precisar que dicha fuerza aparece instantáneamente cuando la pinza entra en contacto con la superficie del disco y se mantiene mientras la pinza se encuentre cerrada. Para las condiciones de simulación se ha considerado que esta fuerza aparece a los 70° de posicionamiento del servo motor a partir de su posición básica de apertura (Figura 76a).

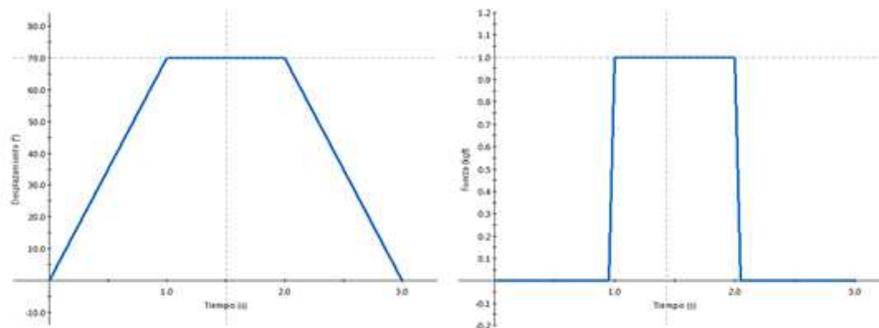


Figura 79. Curva de posicionamiento de Servomotor y curva de fuerza de sujeción

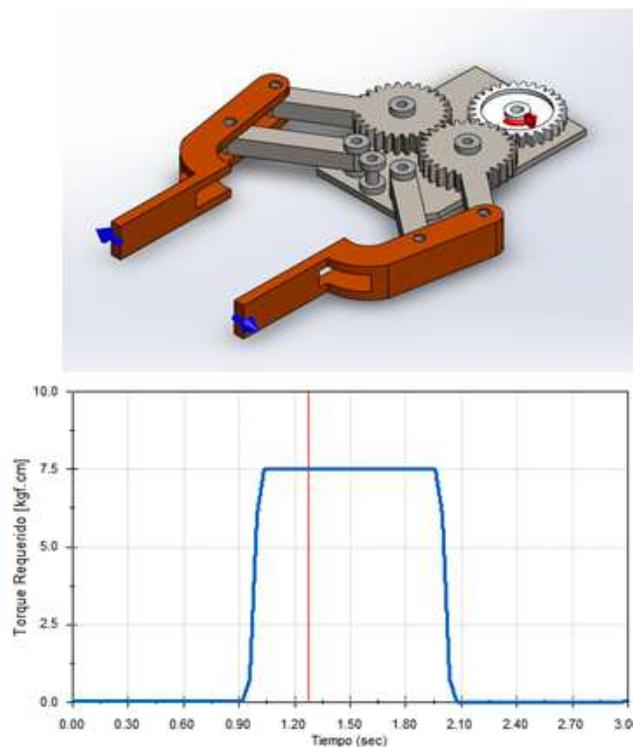


Figura 80. Torque requerido por el actuador eléctrico

En base a esta simulación se ha determinado que el torque necesario para la función de sujeción del mecanismo de manipulación es de 7.5 kgf.cm. El actuador eléctrico seleccionado para esta función es un servo motor HiTEC (HS755) con un torque de 11 kgf.cm.

3.2.5.3.3 Dimensionamiento de Cilindro Neumático.

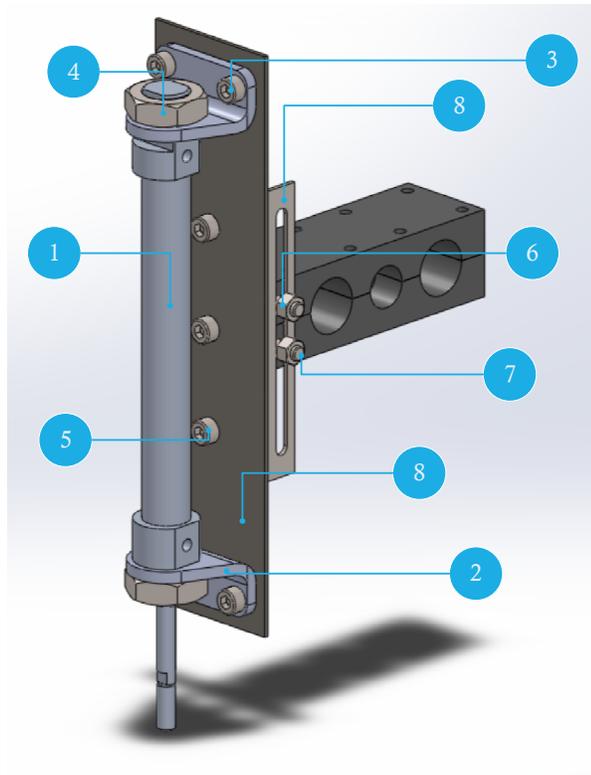


Figura 81. Cilindro de posicionamiento y ensamble vertical

Tabla 39. Detalle de componentes del cilindro de posicionamiento y ensamble vertical

| ID | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|----|-------------------------------|----------|
| 1 | SD-V-CL-610016D | 1 |
| 2 | AM-MONTAJE_LB_CILINDRO | 2 |
| 3 | AM-S-M512HX | 4 |
| 4 | AM-S-TM16 | 2 |
| 5 | AM-S-M58HX | 2 |
| 6 | AM-S-TM5 | 2 |
| 7 | AM-S-M545HX | 2 |
| 8 | SD-V-P-PLACA_SOPORTE_CILINDRO | 1 |
| 9 | P-PLACA_SOPORTE | 1 |

La cinemática del cilindro neumático que está encargado del desplazamiento vertical presenta un recorrido de su vástago de 100mm (hacia abajo) en un 1 segundo, luego de 3 segundos retorna a su posición inicial.

La dinámica a analizar en este mecanismo es el manejo de inercia del cilindro tanto al descender como al ascender.

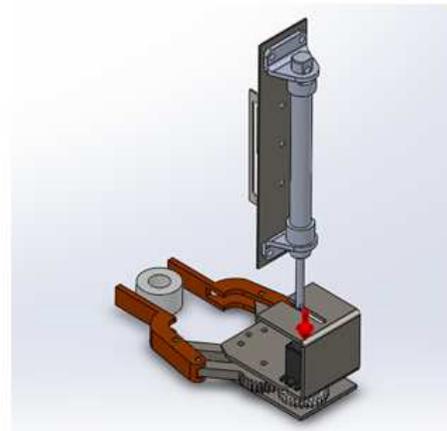
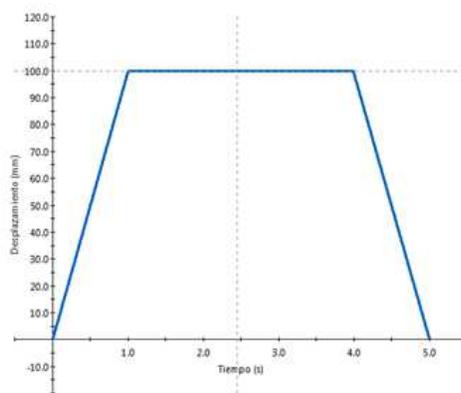


Figura 82. Curve de desplazamiento del cilindro

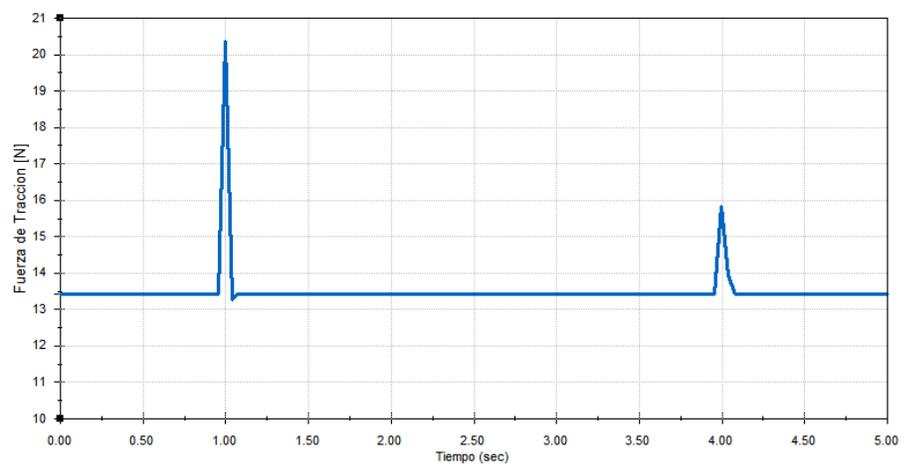


Figura 83. Fuerza de tracción sobre el vástago del cilindro

La grafica resultante de la simulación de la pinza y del disco permite determinar que el cilindro soportará una carga aproximada de 13.5N, pero al detenerse la inercia del mecanismo hace que soporte un pico de 20.5N aproximadamente.

Las siguientes ecuaciones describen el diámetro admisible del actuador neumático, tomando en consideración su fuerza de aplicación de 20.5N y una presión de funcionamiento de 6bar.

$$F_{aplicación} = 10 \cdot p \cdot \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4}\right) \rightarrow d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot F_{aplicación}}{5 \cdot p \cdot \pi}} [cm]$$

$$d \geq 6.59mm$$

Con este análisis podemos aseverar que el diámetro mínimo del actuador neumático debe ser 6.59mm, así el diámetro comercial próximo a este valor es 8mm.

Dado que un cilindro de 8mm no es accesible en el mercado nacional el diámetro próximo accesible y comercial es 16mm. Con este diámetro planteamos las siguientes ecuaciones:

$$F_{teorica} = 10 \cdot p \cdot \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4}\right) [N]$$

$$F_{teorica} = 10 \cdot 6 \cdot \pi \cdot \left(\frac{(1.6cm)^2}{4}\right) [N]$$

$$F_{teorica} = 120.64N$$

El factor de seguridad del cilindro neumático se describe como:

$$S_0 = \frac{F_{teorica}}{F_{aplicacion}}$$

$$S_0 \approx 5.88$$

3.2.5.3.4 Análisis de piezas críticas.

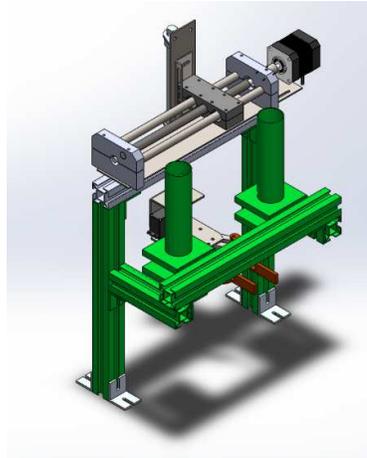


Figura 84. Pieza crítica de la celda de ensamble de discos

La estructura descrita en la Figura 84 es la parte del sistema más probable de poseer características fuera del rango permitido por estar en voladizo y soportar el peso de los discos de ensamble, las torres de almacenamiento y los perfiles de aluminio; es por ello que se plantea el análisis de deformación y esfuerzos sobre estos componentes.

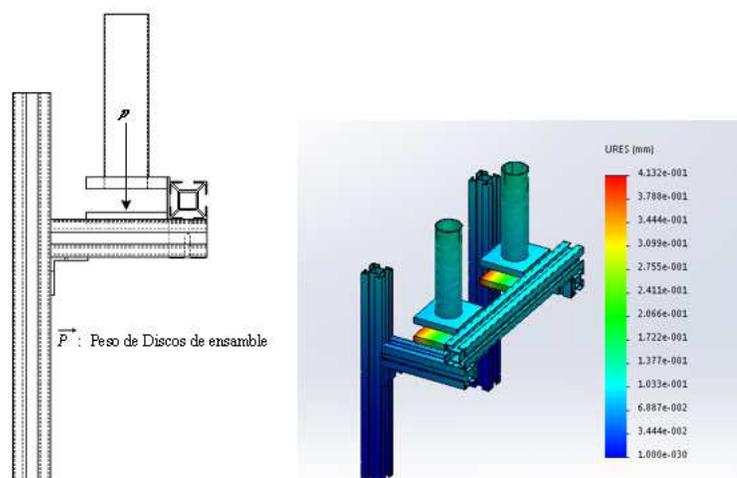


Figura 85. Análisis de elementos finitos en la estructura de almacenamiento de discos

EL peso P considerado sobre cada torre de almacenamiento corresponde al peso de 10 discos de máximo peso (500g x 10), la deformación máxima en el sistema es de 0.4mm por lo que se puede asegurar que el sistema se encuentra dentro de los rangos permisibles de diseño.

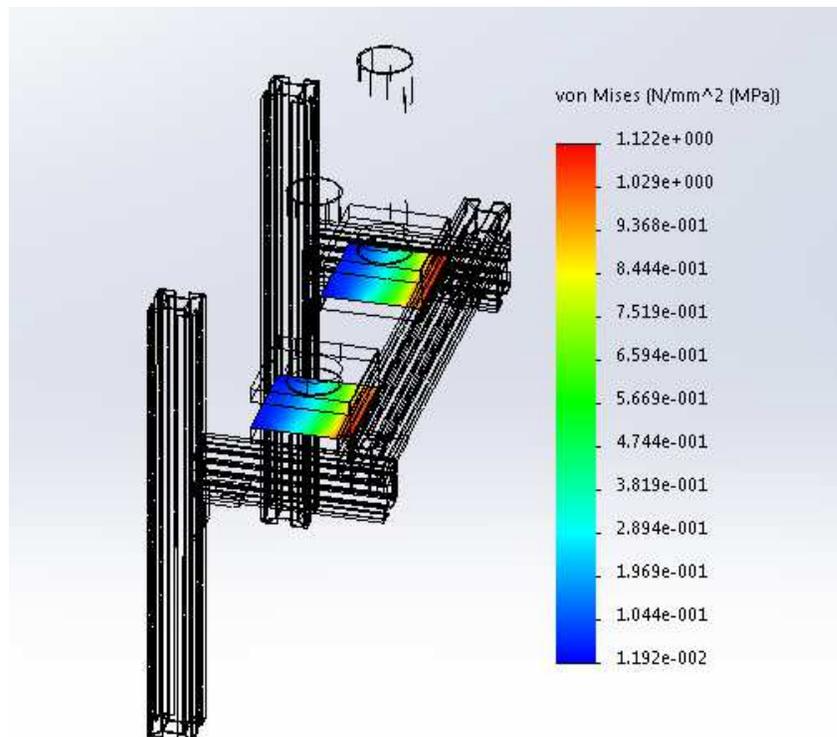


Figura 86. Celda de ensamble de discos – Análisis de esfuerzos de pieza crítica

Analizando la Figura 86 y considerando que el límite elástico del nylon es 60MPa se puede describir que:

$$S_0 = \frac{60 \text{ MPa}}{1.12 \text{ MPa}}$$

$$S_0 \approx 54$$

3.2.5.4 Resumen de diseño

Tabla 40. Características generales - Celda de ensamble de discos

| CARACTERISTICAS GENERALES | |
|--|--|
| NOMBRE DEL CELDA | Celda de Ensamble de Discos |
| FUNCIÓN DEL SISTEMA | Discrimina entre dos tipos de discos y ensambla los mismo sobre el Sistema de Transporte |
| ARCHIVO CAD DE ENSAMBLE DEL SISTEMA | ST-CELDA_DE_ENSAMBLE_DE_DISCO.sldasm |
| PESO DEL SISTEMA | 3.98 kg |
| LONGITUD MÁXIMA DEL SISTEMA | 0.42 m |
| MÁXIMA CARGA SOBRE EL SISTEMA | 0.5 kg (en la pinza de sujeción) |
| FACTOR DE SEGURIDAD ANTE ESFUERZOS (S_0) | 54 |
| NOMBRE PARTE (S_0) | SD-E_BASE_TORRE_DE_GRAVEDAD.sldprt |
| DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (Df_0) | 0.0004m |
| NOMBRE DE PARTE (Df_0) | SD-E-BASE_TORRE_DE_GRAVEDAD.sldprt |
| ACTUADORES EN EL SISTEMA | 1 x Motor a pasos (SY57STH56-1006) |
| | 1 x Servo Motor (HS755DB) |
| | 1 x Cilindro de Doble Efecto (610016D) |
| ACCEOSRIOS EN EL SISTEMA | 2 x Rodamientos Radiales (608RS FAG) |
| | 2 x Rodamientos Lineales (KH-1228) |

Tabla 41. Características de motor SD-PEH-M-SY57STH56_1006

| CARACTERISTICAS DE MOTOR SD-PEH-M-SY57STH56_1006 | |
|---|-------------------------|
| TORQUE DEL ACTUADOR | 0.9 N.m |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE | 1.08 |
| VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN | 7V |
| CORRIENETE NOMINAL | 1A |
| FORMA DE CONTROL | Pulsos por segundo (Hz) |
| VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO | 500 RPM (aprox. 700Hz) |

Tabla 42. Características de motor SD-M-M-HS755HB

| CARACTERISTICAS DE MOTOR SD-M-M-HS755HB | |
|--|----------------------|
| TORQUE DEL ACTUADOR | 1 N.m |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE | 1.45 |
| VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN | 5V |
| FORMA DE CONTROL | Ancho de pulso (PWM) |
| VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO | 200 °/s |

Tabla 43. Características de motor SD-M-M-HS755HB

| CARACTERISTICAS DE CILINDRO SD-PEV-CL-610016D | |
|--|------------------------------------|
| FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR | 120 N |
| FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE | 5.33 |
| PRESION DE ALIMENTACIÓN | 6 Bar |
| FORMA DE CONTROL | Electroválvula 5/2 (SD-PEV-V-652M) |

3.3 Dimensionamiento del compresor

El cálculo del consumo del aire en cilindros neumáticos es muy importante para determinar la capacidad del compresor necesario para abastecer a la demanda del sistema. Para el cálculo del consumo de aire de los cilindros neumáticos presentes en el FMS se emplea la siguiente formula:

$$Q = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot c \cdot n \cdot P \cdot N \cdot 10^{-6}$$

Donde:

$Q =$ Consumo de aire [Nl/min]

$d =$ Diámetro del cilindro [mm]

$c =$ Carrera del cilindro [mm]

$n =$ numero de ciclos completos por minuto

$P = \text{Presión relativa de trabajo} + 1 \text{ bar}$

$N = \text{Número de efectos del cilindro}$

$(N = 1 \text{ para simple efecto}, N = 2 \text{ para doble efecto})$

La tabla 43 presenta de forma detallada el consumo de aire de todos los cilindros neumáticos presentes en el sistema.

Tabla 44. Consumo de aire de cilindros neumáticos

| Cilindro (Código) | Carrera [mm] | Diámetro [mm] | Presión [bar] | n (CPM) | N | Q [NI/min] |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|---------|---|------------|
| ST-X-CL-68016D | 80 | 16 | 7 | 10 | 2 | 2.25 |
| ST-V-CL-65016D | 50 | 16 | 7 | 10 | 2 | 1.41 |
| ST-H-CL-616016D | 160 | 16 | 7 | 10 | 2 | 4.50 |
| SE-H-CL-68016D | 80 | 16 | 7 | 10 | 2 | 2.25 |
| SE-V-CL-65016D | 50 | 16 | 7 | 10 | 2 | 1.41 |
| SD-V-CL-610016D | 100 | 16 | 7 | 10 | 2 | 2.81 |
| Consumo | | | | | | 14.64 |
| 20% | | | | | | 17.56 |
| Consumo parcial | | | | | | 0.62CFM |

Para determinar el consumo del sistema de vacío se toma como referencia el diámetro requerido de la ventosa, el cual es de 20 [mm], con esta información se obtiene que el consumo de aire es de $0.17 \text{ m}^3/\text{h}$.

Rango de succión requerido como una función del diametro de la ventosa.

| Ventosa requerido Ø | Rango de succión Vs |
|---------------------|--|
| hasta 20 mm | 0,17 m ³ /h 2,83 l/min |
| hasta 40 mm | 0,35 m ³ /h 5,83 l/min |
| hasta 60 mm | 0,5 m ³ /h 8,3 l/min |
| hasta 90 mm | 0,75 m ³ /h 12,7 l/min |
| hasta 120 mm | 1 m ³ /h 16,6 l/min |

Figura 87. Celda de ensamble de discos – Análisis de esfuerzos de pieza critica (Camozzi, 2008)

A partir de la tabla 14 se determina que el consumo máximo de los cilindros neumáticos es de 0.62 [CFM] adicionalmente en la tabla 15 se especifica que el consumo de aire del sistema de vacío es 0.17 [m^3/h] (0.1 CFM), en total 0.72 CFM consumidos por todo el sistema.

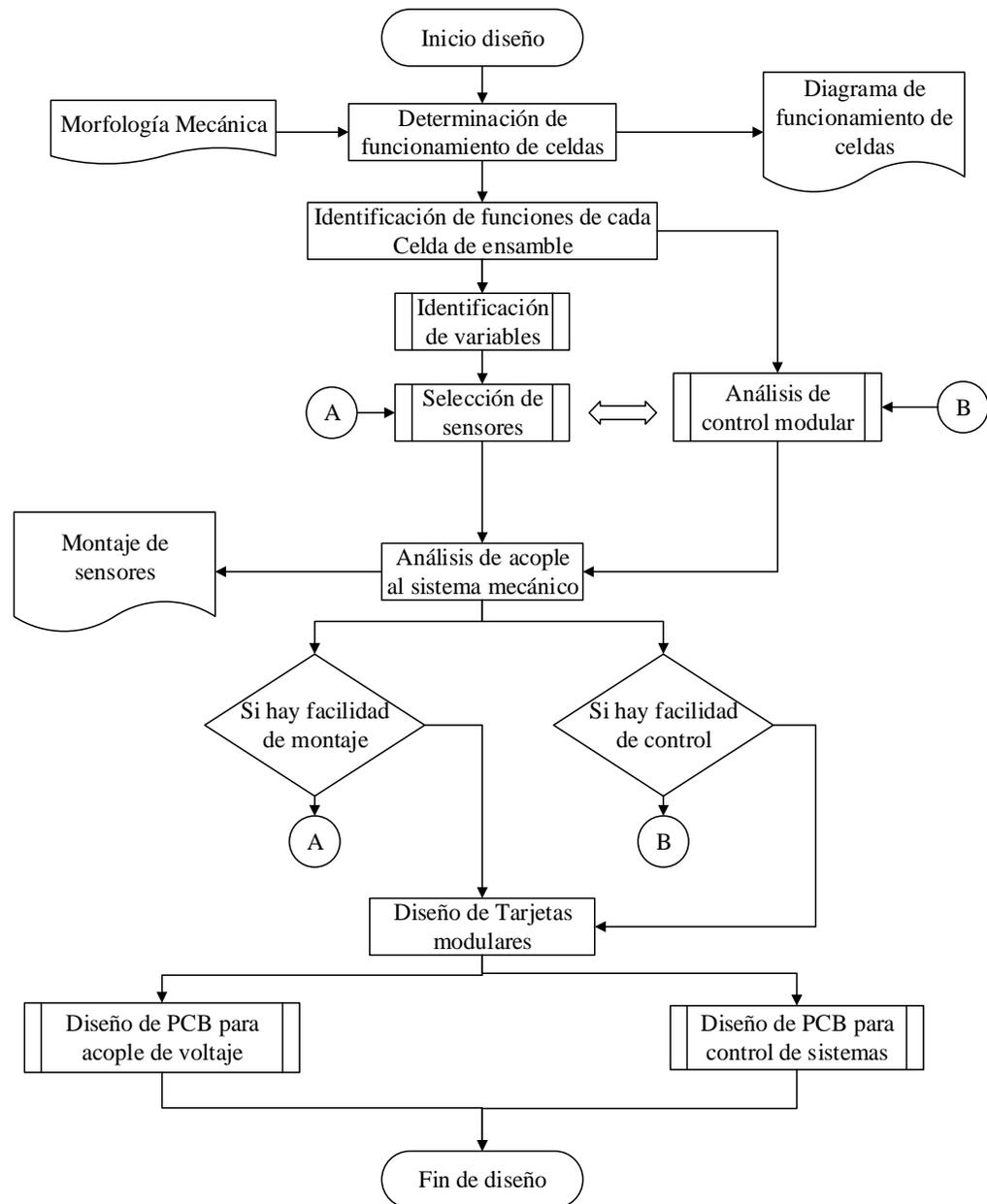
Como el receptor de aire debe ser de al menos 5 galones por [CFM] para obtener resultados óptimos se tiene que la capacidad requerida para el compresor es de 3.60 [Gal] o 13.3 [l]. El compresor seleccionado tiene una capacidad de 25 [l] con una potencia de 2HP



Figura 88. Compresor de 25 lt
(BP, 2014)

3.4 Diseño Electrónico.

Cuadro 29. Modelo de diseño electrónico



Para el desarrollo del diseño electrónico es necesario tomar en cuenta la morfología mecánica del FMS, plantada en el diseño mecánico, debido a que ésta delimitará la forma de funcionamiento de cada celda de ensamble (Proceso de ensamble).

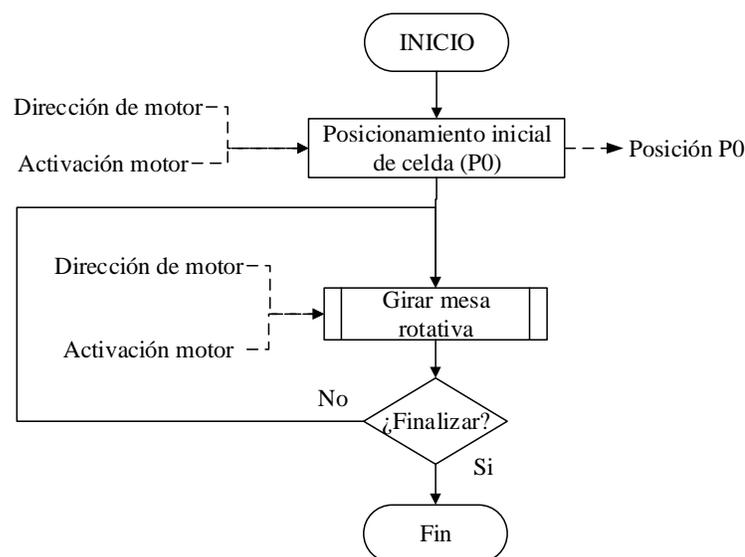
Por otro lado, con el detalle del funcionamiento de cada celda de ensamble se precisará las funciones internas de cada proceso y con ello las variables vinculadas a cada sensor y actuador en el sistema.

Una vez precisado las variables dentro de cada celda se procederá a la selección de sensores de acuerdo a las funciones inmersas en el proceso de ensamblaje, posteriormente, se analizará su adaptación mecánica (montajes de sensores). Cabe destacar que en paralelo a la información de los tipos de sensores vinculados al control de cada celda de ensamble también se analizará y planteará la estructura de control modular del sistema FMS.

Para finalizar el diseño electrónico se planteará el desarrollo de tarjetas modulares a partir de las características descritas en el análisis del control modular y la selección de sensores del sistema.

3.4.1 Funcionamiento de celda de transporte

Cuadro 30. Diagrama de funcionamiento de la celda de transporte

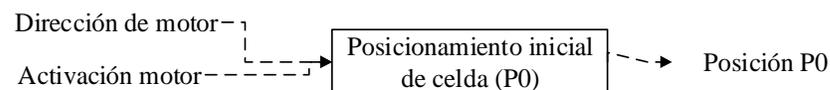


El funcionamiento de esta celda de transporte inicia con el posicionamiento en P_0 (posición geométrica inicial pre definida), éste estado físico de la celda permitirá mantener constante las condiciones iniciales de funcionamiento descrito en la gráfica 83. El actuador relacionado a esta celda es el motor STR-M-SY57STH56_1006, dimensionado en el capítulo III diseño mecánico, el mismo que permitirá girar la mesa rotativa hacia cada celda de ensamble posicionando las piezas base, sobre las cuales se ensamblarán el resto de componentes (ejes, discos y tapas) frente a cada estación de ensamble.

3.4.1.1 Funciones de la celda de transporte

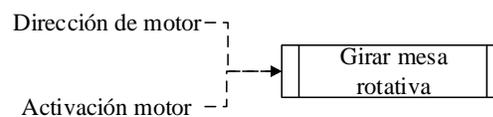
Tomando como referencia al Cuadro 30, funcionamiento de la celda de transporte, podemos identificar dos funciones en este sistema: “Posicionamiento inicial de celda (P0)” y “Girar mesa rotativa”.

Cuadro 31. Función posicionamiento inicial – Celda de Transporte



El posicionamiento inicial de la celda consiste en girar la mesa de transporte activando las tareas “Dirección de motor” y “Activación motor” (sentido de giro y accionamiento de motor respectivamente) hasta encontrar una posición física determinada por el usuario en el montaje del módulo (Posición P0).

Cuadro 32. Función girar mesa rotativa – Celda de Transporte



La función “girar mesa rotativa” es la encargada de girar el sistema hacia cada celda de ensamble y detenerse en ellas mientras las estaciones ensamblan sus

componentes. Las tareas utilizadas en esta función son: “Activación motor” y “Dirección motor”.

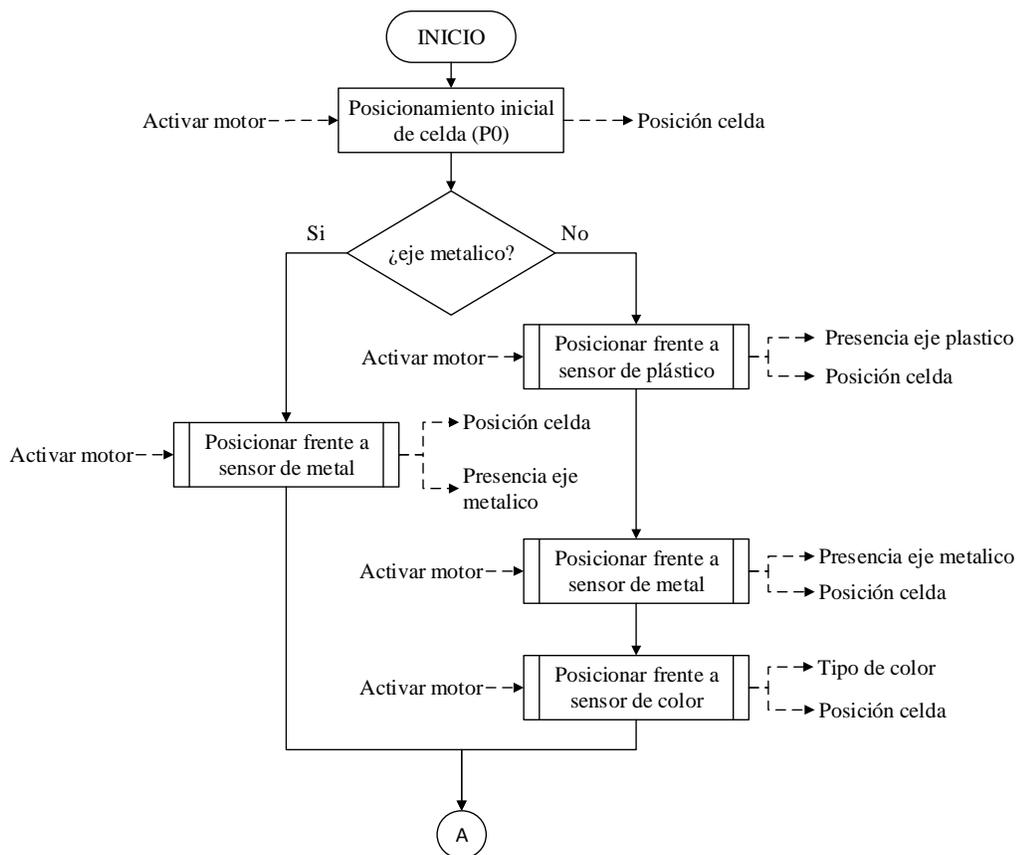
3.4.1.2 Variables de la celda de transporte

Tabla 45. Variables físicas de la celda de transporte

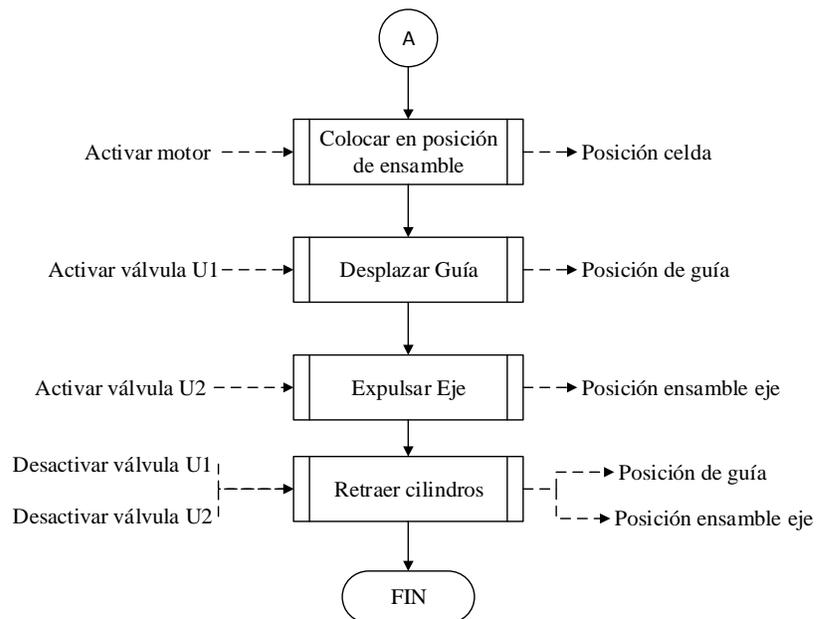
| TAREA o ESTADO | VARIABLE | TIPO |
|------------------|----------------|---------|
| Dirección motor | STR_dirMotor | Salida |
| Activación motor | STR_aMotor | Salida |
| Posición P0 | STR_pInicialP0 | Entrada |

3.4.2 Funcionamiento de la celda de ensamble de ejes

Cuadro 33. Diagrama de operación de la celda de ensamble de ejes



CONTINUA ➡

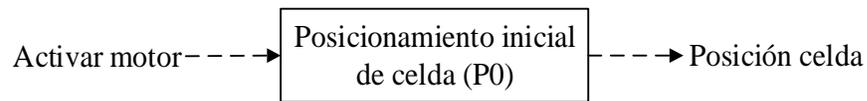


La celda de ensamble de ejes está facultada de mecanismos y actuadores que le permiten cumplir con la tarea de ensamblar ejes. Estos mecanismos necesitan de una interacción con la electrónica de sensores y actuadores para posibilitar una sinergia entre ambas partes, para lo cual se detalla el funcionamiento de la celda de ensamble y las variables inmersas en el proceso. (Cuadro 33).

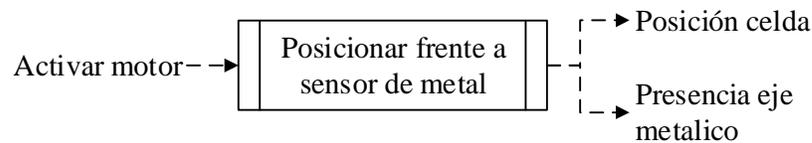
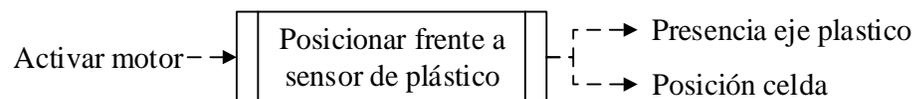
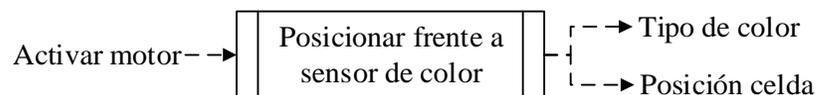
Para empezar el proceso de ensamble de ejes es necesario especificar el tipo de eje a ensamblar (metálico, plástico negro o blanco) y determinar la posición y la presencia de la base ubicada en la celda de transporte. Una vez obtenida esta información se posicionara la celda e iniciara la discriminación y selección del eje.

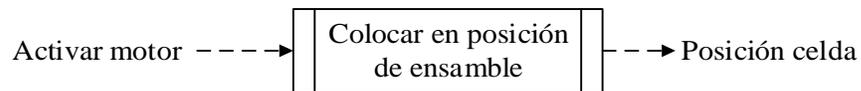
3.4.2.1 Funciones de la celda de ensamble de ejes.

Para ensamblar un eje se precisa inicialmente de la función “posicionamiento inicial de celda (P0)”, en donde, la mesa giratoria se desplazará por medio de un actuador rotativo (Motor a pasos SE-M-M-SY57STH56_1006) hasta que el estado “posición celda” detecte la posición más próxima determinado un estado referencial de funcionamiento.

Cuadro 34. Posicionamiento inicial de celda

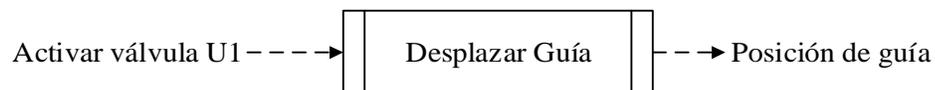
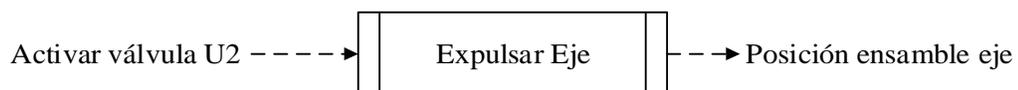
Una vez se ha posicionado en P_0 (posición geométrica pre definida) la celda de ensamble de ejes buscará el eje requerido en función de las propiedades físicas del eje a ensamblar, para lo cual, se emplean tres funciones descritas en los cuadros Cuadro 35, Cuadro 36 y Cuadro 37). Los estados ligados a estas funciones son: “presencia eje metálico”, “presencia eje plástico” y “tipo de color” respectivamente, adicionalmente se emplea la tarea “activar motor” para desplazar la mesa giratoria hacia cada sensor y así discriminar el tipo de eje a ensamblar.

Cuadro 35. Función de posicionamiento (Sensor de metal)**Cuadro 36. Función de posicionamiento (Sensor de plástico)****Cuadro 37. Función de posicionamiento (Sensor fotoeléctrico)**

Cuadro 38. Función de posicionamiento (Posición de ensamble)

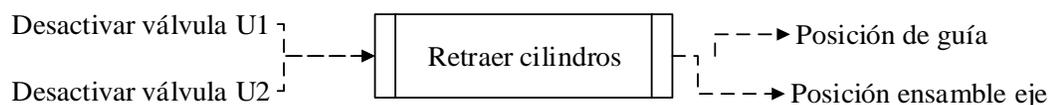
A partir de la identificación de la posición inicial P0 y del reconocimiento del eje (Cuadro 33, Cuadro 34, Cuadro 35, Cuadro 36 y Cuadro 37) se precisa determinar la posición de ensamble, para lo cual se toma como referencia el estado “posición celda” identificando el número de veces que ha sido activado, dado que mecánicamente en cada giro de 45° la mesa giratoria activará un cierto número de veces este estado, se determina el número de posiciones que existe entre la posición actual y la posición inicial o de ensamble.

Una vez se ha colocado el eje en su posición de ensamble se procede a ensamblar el mismo utilizando dos funciones: “desplazar guía (cuadro 36)” y “expulsar eje (cuadro 38)”, la primera función ligada a la tarea “activar válvula U1” (activación de la electroválvula del cilindro SE-V-CL-68016D) y la segunda a la tarea “activar válvula U2” (activación la electroválvula del cilindro SE-X-CL-65016D). Los estados “posición guía” (asociada a la posición del componente SE-V-P-BOCIN_GUIA) y “posición ensamble eje” (asociada a la posición del componente SE-X-P-PALANCA) determinarán el fin de las funciones “desplazar guía” y “expulsar eje” respectivamente.

Cuadro 39. Función de posicionar guía (Cilindro neumático SE-V-CL-68016D)**Cuadro 40. Función de expulsión de ejes (Cilindro neumático SE-X-CL-65016D)**

Como última acción del sistema se encuentra la función “retraer cilindros” (Cuadro 41. Función de retraer cilindros) encargada de volver a su posición inicial los cilindros neumáticos que previamente han sido activados.

Cuadro 41. Función de retraer cilindros



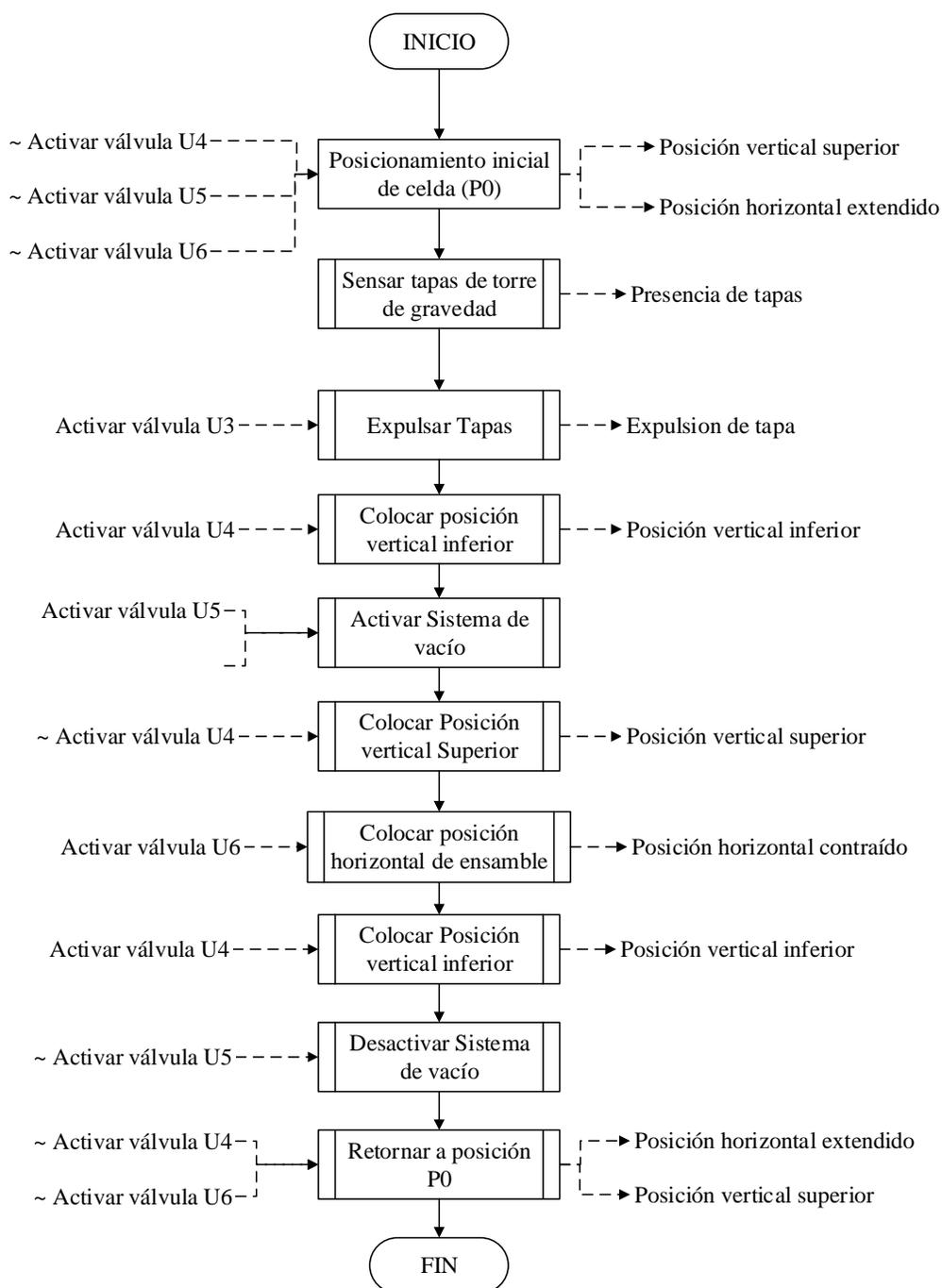
3.4.2.2 Variables de la celda de ejes

Tabla 46. Variables físicas de la celda de ensamble de ejes

| TAREA o ESTADO | VARIABLE | TIPO |
|------------------------|------------------|---------|
| Activar motor | SE_aMotor | Salida |
| Posición celda | SE_cPosicion | Entrada |
| Presencia eje plástico | SE_sPresenciaPLA | Entrada |
| Presencia eje metálico | SE_sPresenciaME | Entrada |
| Tipo de color | SE_sColor | Entrada |
| Activar válvula U1 | SE_aValvulaU1 | Salida |
| Activar válvula U2 | SE_aValvulaU2 | Salida |
| Posición de guía | SE_pGuia | Entrada |
| Posición ensamble eje | SE_pExpulsar | Entrada |

3.4.3 Funcionamiento de la celda de ensamble de tapas

Cuadro 42. Diagrama de operación de la celda de ensamble de tapas



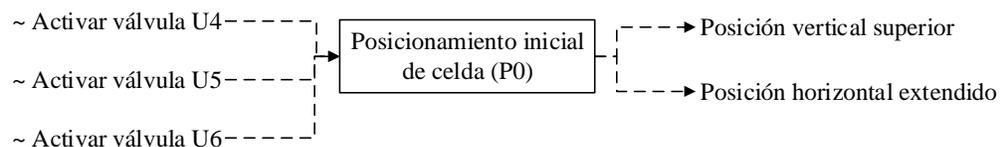
La celda de ensamble de tapas está dividida en múltiples funciones encargadas de cumplir las tareas de monitoreo y ensamble, estas funciones agrupan a variables ligadas a los actuadores y sensores presentes en la celda de ensamble como lo describe el Cuadro 42.

3.4.3.1 Funciones de la celda de ensamble de tapas

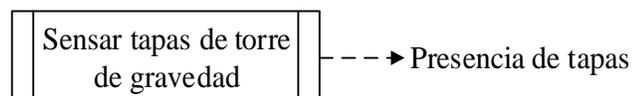
El proceso de ensamble de tapas comienza con el posicionamiento inicial de la celda (P_0) donde se desactivan las electroválvulas ligadas a las tareas “~Activar válvula U4”, “~Activar válvula U5” y “~Activar válvula U6” (Cuadro 42) respectivamente, con lo cual, los estados “posición vertical superior” y “posición horizontal extendido” se activaran asegurando que los actuadores neumáticos se encuentren en su posición inicial.

Adicionalmente se monitorea la presencia de tapas en la torre de gravedad, como muestra el cuadro 44 que determinará la función “Sensar Tapas de torre de gravedad”.

Cuadro 43. Función de posicionamiento inicial de la celda (P0)

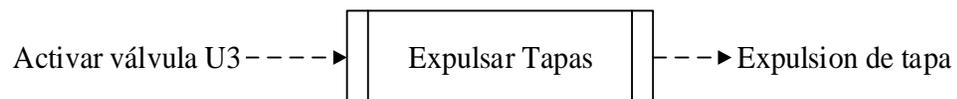


Cuadro 44. Función de sensar tapas de torre de gravedad



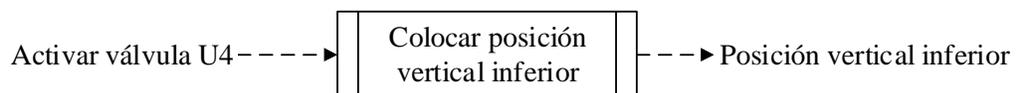
A partir de la identificación de la presencia del componente en la torre de gravedad se da paso al inicio del ensamble del mismo, inicialmente con la función “Expulsar tapas” ligada a la tarea “Activar válvula U3”, que activa el cilindro neumático ST-V-CL-68016D, colocando la tapa en su posición de pre ensamble (posición donde será sujeta por la ventosa).

Cuadro 45. Función de expulsar tapas

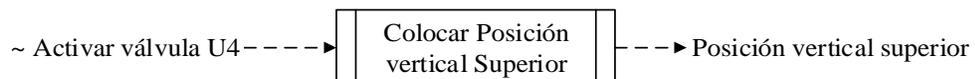


Las funciones “colocar posición vertical inferior” y “colocar posición vertical superior” están relacionadas con la activación de la tarea “Activar válvula U4” la misma que desplazará el vástago del cilindro ST-V-CL-65016D de la posición superior (estado “posición vertical superior”) a la posición inferior (estado “posición vertical inferior”) en conjunto con la ventosa de sujeción.

Cuadro 46. Función de expulsar tapas



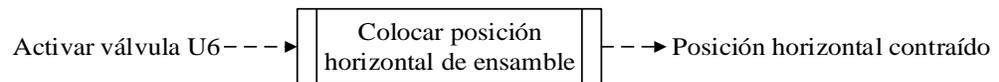
Cuadro 47. Función situar posición vertical superior



La función de posicionamiento horizontal está ligada a la tarea “activar válvula U6” encargada del desplazamiento del cilindro ST-V-CL-616016D, el cual transportará: el cilindro vertical, la ventosa de sujeción y el componente de ensamble

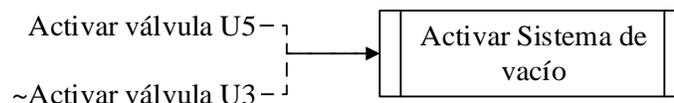
(tapa), hasta su posición final (estado “posición estado contraído”) sobre la pieza base en la celda de transporte.

Cuadro 48. Función colocar posición horizontal de ensamble

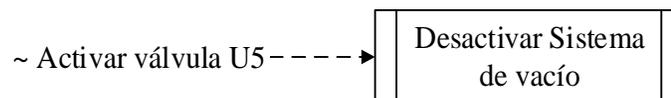


La activación del sistema de vacío (mecanismo de sujeción) está descrito en la función “Activar sistema de vacío”, en donde, la tarea “activar válvula U5” disparará la función activando el eyector neumático en conjunto con la ventosa.

Cuadro 49. Función activar sistema de vacío

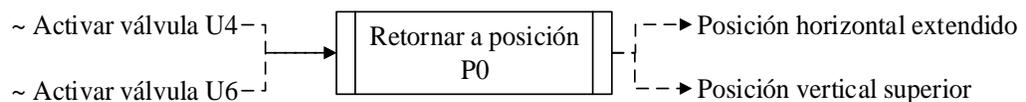


Cuadro 50. Función desactivar sistema de vacío



La finalización del proceso de ensamble de tapas está ligado a la función “retornar a posición P0” en donde se desactiva las tareas “activar válvula U4” y “activar válvula U6” desplazando el vástago de los cilindros a su posición inicial (estado “posición horizontal extendido” y “posición vertical superior”).

Cuadro 51. Función retornar a posición P0



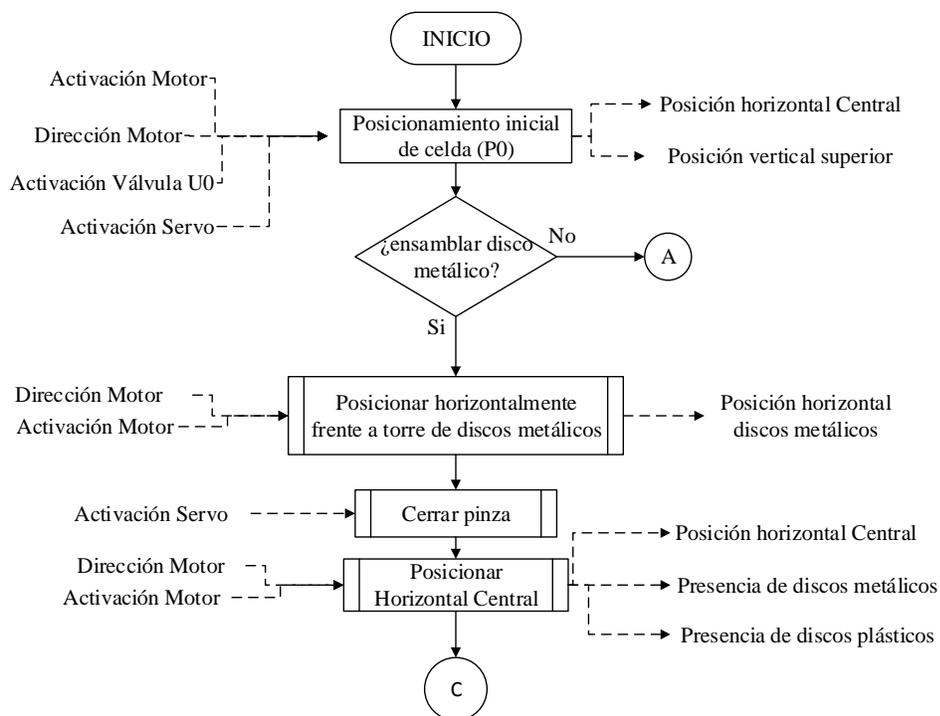
3.4.3.2 Variables de la celda ensamble de tapas

Tabla 47. Variables físicas de la celda de ensamble de tapas

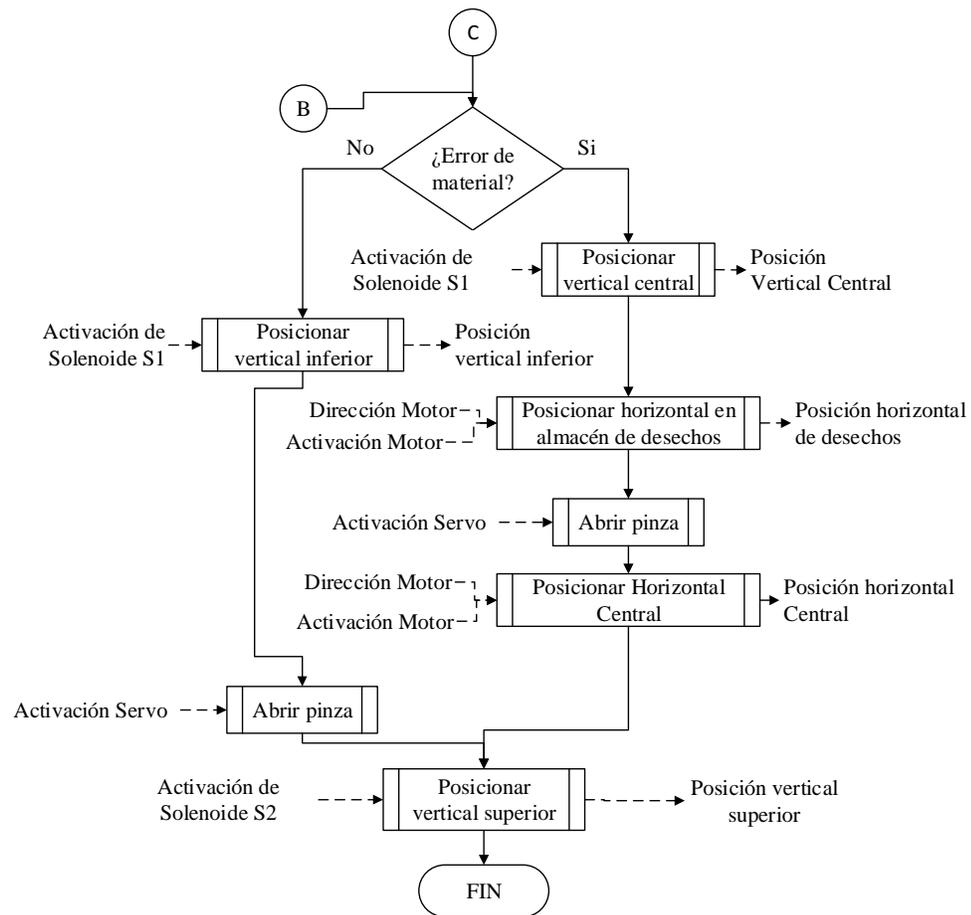
| TAREA o ESTADO | VARIABLE | TIPO |
|-------------------------------|------------------|---------|
| Activar válvula U3 | ST_aValvulaU3 | Salida |
| Activar válvula U4 | ST_aValvulaU4 | Salida |
| Activar válvula U5 | ST_aValvulaU5 | Salida |
| Activar válvula U6 | ST_aValvulaU6 | Salida |
| Posición vertical superior | ST_pVerticalS | Entrada |
| Posición horizontal extendido | ST_pHorizontalP0 | Entrada |
| Presencia de tapas | ST_sTapasAlmacen | Entrada |
| Expulsión de tapa | ST_pExplusion | Entrada |
| Posición vertical inferior | ST_pVerticalI | Entrada |
| Posición horizontal contraído | ST_pHorizontalE | Entrada |

3.4.4 Funcionamiento de celda de ensamble de discos

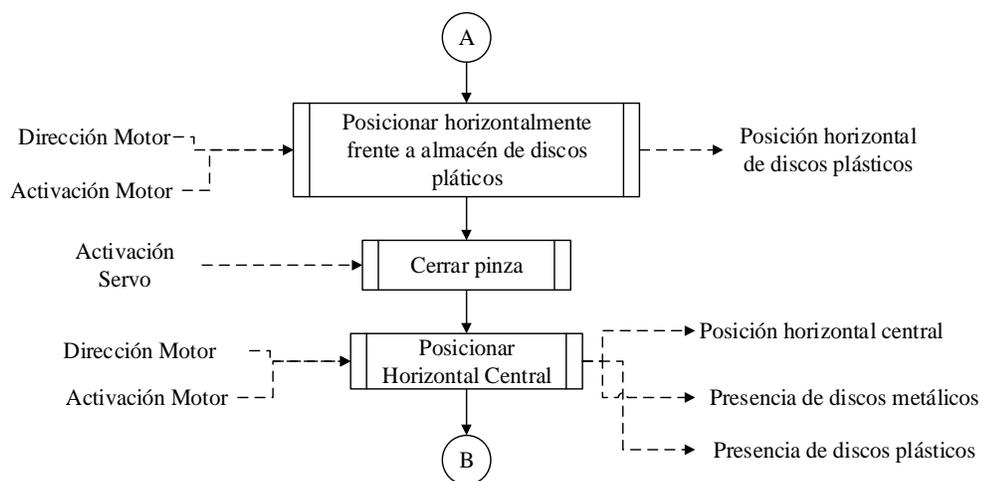
Cuadro 52. Diagrama de funcionamiento de la celda de ensamble de discos (A)



CONTINUA ➡



Cuadro 53. Diagrama de funcionamiento de la celda de ensamble de discos (B)



El funcionamiento de esta celda está ligada a parámetros de ensamble que definirán el tipo de disco a ensamblar de acuerdo a su posición de ensamble sobre el disco de transporte y la presencia o no de una pieza base.

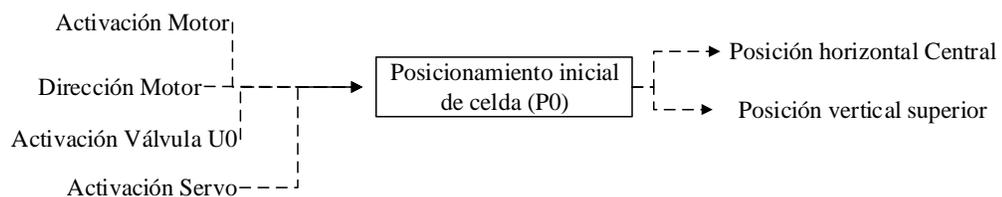
Cada disco de ensamble será monitoreado para determinar el tipo de material y la presencia o ausencia del mismo. Si el material del disco es erróneo, será depositado en un almacén común.

Los actuadores relacionados con el funcionamiento de esta celda de ensamble son: SD-V-CL-610016D (cilindro encargado del posicionamiento vertical), SD-H-P-TORNILLO_SIN_FIN (mecanismo tornillo sin fin encargado del posicionamiento horizontal) y SD-S-P-PINZA_MECANICA (mecanismo encargado de la sujeción de discos para su ensamble).

3.4.4.1 Funciones de la celda de ensamble de discos

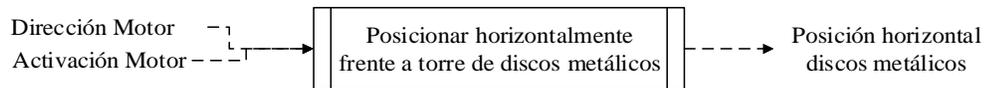
La primera función que el sistema realiza es el “posicionamiento inicial de celda (P0)”, las tareas que activan esta función son: “Activación Motor”, “dirección Motor”, “Activación válvula U0” (activación de solenoides S1 y S2 de la válvula U0 que gobiernan al cilindro vertical) y “Activación Servo” (tarea que acciona el mecanismo de pinza para sujetar y soltar discos).

Cuadro 54. Función posicionamiento inicial – Celda de ensamble de discos

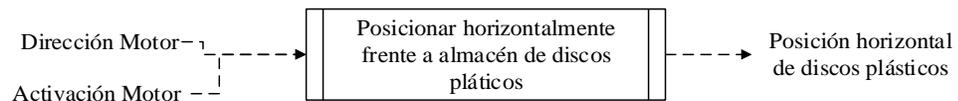


El posicionamiento inicial del mecanismo finaliza con la activación de los estados “Posición horizontal Central” y “Posición vertical superior” indicando que el mecanismo se encuentra en su posición central horizontal, con el cilindro neumático vertical retraído.

Cuadro 55. . Función posicionamiento horizontal frente a torre de discos metálicos – celda de ensamble de discos



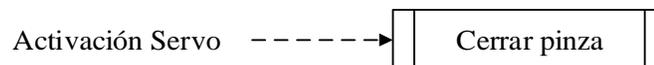
Cuadro 56. Función posicionamiento horizontal frente a torre de discos plásticos – celda de ensamble de discos



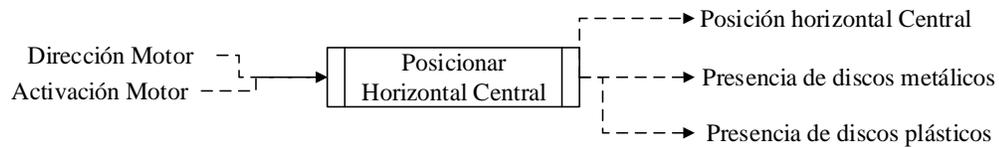
La siguiente función de la celda de ensamble de discos es el posicionamiento frente a las torres de almacenamiento (cuadros Cuadro 55 y Cuadro 56). Para realizar esta función el mecanismo de tornillo sin fin realiza la tarea “Activación Motor” que desplazará horizontalmente el sistema hacia la derecha o izquierda buscando la torre de almacenamiento correspondiente. El sentido de giro del motor será especificado por la tarea “Dirección Motor”.

Esta función tiene su fin con la activación de los estados “Posición horizontal de discos metálicos” y “Posición horizontal de disco plásticos”, siendo estas las posiciones de las torres de discos de material plástico y metálico respectivamente.

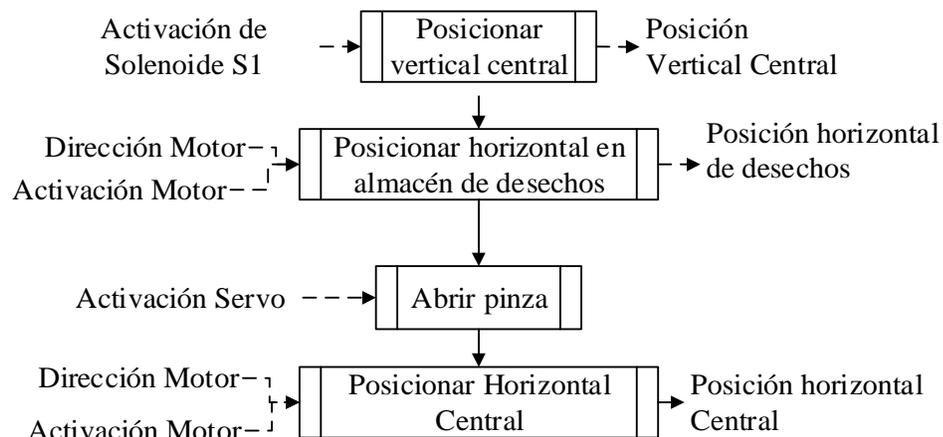
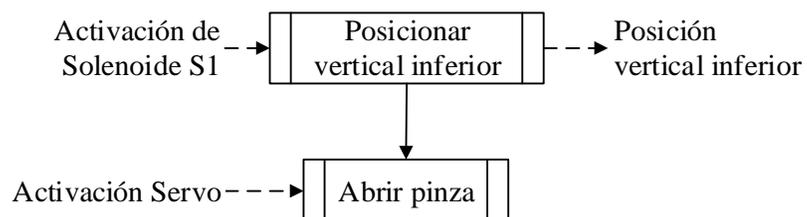
Cuadro 57. Función cerrar pinza – Celda de ensamble de discos



A continuación del posicionamiento frente a una torre de almacenamiento el sistema accionará el mecanismo de sujeción con la tarea “Activación Servo” cerrado la pinza y sujetando el disco.

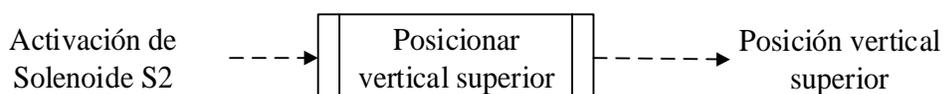
Cuadro 58. Función posicionar horizontal central – celda de ensamble de discos

Para sacar un disco de ensamble de su torre de almacenamiento el mecanismo de tornillo de sin fin se desplazará hacia su posición central horizontal sujetando el disco. En esta posición central se evaluará el tipo de material del disco identificado por los estados “Presencia de discos metálicos” y “Presencia de discos plásticos”.

Cuadro 59. Funciones para el proceso de desecho de discos - celda de ensamble de discos**Cuadro 60. Funciones del proceso de ensamble de discos – celda de ensamble de discos**

Con la información del material del disco se puede dictar dos procesos, en caso de ser erróneo el material: Proceso de desecho de discos (Cuadro 59); de ser correcto el material: Proceso de ensamble de discos (Cuadro 60).

Cuadro 61. Función posicionar vertical superior (Celda de ensamble de discos)



Para finalizar el proceso de ensamble el mecanismo regresa a su posición inicial P0 retrayendo el cilindro vertical.

3.4.4.2 Variables de la celda de ensamble de discos

Tabla 48. Variables físicas de la celda de ensamble de discos

| TAREA o ESTADO | VARIABLE | TIPO |
|---|-------------------|---------|
| Activación Motor | SD_aMotor | Salida |
| Dirección Motor | SD_dirMotor | Salida |
| Activación Solenoide S1 | SD_aValvulaS1 | Salida |
| Activación Solenoide S2 | SD_aValvulaS2 | Salida |
| Activación Servo | SD_aServoMotorP | Salida |
| Posición vertical superior | SD_pVerticalS | Entrada |
| Posición vertical central | SD_pVerticalC | Entrada |
| Posición vertical inferior | SD_pVerticalI | Entrada |
| Posición horizontal central | SD_pHorizontalC | Entrada |
| Posición horizontal de discos metálicos | SD_pHorizontalME | Entrada |
| Posición horizontal de discos plásticos | SD_pHorizontalPLA | Entrada |
| Presencia de discos metálicos | SD_sPresenciaME | Entrada |
| Presencia de discos plásticos | SD_sPresenciaPLA | Entrada |

3.4.5 Solución de Control.

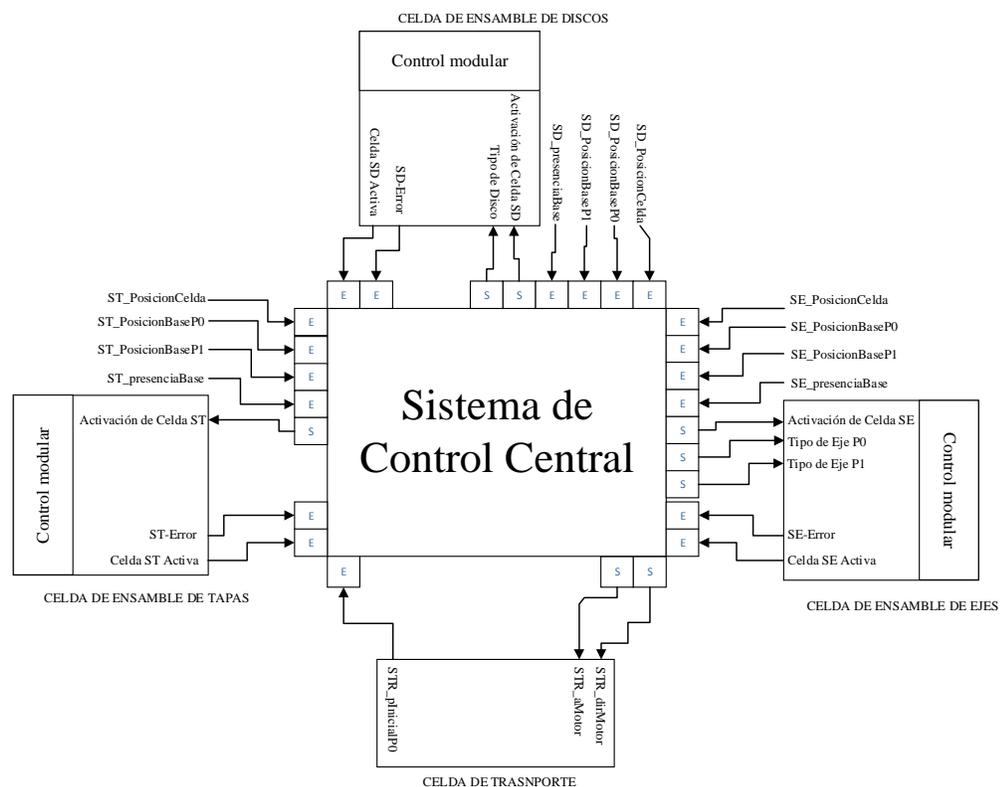
El modelo aplicado para el control del FMS se basa en la discriminación de dos niveles jerárquicos de control, un control central encargado de supervisar y controlar las señales del proceso en general; y un control modular destinado a ejecutar las secuencias de ensamble particulares de cada celda (Rodríguez, Beltran, & Toledo, 2011, pág. 12).

Los niveles de control planteados en el FMS discriminan las tareas que deben cumplir cada celda de ensamble además del orden y secuencia en que deben ejecutarse. Para lo cual, se especifica el concepto de cada nivel de control como:

- **Control central**, es el encargado de activar y monitorear la actividad de cada celda de ensamble, especificar las características de los componentes a ser ensamblados y controlar el número de ensambles del FMS.
- **Control modular**, es el encargado de ejecutar y monitorear las secuencias de ensamble por medio de actuadores (neumáticos y eléctricos) y sensores respectivamente.

Para describir el sistema de control central se plantea el Cuadro 62 que define las variables de supervisión y control generales, las cuales serán usadas como información para la ejecución de las secuencias de ensamble en cada celda de ensamble (FAC) dentro del control modular.

Cuadro 62. Sistema de control central



Para la definición del control modular se toma como referencia los procesos descritos en los cuadros Cuadro 30, Cuadro 33, Cuadro 42, Cuadro 52 y Cuadro 53 (diagramas de funcionamiento de cada celda), los cuales detallan las secuencias de ensamble de cada celda y las variables físicas de sensores y actuadores inmersas en su funcionamiento. Dichas variables se citan en la siguiente tabla.

Tabla 49. Resumen de variables físicas del SFMDengine 1.07

| VARIABLE | TIPO | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|---------|--|
| STR_dirMotor | Salida | Determina el sentido de giro para la mesa giratoria |
| STR_aMotor | Salida | Activa motor de accionamiento de mesa giratoria |
| STR_pInicialP0 | Entrada | Posición física inicial de celda de transporte |
| SE_aMotor | Salida | Activa Motor asociado a la mesa giratoria de la celda SE |
| SE_cPosicion | Entrada | Variable de posicionamiento de mesa giratoria SE |
| SE_sPresenciaPLA | Entrada | Variable que indica la presencia de ejes plásticos |
| SE_sPresenciaME | Entrada | Variable que indica la presencia de ejes metálicos |
| SE_sColor | Entrada | Variable que indica el color (blanco – negro) del eje |
| SE_aValvulaU1 | Salida | Activación de la electroválvula U1 |
| SE_aValvulaU2 | Salida | Activación de la electroválvula U2 |
| SE_pGuia | Entrada | Variable que indica la posición del cilindro vertical |
| SE_pExpulsar | Entrada | Variable que indica la posición del cilindro horizontal |
| ST_aValvulaU3 | Salida | Activa electroválvula U3 |
| ST_aValvulaU4 | Salida | Activa electroválvula U4 |
| ST_aValvulaU5 | Salida | Activa electroválvula U5 |
| ST_aValvulaU6 | Salida | Activa electroválvula U6 |
| ST_pVerticalS | Entrada | Variable de posición vertical superior del cilindro neumático |
| ST_pHorizontalP0 | Entrada | Variable de posición horizontal inicial del cilindro neumático |
| ST_sTapasAlmacen | Entrada | Variable que indica presencia de tapas en torre de gravedad |
| ST_pExpulsion | Entrada | Variable que indica el posicionamiento de expulsión de tapas |
| ST_pVerticalI | Entrada | Variable de posición vertical inferior del cilindro neumático |
| ST_pHorizontalE | Entrada | Variable de posición horizontal de ensamble |
| SD_aMotorSD | salida | Variable que activa al motor del mecanismo de tornillo sin fin |

CONTINUA 

| | | |
|--------------------------|---------|--|
| SD_dirMotorSD | salida | Variable que determina la dirección de giro del motor asociado al mecanismo tornillo sin fin |
| SD_aValvulaS1 | Salida | Variable sobre la válvula U0 que desplaza verticalmente el vástago del cilindro neumático hacia abajo |
| SD_aValvulaS2 | Salida | Variable sobre la válvula U0 que desplaza verticalmente el vástago del cilindro neumático hacia arriba |
| SD_aServoMotorP | Salida | Variable que activa la apertura del mecanismo pinza. |
| SD_pVerticalS | Entrada | Posición Vertical Superior |
| SD_pVerticalC | Entrada | Posición Vertical Central |
| SD_pVerticalI | Entrada | Posición Vertical Inferior |
| SD_pHorizontalC | Entrada | Posición Horizontal central |
| SD_pHorizontalME | Entrada | Posición Horizontal frente a torre de discos metálicos |
| SD_pHorizontalPLA | Entrada | Posición Horizontal frente a torre de discos plásticos |
| SD_sDiscosME | Entrada | Detección de discos metálicos |
| SD_sDiscosPLA | Entrada | Detección de discos plásticos |

Una vez detallado las variables de cada celda de ensamble se puede determinar que el accionamiento de las variables de salida y la lectura de las variables de entrada serán realizadas por un micro controlador con un costo inferior a realizarlo con un PLC de uso industrial.

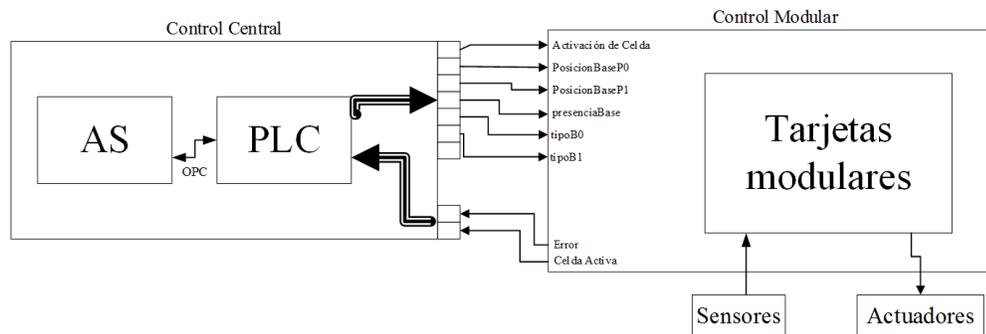
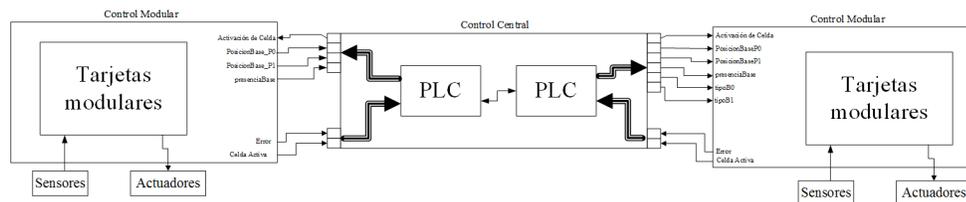
Para el desarrollo del control central se considera el uso del PLC Siemens S7-1200 y el software Automation Studio como software de monitoreo, en tanto para el control modular se desarrollará una tarjeta electrónica común para todas las celdas, esta tarjeta será programada sobre la plataforma Arduino.

3.4.6 Modelos de control

El primer modelo de solución planteado describe el uso de un PLC Siemens y el software Automation Studio para las tareas de control y monitoreo de las celdas flexibles de ensamble. La comunicación entre el PLC y el software de monitoreo será realizado a través de protocolo OPC.

Para el control de las secuencias de ensamble de cada celda se determinó el uso de tarjetas electrónicas modulares programadas bajo la plataforma de Arduino.

Como segunda solución se plantea el uso de una red de PLCs para el control de las celdas flexibles de ensamble manteniendo el uso de tarjetas electrónicas para el control de las secuencias de ensamble.

Cuadro 63. Modelo de solución de control (A)**Cuadro 64. Modelo de solución de control (B)**

3.4.7 Instrumentación del SFMDengine 1.07

Los tipos de sensores que se usarán en este FMS son: sensores inductivos, sensores capacitivos, sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos e interruptores de accionamiento mecánico. Para la selección de estos sensores se discriminarán a las variables del sistema de acuerdo a su modo de funcionamiento en cada celda de ensamble.

3.4.7.1 Sensores Magnéticos

Tabla 50. Variables físicas asociadas a un sensor magnético (REED)

| VARIABLE | DESCRIPCIÓN |
|------------------|--|
| SE_pGuia | Variable que indica la posición del cilindro vertical |
| SE_pExpulsar | Variable que indica la posición del cilindro horizontal |
| ST_pVerticalS | Variable de posición vertical superior del cilindro neumático |
| ST_pHorizontalP0 | Variable de posición horizontal inicial del cilindro neumático |
| ST_pExpulsar | Variable que indica el posicionamiento de tapas |
| ST_pVerticalI | Variable de posición vertical inferior del cilindro neumático |
| ST_pHorizontalE | Variable de posición horizontal de ensamble del cilindro neumático |

CONTINUA →

| | |
|--------------------------|---|
| SD_pVerticalS | Posición Vertical Superior |
| SD_pVerticalI | Posición Vertical Inferior |
| SE_posicionBaseP0 | Posición Binaria P0 de la base frente a la celda de ensamble de ejes |
| SE_posicionBaseP1 | Posición Binaria P1 de la base frente a la celda de ensamble de ejes |
| SD_posicionBaseP0 | Posición Binaria P0 de la base frente a la celda de ensamble de discos |
| SD_posicionBaseP1 | Posición Binaria P1 de la base frente a la celda de ensamble de discos |
| ST_posicionBaseP0 | Posición Binaria P0 de la base frente a la celda de ensamble de tapas |
| ST_posicionBaseP1 | Posición Binaria P1 de la base frente a la celda de ensamble de tapas |
| ST_presenciaBase | Variable que indica la presencia de la base frente a la celda de tapas |
| SD_presenciaBase | Variable que indica la presencia de la base frente a la celda de discos |
| SE_presenciaBase | Variable que indica la presencia de la base frente a la celda de ejes |
| SD_pHorizontalPLA | Variable que indica la posición de la torre de discos plásticos |
| SD_pHorizontalME | Variable que indica la posición de la torre de discos metálicos |
| SD_pHorizontalC | Variable que indica la posición de ensamble |

La elección de sensores REED para las variables asociadas a actuadores neumáticos está justificada por el uso de cilindros magnéticos en el FMS. Para la posición binaria de la mesa giratoria la justificación de estos sensores está dada por el bajo costo e impacto al diseño mecánico de los mismos.

3.4.7.2 Sensores Inductivos

Tabla 51. Variables físicas asociadas a un sensor inductivo

| VARIABLE | DESCRIPCIÓN |
|------------------------|--|
| SE_sPresenciaME | Variable que indica la presencia de ejes metálicos |
| SD_sPresenciaME | Variable que indica la presencia de discos metálicos |

3.4.7.3 Sensores Fotoeléctricos

Tabla 52. Variables físicas asociadas a un sensor fotoeléctrico

| VARIABLE | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|---|
| SE_sColor | Variable que indica el color (blanco – negro) del eje |
| ST_sTapasAlmacen | Variable que indica presencia de tapas en torre de gravedad |
| SE_sPresenciaPLA | Variable que indica la presencia de ejes de plástico |
| SD_sPresenciaME | Variable que indica la presencia de discos de plástico |

3.4.7.4 Interruptores de accionamiento mecánico

Tabla 53. Variables físicas asociadas a un interruptor de accionamiento mecánico

| VARIABLE | DESCRIPCIÓN |
|-----------------------|--|
| STR_pInicialP0 | Variable de posición inicial de celda de transporte |
| SE_cPosicion | Variable de posicionamiento de mesa giratoria de la celda SE |

La justificación en la elección de interruptores de accionamiento mecánico para las variables descritas en la Tabla 53 es el bajo costo de los mismos, su precisión y su baja histéresis de funcionamiento.

Tabla 54. Resumen de sensores del SFMDengine 1.07

| VARIABLE | CARACTERISTICA |
|--------------------------|---------------------------|
| SE_pGuia | Magnético REED - NO |
| SE_pExpulsar | Magnético REED - NO |
| ST_pVerticalS | Magnético REED - NO |
| ST_pHorizontalP0 | Magnético REED - NO |
| ST_pExplusar | Magnético REED - NO |
| ST_pVerticalI | Magnético REED - NO |
| ST_pHorizontalE | Magnético REED - NO |
| SD_pVerticalS | Magnético REED - NO |
| SD_pVerticalC | Magnético REED - NO |
| SD_pVerticalI | Magnético REED - NO |
| SE_posicionBaseP0 | Magnético REED - NO |
| SE_posicionBaseP1 | Magnético REED - NO |
| SD_posicionBaseP0 | Magnético REED - NO |
| SD_posicionBaseP1 | Magnético REED - NO |
| ST_posicionBaseP0 | Magnético REED - NO |
| ST_posicionBaseP1 | Magnético REED - NO |
| ST_presenciaBase | Magnético REED - NO |
| SD_presenciaBase | Magnético REED - NO |
| SE_presenciaBase | Magnético REED - NO |
| SD_pHorizontalPLA | Magnético REED - NO |
| SD_pHorizontalME | Magnético REED - NO |
| SD_pHorizontalE | Magnético REED - NO |
| SE_sPresenciaME | Inductivo -NO |
| SD_sPresenciaME | Inductivo -NO |
| ST_sTapasAlmacen | Fotoeléctrico - NC |
| SE_sColor | Fotoeléctrico - NO |
| SE_sPresenciaPLA | Fotoeléctrico - NO |
| SD_sPresenciaME | Fotoeléctrico - NO |
| STR_pInicialP0 | Rodillo mecánicos - NO/NC |
| SE_cPosicion | Rodillo mecánicos - NO/NC |

3.4.7.5 Montaje de sensores del sistema SFMDengine 1.07

3.4.7.5.1 Montaje de sensores de la celda de ensamble de ejes

El montaje de los sensores seleccionados en el literal 3.4.7 (Instrumentación del SFMDengine 1.07) se acoplaran como muestra la Figura 89.

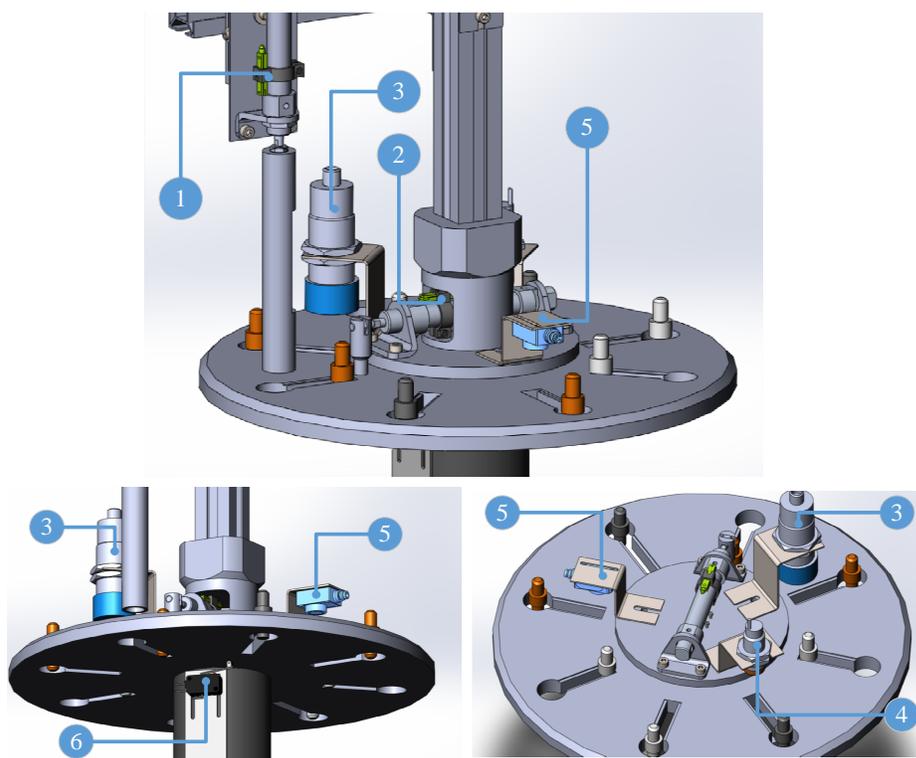


Figura 89. Acople de sensores - Celda de ensamble de ejes

Tabla 55. Detalle de acople de sensores - Celda de ensamble de ejes

| ID | VARIABLE | FUNCIONAMIENTO | RANGO | SEÑAL | CARACTERISTICA |
|----|------------------|-------------------|--------|-------|----------------------------|
| 1 | SE_pGuia | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 2 | SE_pExpulsar | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 3 | SE_sPresenciaME | PNP/NPN-NO | 0-10mm | 24VDC | Inductivo no apantallado |
| 4 | SE_sPresenciaPLA | PNP/NPN-NO | 0-10mm | 24VDC | Fotoeléctrico de presencia |
| 5 | SE_sColor | PNP/NPN-NO | 0-10mm | 24VDC | Fotoeléctrico de contraste |
| 6 | SE_cPosicion | Interruptor N0/NC | NA | 24VDC | Accionamiento mecánico |

3.4.7.5.2 Montaje de sensores de la celda de ensamble de tapas.

Para la celda de ensamble de tapas se precisó de cinco sensores magnéticos acoplados a los cilindros neumáticos y de un sensor fotoeléctrico colocado en la parte inferior de la base como muestra la Figura 90.

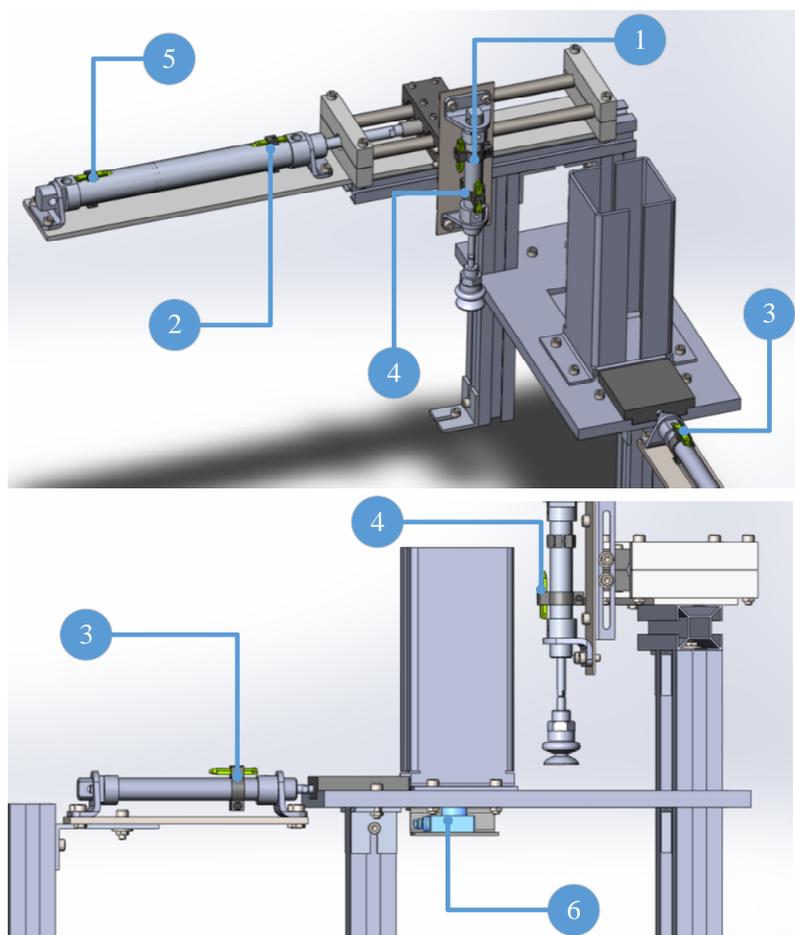


Figura 90. Acople de sensores - Celda de ensamble de tapas

Tabla 56. Detalle de acople de sensores – Celda de ensamble de tapas

| ID | VARIABLE | FUNCIONAMIENTO | RANGO | SEÑAL | CARACTERISTICA |
|----|------------------|----------------|--------|-------|-------------------------|
| 1 | ST_pVerticalS | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 2 | ST_pHorizontalP0 | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 3 | ST_pExplusar | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 4 | ST_pVerticalI | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 5 | ST_pHorizontalE | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 6 | ST_sTapasAlmacen | PNP/NPN-NC | 0-10mm | 24VDC | Fotoeléctrico presencia |

3.4.7.5.3 Montaje de sensores de la celda de transporte.

Para la celda de ensamble de transporte se precisó de nueve sensores magnéticos para monitorear la posición y presencia de cada base.

Tabla 57. Detalle de sensores - Celda de Transporte

| ID | VARIABLE | FUNCIONAMIENTO | RANGO | SEÑAL | CARACTERISTICA |
|----|--------------------------|-----------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 1 | SE_posicionBaseP0 | Interruptor N0 | 0-10mm | 24VDC | Magnético REED |
| 2 | SE_posicionBaseP1 | Interruptor N0 | 0-10mm | 24VDC | Magnético REED |
| 3 | SD_posicionBaseP0 | Interruptor N0 | 0-10mm | 24VDC | Magnético REED |
| 4 | SD_posicionBaseP1 | Interruptor N0 | 0-10mm | 24VDC | Magnético REED |
| 5 | ST_posicionBaseP0 | Interruptor N0 | 0-10mm | 24VDC | Magnético REED |
| 6 | ST_posicionBaseP1 | Interruptor N0 | 0-10mm | 24VDC | Magnético REED |
| 7 | SE_sPresenciaBase | PNP/NPN-NC | 0-15mm | 24VDC | Magnético REED |
| 8 | ST_sPresenciaBase | PNP/NPN-NC | 0-15mm | 24VDC | Magnético REED |
| 9 | SD_sPresenciaBase | PNP/NPN-NC | 0-15mm | 24VDC | Magnético REED |

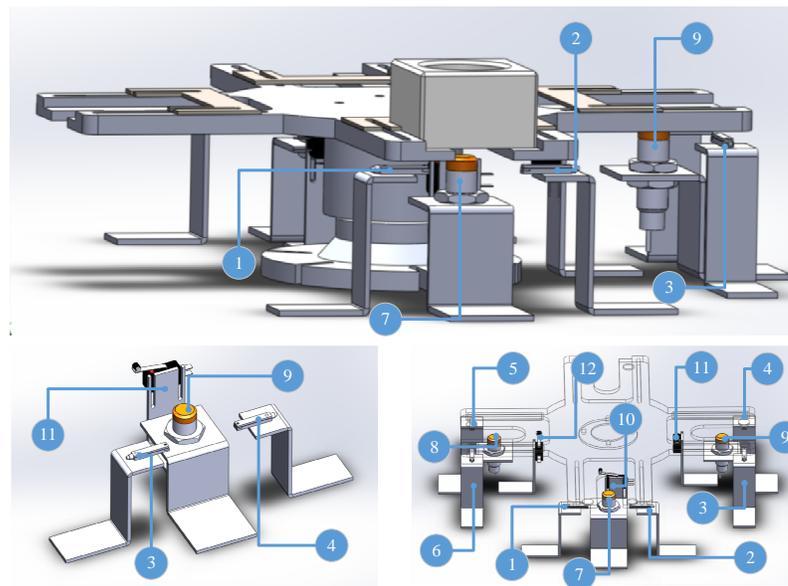


Figura 91. Acople de sensores - Celda de Transporte

3.4.7.5.4 Montaje de sensores de la celda de ensamble de discos

Para la celda de ensamble de discos se precisó de cinco sensores magnéticos, un sensor inductivo y un sensor fotoeléctrico de presencia.

Tabla 58. Detalle de acople de sensores - Celda de ensamble de discos

| ID | VARIABLE | FUNCIONAMIENTO | RANGO | SEÑAL | CARACTERISTICA |
|----|-------------------|-------------------|--------------|----------------|----------------------------|
| 1 | SD_pVerticalS | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 2 | SD_pVerticalC | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 3 | SD_pVerticalI | Interruptor N0 | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 4 | SD_sPresenciaME | PNP/NPN-NO | 0-10mm | 24VDC | Inductivo apantallado |
| 5 | SD_sPresenciaPLA | PNP/NPN-NO | 0-10mm | 24VDC | Fotoeléctrico de presencia |
| 6 | SD_pHorizontalC | Interruptor N0/NC | NA | 24VDC | Magnético REED |
| 7 | SD_pHorizontalME | Interruptor N0/NC | NA <td 24VDC | Magnético REED | |
| 8 | SD_pHorizontalPLA | Interruptor N0/NC | NA | 24VDC | Magnético REED |

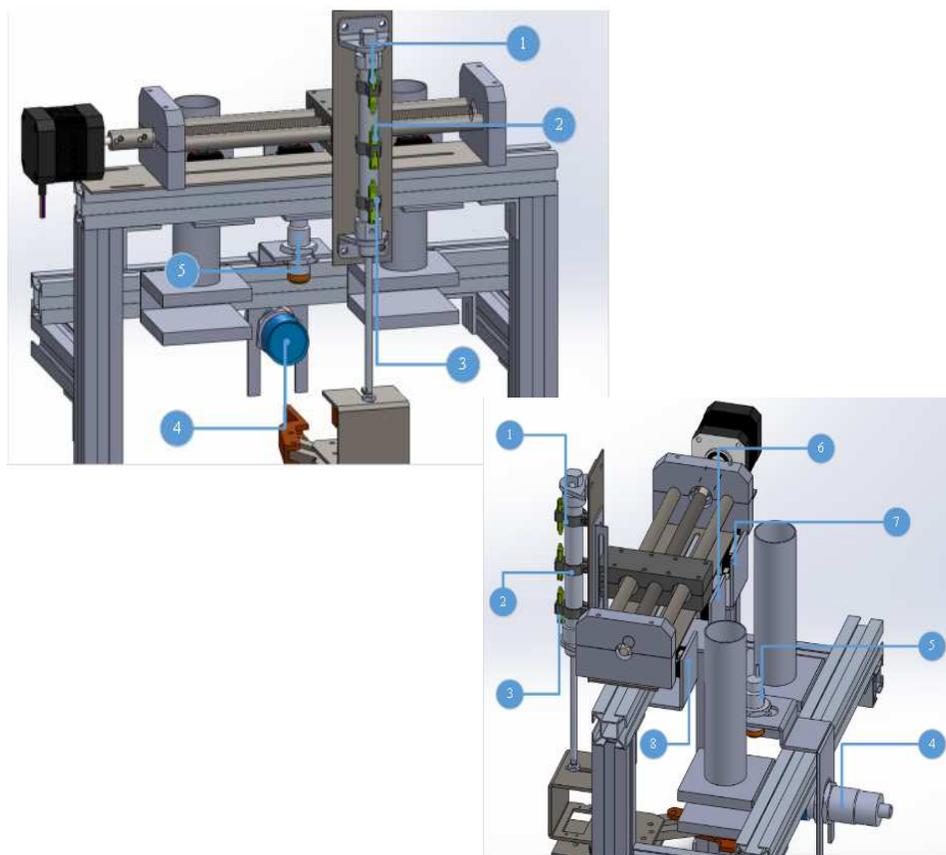


Figura 92. Acople de sensores - Celda de ensamble de discos

3.4.8 Diseño de tarjetas electrónicas

3.4.8.1 Diseño de tarjeta modular

Tomando en consideración el planteamiento de tarjetas modulares para el control de cada celda de ensamble (Cuadro 63. Modelo de solución de control (A)) es necesario precisar el número de entradas y salidas de las mismas (actuadores, sensores y variables de control en el proceso) las cuales serán descritas en la tabla 59.

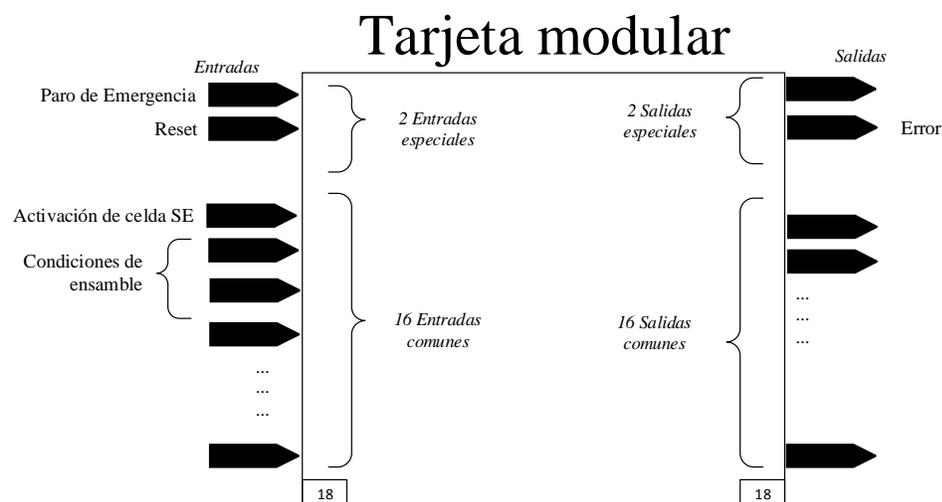
Tabla 59. Entradas y salidas de tarjetas modulares

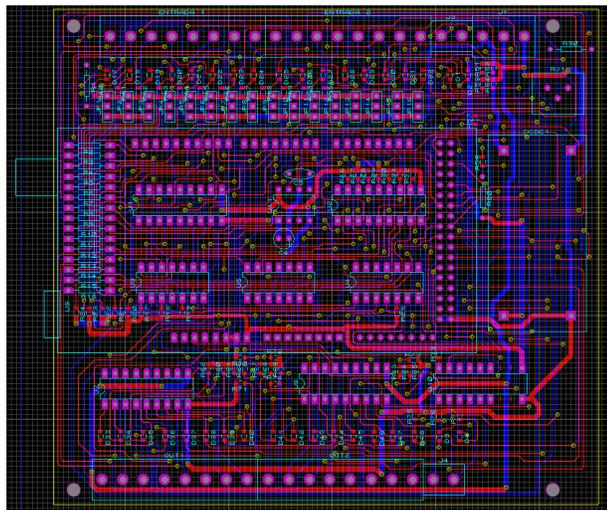
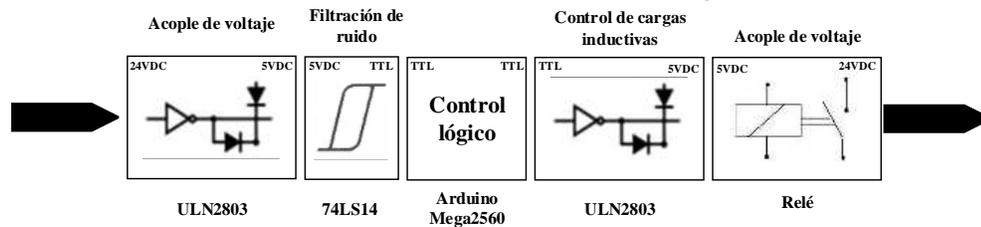
| CELDA DE ENSAMBLE | ENTRADAS | | SALIDAS | |
|-----------------------------|----------|----------|---------|------------|
| | CONTROL | SENSORES | CONTROL | ACTUADORES |
| Celda de ensamble de ejes | 5 | 6 | 2 | 3 |
| Celda de ensamble de tapas | 3 | 6 | 2 | 4 |
| Celda de ensamble de discos | 4 | 8 | 2 | 5 |

Las variables de control que ingresan a cada tarjeta modular son: condiciones de ensamble (tipo de disco, tipo eje), señal de activación de la celda e inicio de secuencia de ensamble, paro de emergencia de la celda y rearmado del sistema (reset).

Las señales de salida de control para cada celda de ensamble son: estado de activación de la celda y error en la celda. Cabe destacar que tanto las entradas de sensores y salidas a actuadores están relacionadas a las variables físicas de cada celda descrito en las tablas Tabla 46, Tabla 47 y Tabla 48.

Cuadro 65. Entradas y salidas de tarjeta modular



Cuadro 66. Cuadro de funcionamiento electrónico – tarjeta modular**Figura 93. Tarjeta modular - diseño PCB**

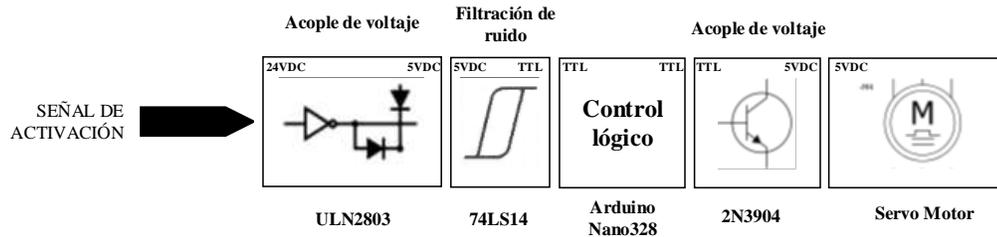
3.4.8.2 Diseño de tarjeta de driver

La tarjeta modular descrita anteriormente permitirá ejecutar las secuencias de activación de cada actuador y leerá los estados de cada sensor asociado al funcionamiento de cada celda de ensamble. El detalle de funcionamiento de cada celda de ensamble se detalla en los cuadros 33, Cuadro 42, Cuadro 52, Cuadro 53.

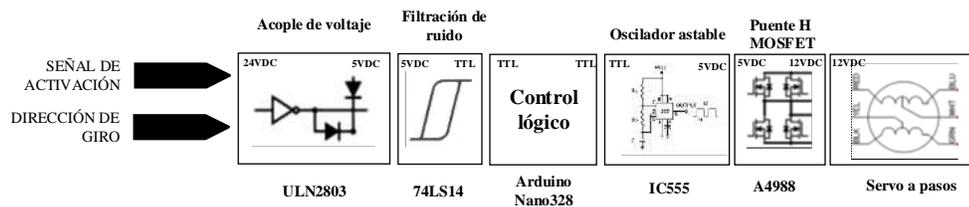
Específicamente para los actuadores ST-M-SY57STH56_1006 (motor a pasos de la celda de transporte), SE-M-M-SY57STH56_1006 (motor a pasos de la celda de ensamble de ejes), SD-PEH-M-SY57STH56_1006 (motor a pasos de la celda de ensamble de discos) y SD-M-M-HS755HB (Servo motor de la pinza de sujeción de la celda de ensamble de discos) es necesario secuencias y voltajes específicos para el

control de cada actuador, de esta manera se plantea el diseño de una tarjeta electrónica que se encargue de estas secuencias y voltajes.

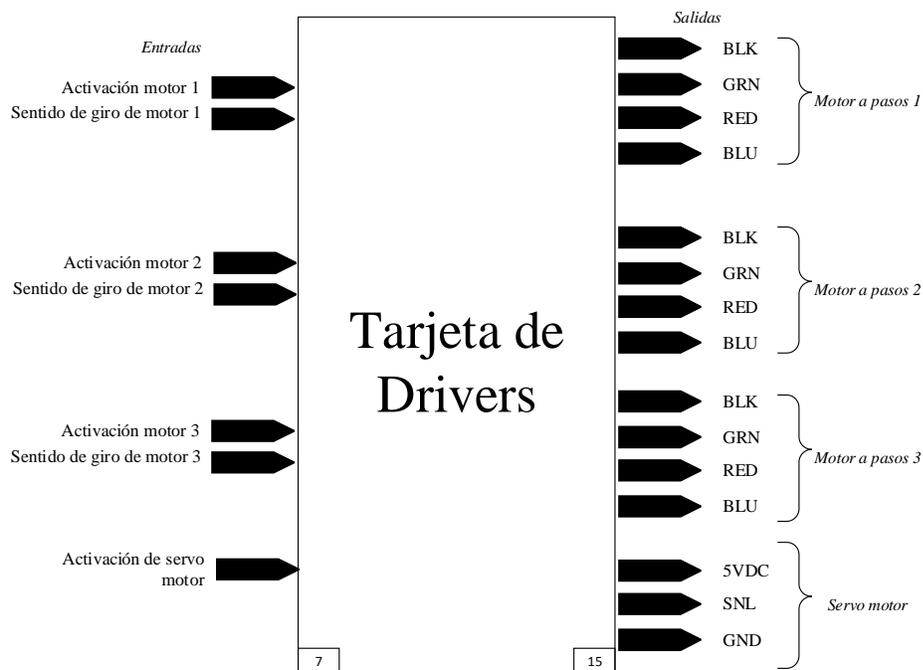
Cuadro 67. Cuadro de funcionamiento electrónico - control de servo motor



Cuadro 68. Cuadro de funcionamiento electrónico - control de motor a pasos



Cuadro 69. Entradas y salidas de tarjeta de drivers



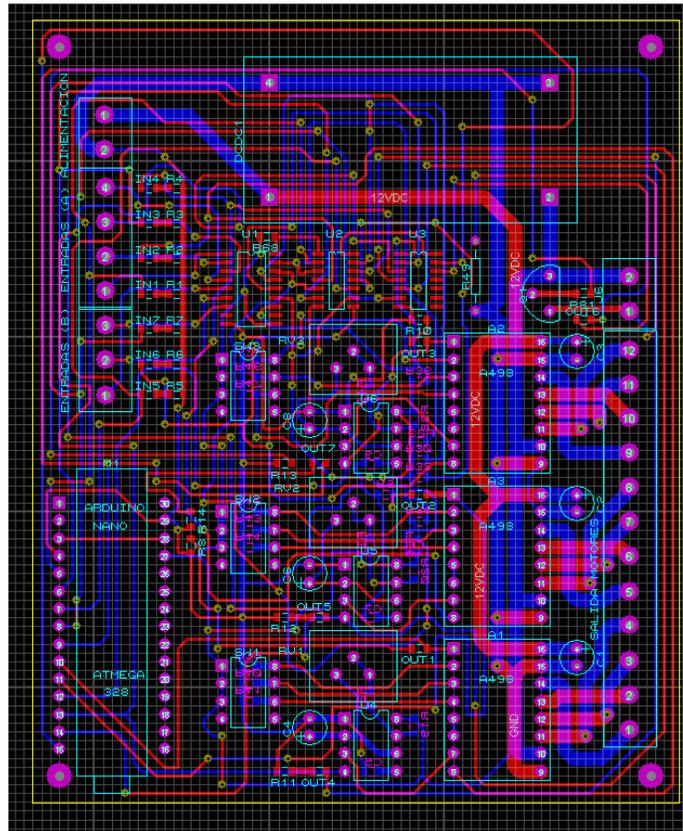
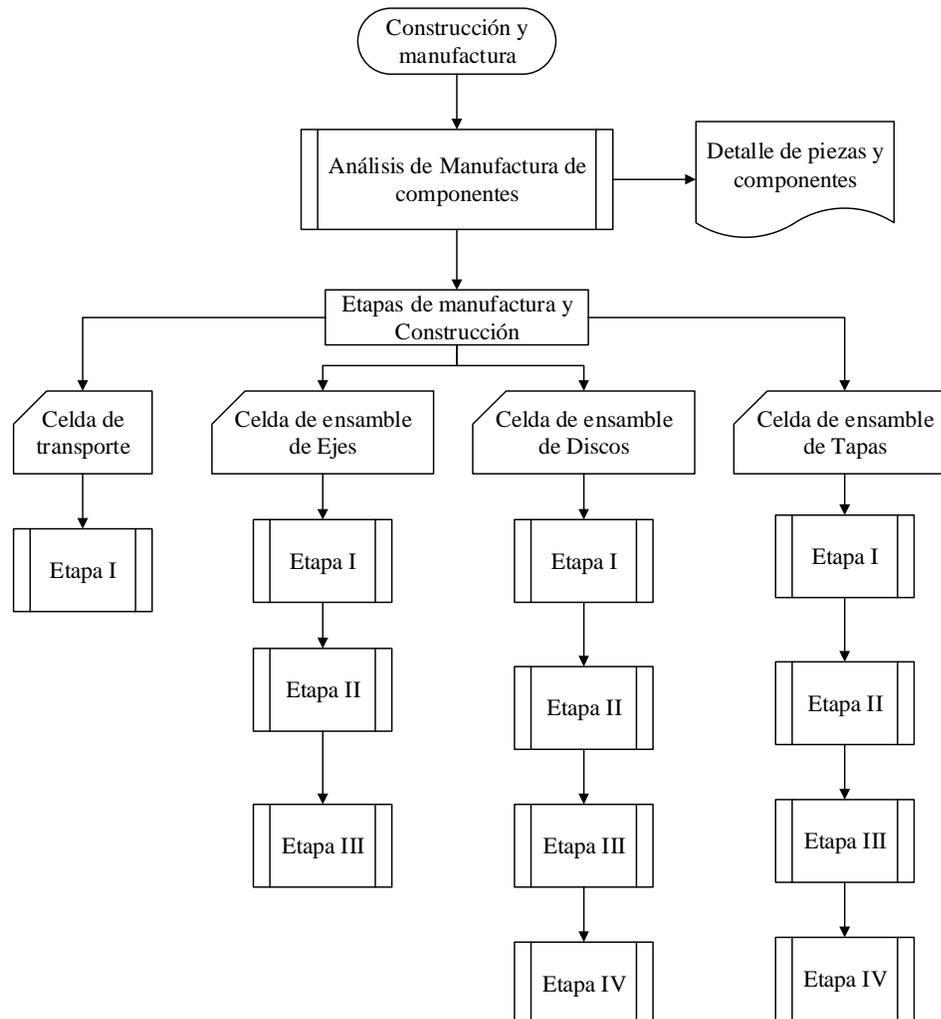


Figura 94. Tarjeta de drivers - diseño PCB

CAPITULO 4

CONSTRUCCION DEL MODULO SFMDengine 1.07

Cuadro 70. Proceso de manufactura y construcción del equipo



Para la manufactura y construcción del sistema SFMDengine 1.07 se ha dividido el mismo en etapas, cada etapa conforma una porción de cada celda de ensamble y tiene como finalidad asegurar funcionalidad de las piezas manufacturadas, detallar los componentes que se va a manufacturar y comprar, precisar los cambios que se podrían realizar sobre el mecanismo de cada etapa con el fin de buscar su funcionalidad, puntualizar el avance y seguimiento de la construcción de componentes.

4.1 Construcción Celda de transporte

4.1.1 Construcción de celda de transporte – Etapa I

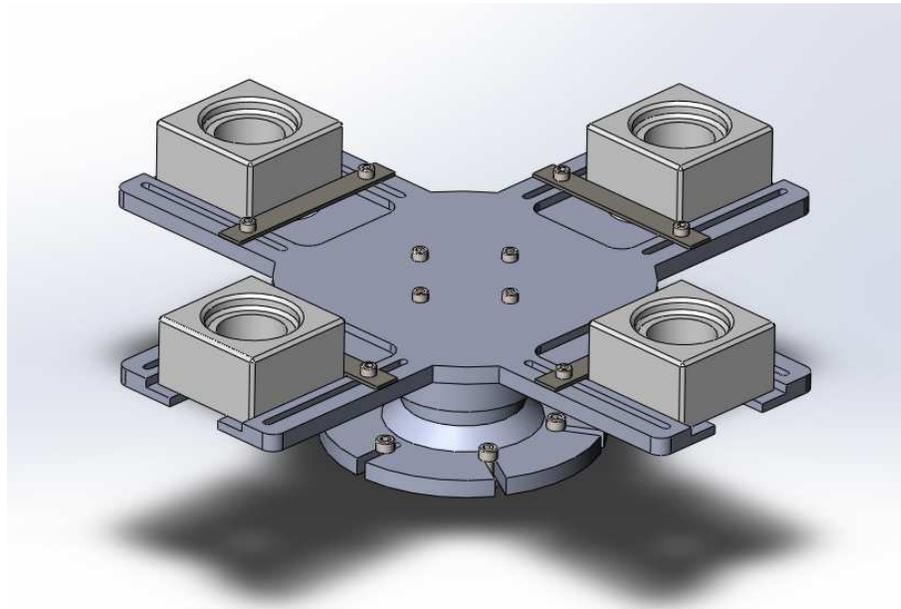


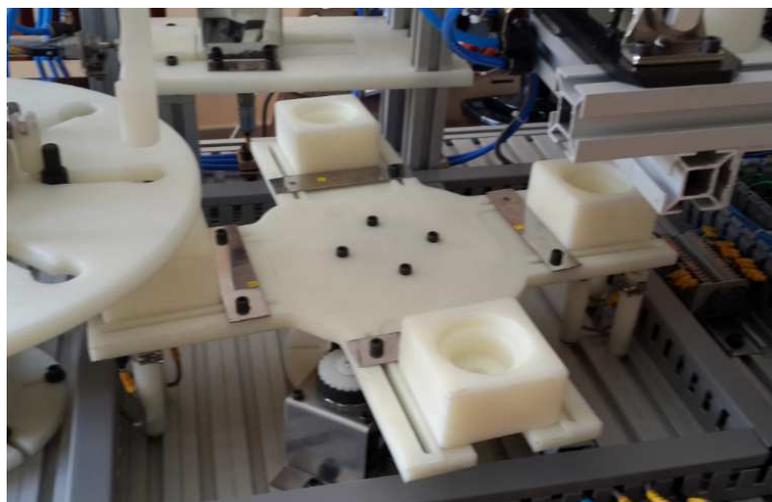
Figura 95. Etapa I - Celda de Transporte

Tabla 60. Material para manufactura y construcción de la celda de transporte.

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|----------------------------|------------------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| P-BASE | Cilindro de Nylon | 150x30 | NA |
| ST-G-P-BOCIN | Cilindro de Nylon | 80x50 | NA |
| ST-G-P-DISCO | Plancha de Nylon | 400x400 | 10 |
| ST-G-P-EJE | Cilindro de Nylon | 32x82 | NA |
| PLACA_SUJECION (x4) | Plancha de Acero | 50 x 115 | 2 |
| RODAMIENTOS (x2) | Rodamientos contacto angular | 7205B | NA |

Tabla 61 Accesorios de sujeción de la celda de transporte

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|--|-----------------|-----------------|---------------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 6 | M6 x L20 | NA | M6 |
| 4 | M5 x L25 | NA | M5 |
| 8 | M5 x L15 | NA | M5 |

**Figura 96 Celda de transporte (Etapa 1)****Figura 97 Montaje de la celda de transporte**

4.2 Construcción Celda de ensamble de ejes

4.2.1 Construcción de celda de ensamble de ejes – Etapa I

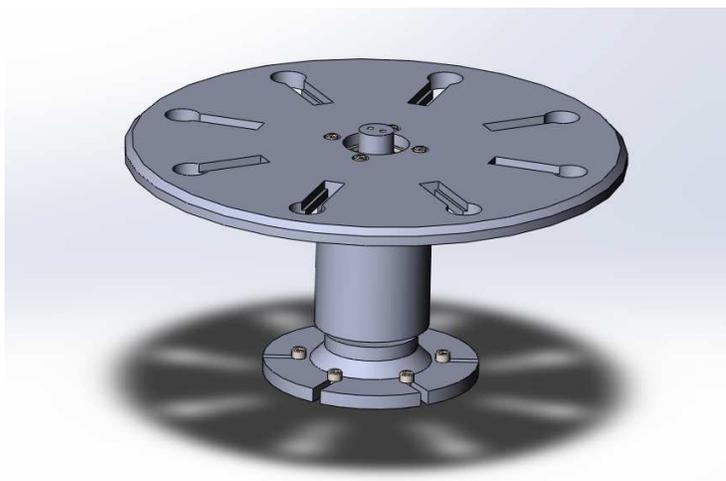


Figura 98 Celda de ensamble de ejes (Etapa 1)

Tabla 62 Material para manufactura y construcción de la etapa I de la celda de ensamble de ejes.

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|-------------------------|--------------------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| P-BASE | Cilindro de nylon | 150 x 30 | NA |
| SE-G-P-BOCIN | Cilindro de nylon | 80 x 130 | NA |
| SE-G-P-DISCO | Plancha de nylon | 350 x 350 | 12 |
| RODAMIENTOS (x2) | Rodamiento de contacto angular | 7205B | NA |
| SE-G-P-EJE | Cilindro de nylon | 30.5 x 178 | NA |

Tabla 63 Accesorios de sujeción de la etapa I de la celda de ensamble de ejes

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 6 | M6 x L15 | NA | M6 |
| 4 | M5 x L15 | NA | NA |
| 2 | M4 x L20 | NA | NA |
| 2 | M6xL20 | NA | NA |



Figura 99 Celda de ensamble de ejes (Etapa 1 y 2)

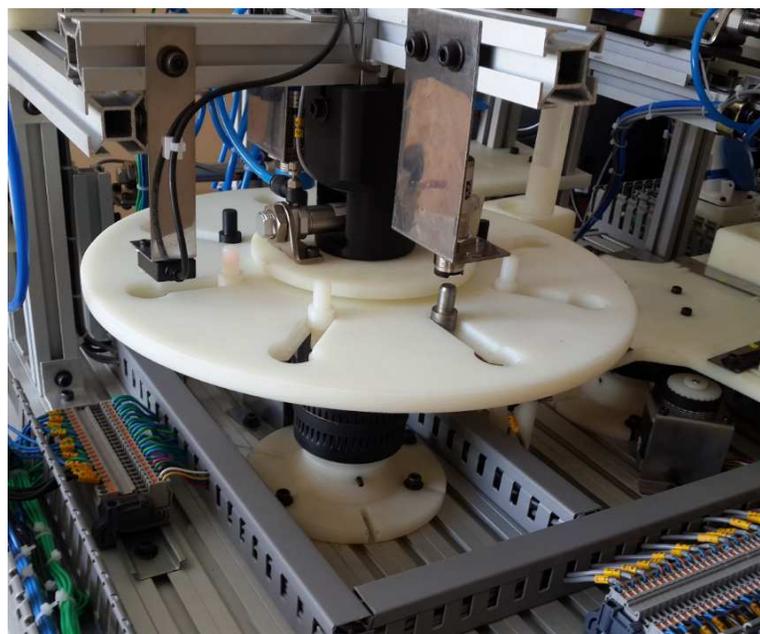


Figura 100 Montaje de la celda de ensamble de ejes (Etapa 1 y 2)

4.2.2 Construcción de celda de ensamble de ejes – Etapa II

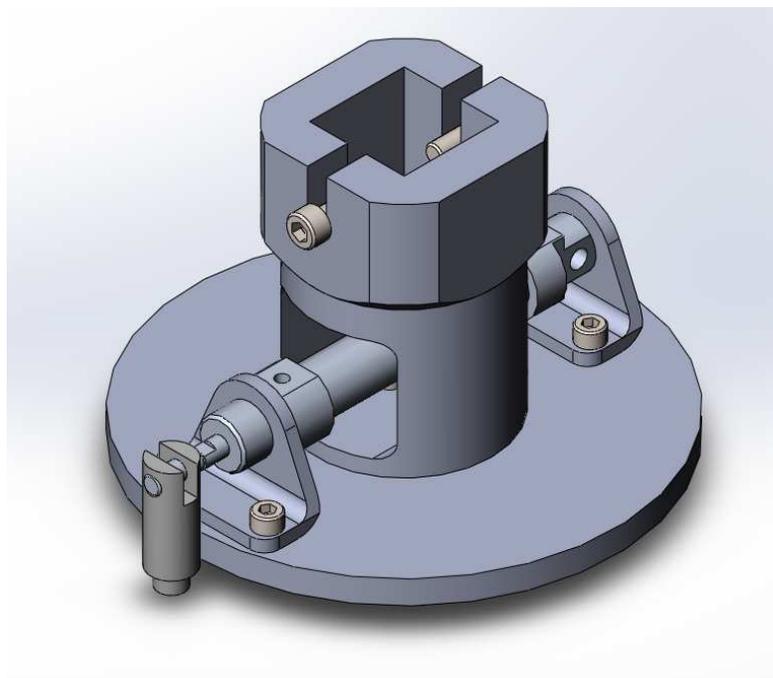


Figura 101 Celda de ensamble de ejes (Etapa 2)

Tabla 64 Material para manufactura y construcción de la etapa II de la celda de ensamble de ejes.

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|---------------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| SE-X-P-BASE | Cilindro de nylon | 145 x 8 | NA |
| SE-X-P-CONECTOR | Cilindro de nylon | 80 x 85 | NA |
| SE-X-CL-6501618 | Cilindro Neumático | C=50-D=16 | NA |
| AM-MONTAJE_LB (x2) | Montaje LB | NA | NA |
| PALANCA_CONECTOR | Cilindro de nylon | 14x38 | NA |

Tabla 65 Accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de ejes

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 2 | M4 x L20 | NA | NA |
| 2 | M6 x L20 | NA | NA |
| 4 | M5 x L10 | NA | M5 |

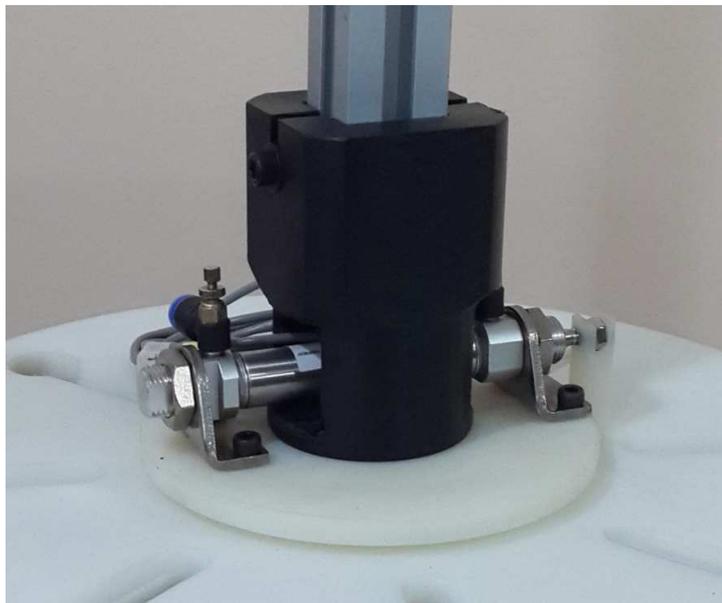


Figura 102 Montaje de la celda de ensamble de ejes (Etapa 2)

4.2.3 Construcción de celda de ensamble de ejes – Etapa III

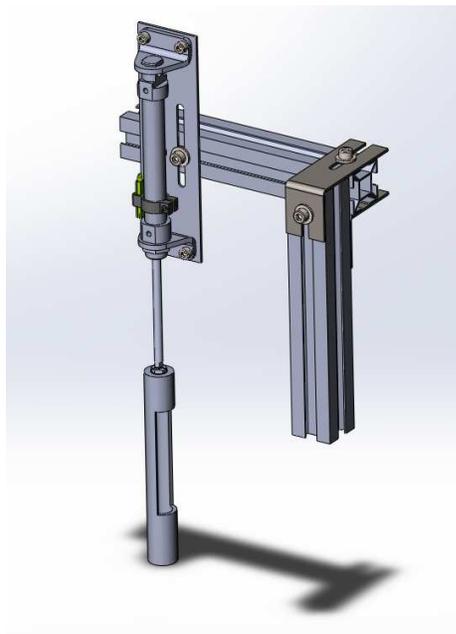


Figura 103 Celda de ensamble de ejes (Etapa 3)

Tabla 66 Material para manufactura y construcción de la etapa III de la celda de ensamble de ejes.

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|---------------------------|--------------------|---------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| AM_PERFIL (x2) | Perfil de Aluminio | L=200 | NA |
| SOPORTE_PERFIL (Superior) | Plancha de acero | 124.32 x 32.5 | 2 |
| SOPORTE_PERFIL (Interior) | Plancha de acero | 89.32 x 32.5 | 2 |
| SE-V-CL-6801618 | Cilindro Neumático | C=80 x D=16 | NA |
| AM-MONTAJE_LB (x2) | Montaje LB | NA | NA |
| PLACA_SOPORTE_CILINDRO | Plancha de acero | 180 x 50 | 2 |
| SE-V-P-BOCIN_GUIA | Cilindro de nylon | 22 x 1150 | 2 |

Tabla 67 Accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de ejes

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 2 | M5 x L40 | NA | M5 |
| 4 | M6 x L10 | M6 | M6 |
| 4 | M5 X L10 | NA | M5 |
| 1 | M6 x L25 | M6 | M6 |
| 2 | M5 x L10 | NA | NA |



Figura 104 Celda de ensamble de ejes (Etapa 3)



Figura 105 Montaje de la celda de ensamble de ejes (Etapa 3)

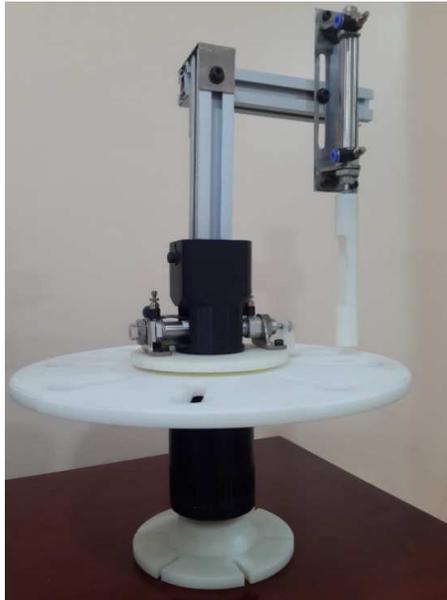


Figura 106 Celda de ensamble de ejes (Completa)

4.3 Construcción Celda de ensamble de discos

4.3.1 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa I

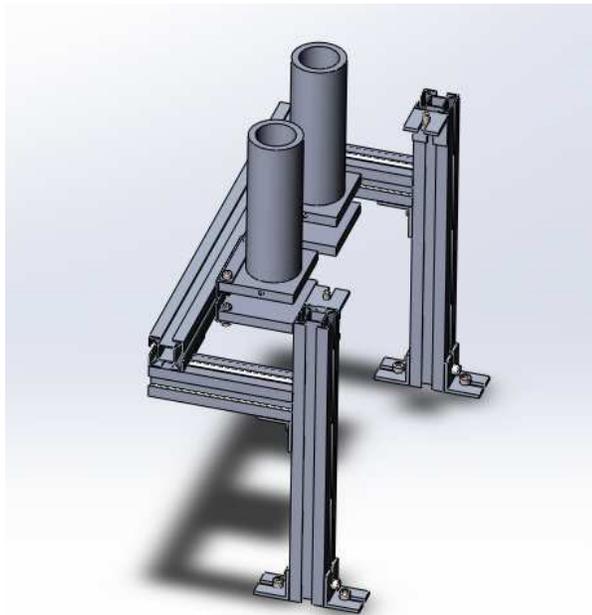


Figura 107 Celda de ensamble de discos (Etapa 1)

Tabla 68 Material para manufactura y construcción de la etapa I de la celda de ensamble de discos.

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|---------------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| BASE SUPERIOR (x2) | Plancha de Nylon | 70 x 75 | 10 |
| BASE INFERIOR (x2) | Plancha de Nylon | 70 x 75 | 10 |
| PLACA_BASE (x2) | Plancha de Acero | 70 x 75 | 2 |
| AM-SUJECION (x10) | | NA | NA |
| AM-PERFIL | | L=400 | NA |
| AM-PERFIL (x2) | Perfil de Aluminio | L=135 | NA |
| AM-PERFIL (x2) | | L=330 | NA |
| AM-PERFIL | | L=400 | NA |

Tabla 69 Accesorios de sujeción de la etapa I de la celda de ensamble de discos

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 2 | M4 x L15 | NA | NA |
| 8 | M5 x L15 | NA | M5 |
| 4 | M6 x L10 | NA | M6 |
| 20 | M6 x L10 | NA | M6 |
| 3 | M6 x L10 | NA | M6 |



Figura 108 Montaje de la celda de ensamble de discos (Etapa 1)

4.3.2 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa II

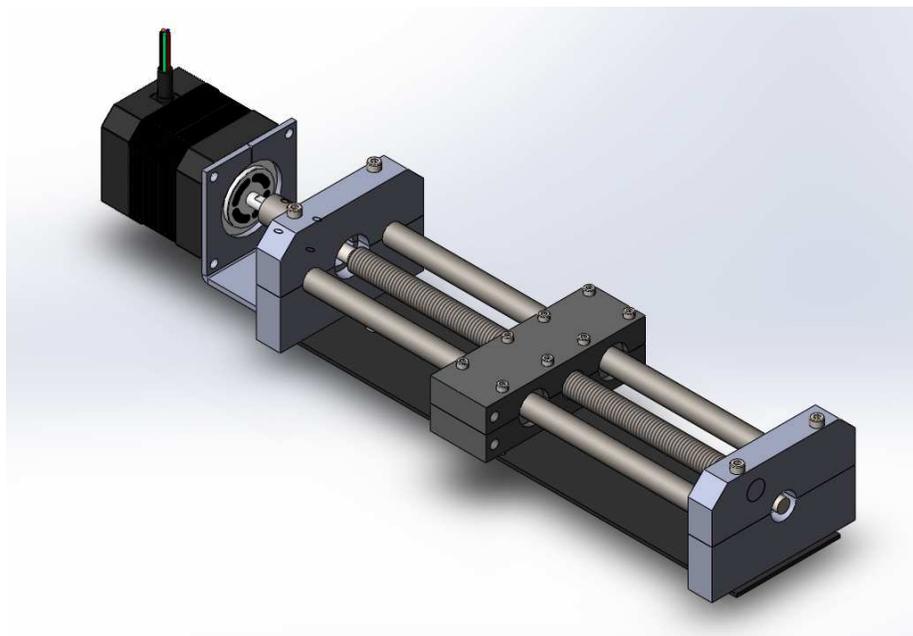


Figura 109 Celda de ensamble de discos (Etapa 2)

Tabla 70 Material para manufactura y construcción de la etapa II de la celda de ensamble de discos.

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|------------------|--------------------|---------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| PLACA_BASE | Plancha de Acero | 65 x 292 | 2 |
| PLACA_SOPORTE | Plancha de Acero | 56.4 x 101.18 | 2 |
| CHUMACERA (x4) | Plancha de Nylon | 30 x 90 | 15 |
| SD-H-P-GUIA (x2) | Barra de acero | 12x270 | NA |
| TORNILLO_SIN_FIN | Cilindro de Nylon | 25x300 | NA |
| SD-H-P-DADO x2 | Plancha de Nylon | 35 x 100 | 15 |
| CONECTOR_EJES | Cilindro de Nylon | 15x35 | NA |
| AM-PERFIL | Perfil de Aluminio | L=400 | NA |

Tabla 71 Tabla de accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de discos

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|--|-----------------|---------------|---------------|
| Cant. | Tornillo | Rodela | Tuerca |
| 3 | M6 x L10 | NA | M6 |
| 4 | M5 x L10 | NA | M5 |
| 4 | M5 x L65 | NA | M4 |
| 8 | M3 x L35 | NA | M4 |
| 4 | M2 x L6 | NA | NA |

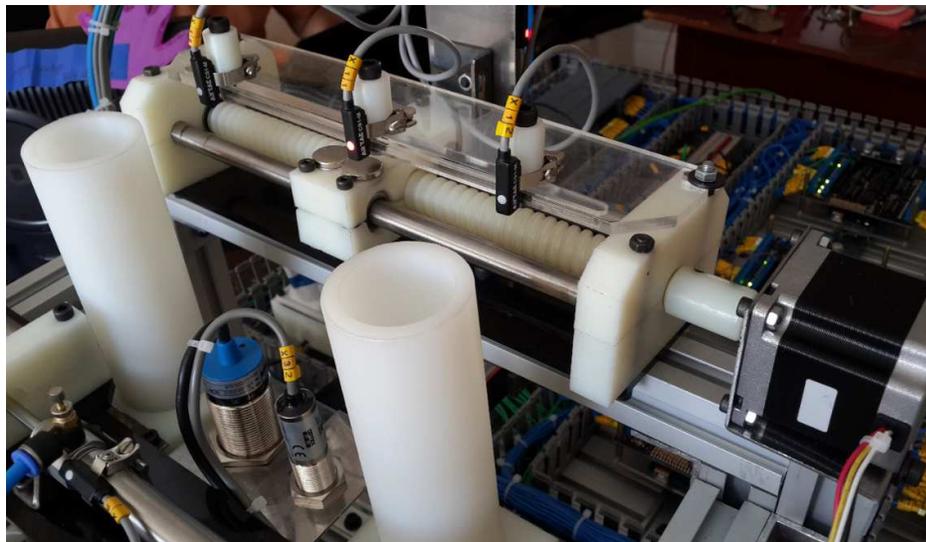


Figura 110 Montaje de la celda de ensamble de discos (Etapa 2)

4.3.3 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa III

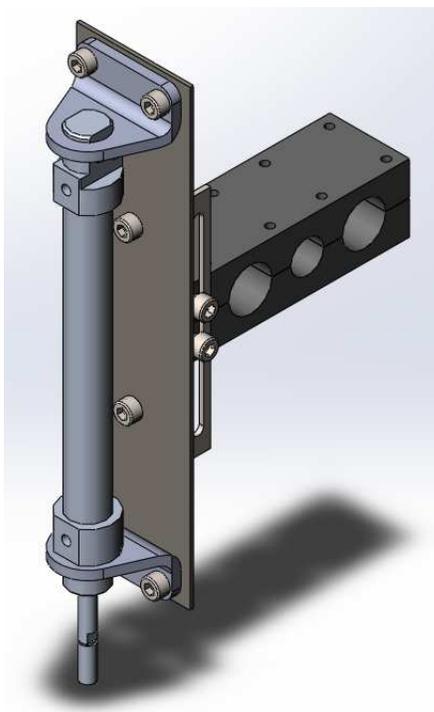


Figura 111 Celda de ensamble de discos (Etapa 3)

Tabla 72 Material para manufactura y construcción de la etapa III de la celda de ensamble de discos

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|--------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| PLACA_SOPORTE | Plancha de Acero | 46.71x100 | 2 |
| BASE_GUIA_VERTICAL | Plancha de Acero | 50x200 | 2 |
| MONTAJE_LB | Montaje LB | M16 | NA |
| SD-V-CL-6801618 | Cilindro Neumático | C=80 - D=16 | NA |

Tabla 73 Accesorios de sujeción de la etapa III de la celda de ensamble de discos

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|--------|--------|
| Cant. | Tornillo | Rodela | Tuerca |
| 2 | M5 x L40 | NA | M5 |
| 2 | M5 x L10 | M5 | M5 |
| 4 | M5 x L10 | NA | M5 |



Figura 112 Montaje de la celda de ensamble de discos (Etapa 3)

4.3.4 Construcción de celda de ensamble de discos – Etapa IV

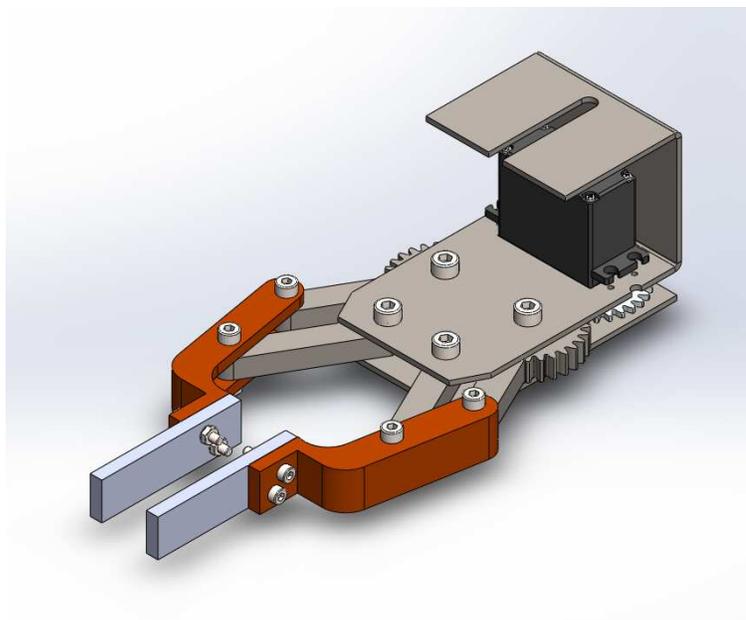


Figura 113 Celda de ensamble de discos (Etapa 4)

Tabla 74 Material para manufactura y construcción de la etapa IV de la celda de ensamble de discos

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|----------------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| PLACA_BASE – B | Plancha de Acero | 60x92 | 2 |
| PLACA_BASE – A | Plancha de Acero | 60x192 | 2 |
| SD-S-P-ENGRANE x2 | Plancha de Acero | 42x78 | 8 |
| PASADOR A x4 | Cilindro de Bronce | 7x9 | NA |
| SD-S-P-ESLABON x2 | Plancha de Acero | 60x10 | 8 |
| SD-S-P-PINZA x2 | Plancha de Acero | 37x80 | 16 |
| PASADOR B x4 | Cilindro de Bronce | 5x16 | NA |
| SD-S-P-PIÑÓN | Plancha de Acero | 40x42 | 5 |
| SD-S-P-PINZA_EXT x2 | Plancha de Nylon | 16x60 | 5 |

Tabla 75 Accesorios de sujeción de la etapa IV de la celda de ensamble de discos

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 4 | M5 x L20 | NA | M5 |
| 4 | M4 x L20 | NA | M4 |
| 4 | M3 x L16 | NA | M3 |

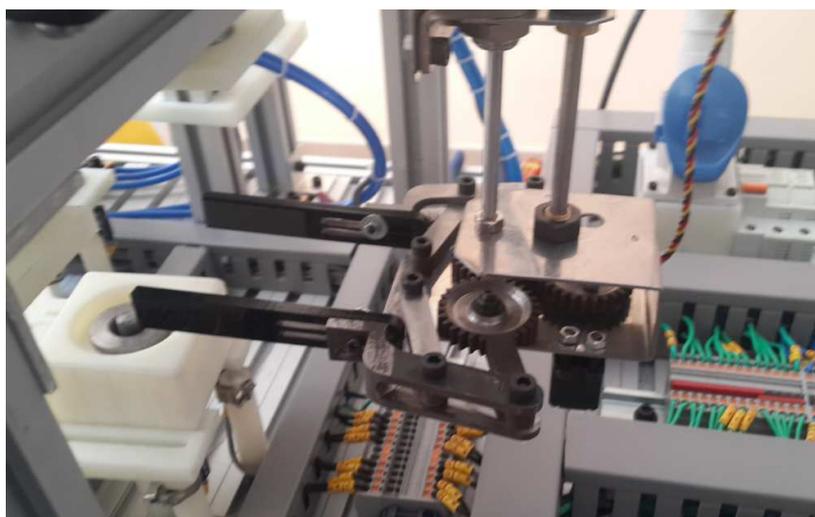


Figura 114 Montaje de la celda de ensamble discos (Etapa 4)

4.4 Construcción Celda de ensamble de tapas

4.4.1 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa I

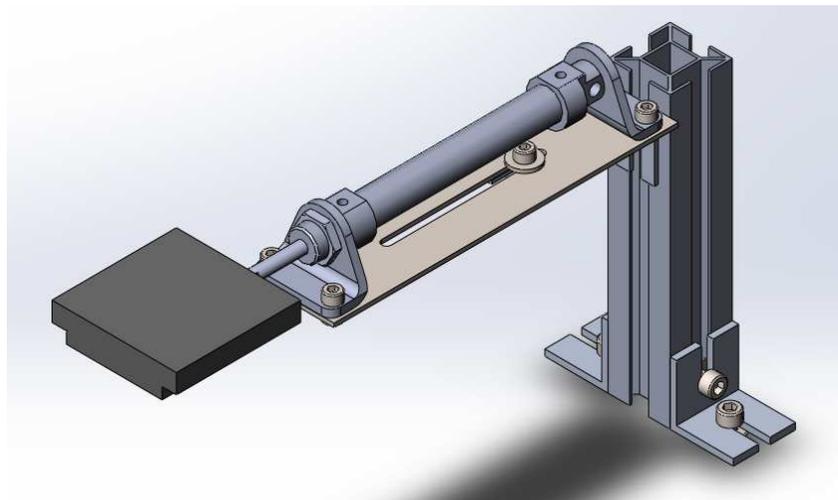


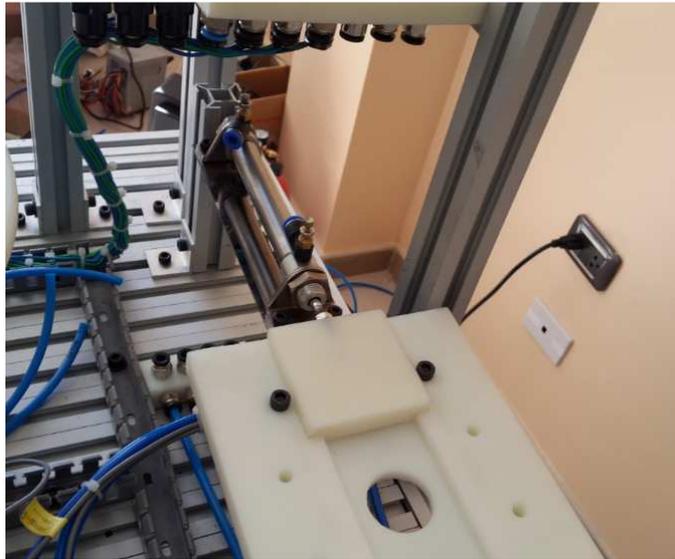
Figura 115 Celda de ensamble de tapas (Etapa 1)

Tabla 76 Material para manufactura y construcción de la etapa I de la celda de ensamble de tapas

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|------------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| AM-PERFIL | Perfil de Aluminio | L=150 | NA |
| AM-SUJECION (x3) | Perfil de Aluminio | NA | NA |
| PLACA SOPORTE_CILINDRO | Plancha de acero | 45x180 | 2 |
| AM-SUJECION | Plancha de acero | 20x105.15 | 2 |
| ST-X-P-CONECTOR | Plancha de Nylon | 65x65 | 16 |
| ST-X-CL-6801618 | Cilindro Neumático | L=80-D=16 | NA |
| AM-MONTAJE_LB_ | Montaje LB | M16 | NA |

Tabla 77 Accesorios de sujeción de la etapa I de la celda de ensamble de tapas

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|--|-----------------|-----------------|---------------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 5 | M6 x L10 | NA | M6 |
| 1 | M5 x L10 | M5 | M5 |
| 4 | M5 x L10 | NA | M5 |

**Figura 116 Montaje de la celda de ensamble de tapas (Etapa 1)**

4.4.2 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa II

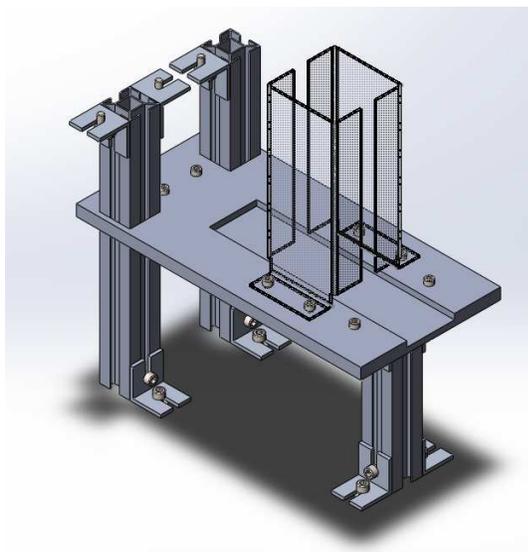


Figura 117 Celda de ensamble de tapas (Etapa 2)

Tabla 78 Material para manufactura y construcción de la etapa II de la celda de ensamble de tapas

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|--------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| ST-X-P-BASE | Plancha de Nylon | 305 x 150 | 12 |
| ALMACEN_TAPAS (x2) | Plancha de acero | 126 x 195 | 2 |
| AM-PERFIL (x2) | Perfil de Aluminio | L=260 | NA |
| AM-SUJECION- (x11) | Perfil de Aluminio | NA | NA |
| AM-PERFIL | Perfil de Aluminio | L=150 | NA |

Tabla 79 Accesorios de sujeción de la etapa II de la celda de ensamble de tapas

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|--------|--------|
| Cant. | Tornillo | Rodela | Tuerca |
| 4 | M6 x L20 | M6 | M6 |
| 2 | M5 x L20 | NA | M5 |
| 2 | M5 x L25 | NA | M5 |
| 18 | M6 x L10 | NA | M6 |
| 2 | M6 x L10 | M6 | M6 |

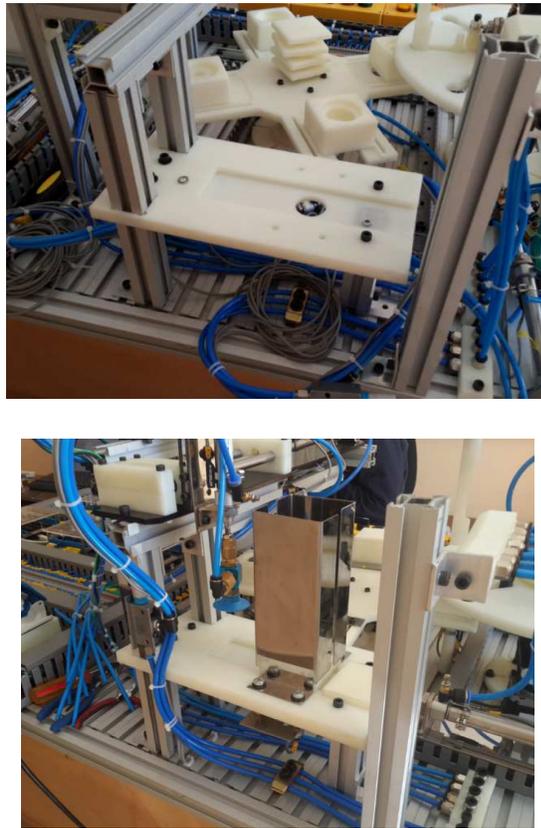


Figura 118 Montaje de la celda de ensamble de tapas (Etapa 2)

4.4.3 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa III

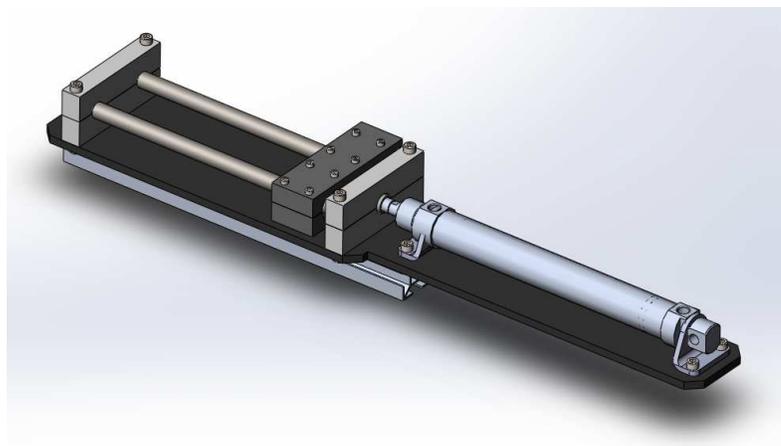


Figura 119 Celda de ensamble de tapas (Etapa 3)

Tabla 80 Material para manufactura y construcción de la etapa III de la celda de ensamble de tapas

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|-------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| AM-PERFIL | Perfil de Aluminio | L=290 | NA |
| BASE_CILINDRO | Plancha de acero | 95 x 560 | 2 |
| CHUMACERA-A x2 | Plancha de Nylon | 20 x 20 | 15 |
| CHUMACERA-B x2 | Plancha de Nylon | 20 x 20 | 15 |
| ST-H-P-GUIA x2 | Barra de acero | 12x220 | NA |
| RODAMIENTO_LINEAL | KH0824 | M12 | NA |
| ST-H-P-DADO - B1 | Plancha de Nylon | 35 X 100 | 15 |
| ST-H-P-DADO - B2 | Plancha de Nylon | 35 X 100 | 15 |
| AM-MONTAJE_LB x2 | Montaje LB | NA | NA |
| CONECTOR_VASTAGO | Cilindro de Nylon | 19x51 | NA |

Tabla 81 Accesorios de sujeción de la etapa III de la celda de ensamble de tapas

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 2 | M6 x L10 | M6 | M6 |
| 4 | M5 x L50 | NA | M5 |
| 8 | M3 x L30 | NA | M3 |
| 4 | M5 x L10 | NA | M5 |



Figura 120 Montaje de la celda de ensamble de tapas (Etapa 3)

4.4.4 Construcción de celda de ensamble de tapas – Etapa IV

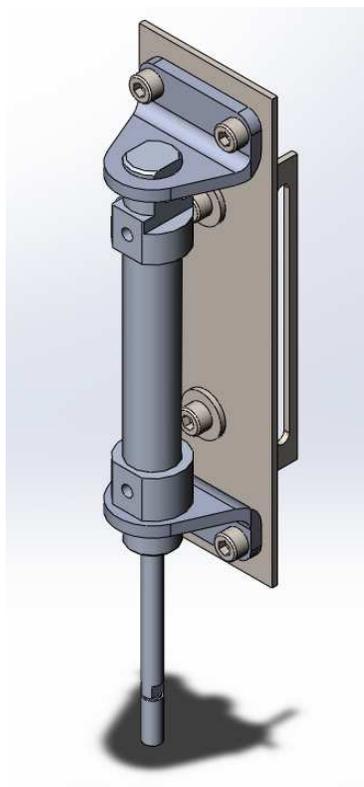


Figura 121 Celda de ensamble de tapas (Etapa 4)

Tabla 82 Material para manufactura y construcción de la etapa IV de la celda de ensamble de tapas

| Componente | Descripción | Dimensiones | Espesor |
|------------------------|--------------------|-------------|---------|
| | | [mm] | [mm] |
| PLACA_SOPORTE_CILINDRO | Plancha de acero | 50x160 | 2 |
| P-PLACA_SOPORTE | Plancha de acero | 46.71x100 | 2 |
| ST-V-CL-6501618 | Cilindro Neumático | C=50-D=16 | NA |
| AM-MONTAJE_LB (x2) | Montaje LB | D=16 | NA |

Tabla 83 Accesorios de sujeción de la etapa IV de la celda de ensamble de tapas

| N. Componentes Sujeción (Características) | | | |
|---|----------|----------|--------|
| Cant. | Tornillo | Arandela | Tuerca |
| 2 | M5 x L10 | M5 | M5 |
| 4 | M5 x L10 | NA | M5 |



Figura 122 Montaje de la celda de transporte (Etapa 4)

4.5 Pruebas de testeo del módulo.

Antes de precisar las pruebas a las que será sometido el módulo SFMDengine 1.07 se detallará los objetivos de estas pruebas con el fin de definir claramente su aporte al proyecto.

Los objetivos de las pruebas realizadas son:

- Precisar la efectividad de cada celda en el ensamble de piezas.
- Conocer cómo afecta el tipo de material de las piezas de ensamble al funcionamiento del equipo.

- Identificar el porcentaje de ensambles exitosos realizados por una secuencia de ensamble.
- Conocer las debilidades en el diseño que no fueron contempladas en su concepción con el fin de incluirlas en futuras mejoras.

4.5.1. Pruebas de ensamble de ejes.

Esta prueba consiste en ensamblar 200 ejes sobre las bases del sistema de transporte e identificar el número de ensambles erróneos que se efectúan, así como también las posiciones en que suceden y el tipo de material del eje mal ensamblado.

El resultado de estas pruebas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 84 Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de ejes)

| | Error de ensamble de ejes metálicos | Error de ensamble en ejes Plásticos | Total ejes |
|----------------------|--|--|-----------------------|
| Posición 1 | - | 3 | 50 |
| Posición 2 | 4 | 2 | 50 |
| Posición 3 | 2 | - | 50 |
| Posición 4 | 5 | - | 50 |
| Ejes Errados | 11 | 5 | 16 |
| Total pruebas | 200 | Efectividad de celda | 92% |

4.5.2. Pruebas de ensamble de Discos con ejes.

Esta prueba consiste en ensamblar 200 discos sobre las bases del sistema de transporte con ejes ensamblados en su interior e identificar el número de ensambles erróneos que se efectúan, así como también las posiciones en que suceden y el tipo de material del disco mal ensamblado.

El resultado de estas pruebas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 85 Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de discos - con ejes)

| | Error de ensamble de discos metálicos | Error de ensamble de discos plásticos | Total discos |
|-----------------------|--|--|---------------------|
| Posición 1 | - | 2 | 50 |
| Posición 2 | 2 | - | 50 |
| Posición 3 | 4 | 2 | 50 |
| Posición 4 | 1 | - | 50 |
| Discos errados | 7 | 4 | 11 |
| Total pruebas | 200 | Efectividad | 94.50% |

4.5.3. Pruebas de ensamble de Discos sin ejes.

Esta prueba consiste en ensamblar 200 discos sobre las bases del sistema de transporte sin ejes ensamblados en su interior e identificar el número de ensambles erróneos que se efectúan, así como también las posiciones en que ocurre el fallo y el tipo de material del disco mal ensamblado. El resultado de estas pruebas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 86 Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de discos - sin ejes)

| | Error de ensamble de discos metálicos | Error de ensamble de discos plásticos | Total discos |
|-----------------------|--|--|---------------------|
| Posición 1 | 24 | 24 | 50 |
| Posición 2 | 22 | 25 | 50 |
| Posición 3 | 25 | 21 | 50 |
| Posición 4 | 25 | 24 | 50 |
| Discos errados | 96 | 94 | 190 |
| Total pruebas | 200 | Efectividad | 5% |

4.5.4. Pruebas de ensamble de tapas.

Esta prueba consiste en ensamblar 200 tapas sobre las bases del sistema de transporte e identificar el número de ensambles erróneos que se efectúan, así como también las posiciones en que suceden.

El resultado de estas pruebas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 87 Resultados de pruebas de testeo (Celda de ensamble de tapas)

| | Error ensamble de tapas | Total tapas | |
|----------------------|--|--------------------|-----|
| Posición 1 | 1 | 50 | |
| Posición 2 | - | 50 | |
| Posición 3 | - | 50 | |
| Posición 4 | 1 | 50 | |
| Ejes Errados | 2 | 2 | |
| Total pruebas | 200 | Efectividad | 99% |

4.5.5. Análisis de resultados.

La tabla 87 muestra el resumen de las pruebas realizadas anteriormente a las celdas de ensamble del módulo SFMDengine 1.07.

Tabla 88 Resultados del SFMDengine 1.07

| | Efectividad para ensamblar material plástico | Efectividad para ensamblar material metálico | Efectividad de celda |
|--|---|---|---------------------------------|
| Celda de ensamble de ejes. | 89% | 95% | 92% |
| Celda de ensamble de discos con ejes | 93% | 96% | 94.5% |
| Celda de ensamble de discos sin ejes. | 4% | 6% | 5% |
| Celda de ensamble de tapas | 99% | - | 99% |

Como se puede apreciar en la tabla 87 el módulo SFMDengine 1.07 presenta una limitación significativa para ensamblar discos, de cualquier material, sobre bases sin ejes previamente ensamblados. Esta limitación presenta una probabilidad de fallo en el ensamble del 95%.

Por otra parte, también se observa que la probabilidad de fallo de ensamble de materiales metálicos es ligeramente superior a la probabilidad de fallo de ensambles de materiales plásticos con un 9% y 4.5% respectivamente, reconociendo que ambas probabilidades de fallo son muy bajas.

Tomando en consideración un proceso de ensamble aleatorio total de: cuatro ejes, cuatro discos y cuatro tapas; se puede determinar que la probabilidad de efectividad es 86%, lo que indica que en cuatro ensambles consecutivos existe la probabilidad de que un ensamble sea defectuoso.

Para analizar la naturaleza aleatoria o específica de los errores en las pruebas realizadas se procederá a realizar cartas de control por atributos NP las cuales detallarán si existe una falla específica en el mecanismo o si simplemente corresponde a una falla de orden común inherente al proceso.

Tabla 89 Control de atributos (Celda de ensamble de ejes)

| | Ejes mal ensamblados | Tamaño de muestra |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Posición 1 | 3 | 50 |
| Posición 2 | 6 | 50 |
| Posición 3 | 2 | 50 |
| Posición 4 | 5 | 50 |
| Total ejes mal ensamblados | 16 | |
| Número de fallos (<i>np</i>) | 4 | |
| Límite de control superior | 9 | |
| Límite de control inferior | 1 | |

Tabla 90 Control de atributos (Celda de ensamble de discos)

| | Discos mal ensamblados | Tamaño de muestra |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Posición 1 | 2 | 50 |
| Posición 2 | 2 | 50 |
| Posición 3 | 6 | 50 |
| Posición 4 | 1 | 50 |
| Total ejes mal ensamblados | 11 | |
| Número de fallos (<i>np</i>) | 2,75 | |
| Límite de control superior | 7 | |
| Límite de control inferior | 0 | |

Tabla 91 Control de atributos (Celda de ensamble de tapas)

| | Tapas mal ensambladas | Tamaño de muestra |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Posición 1 | 1 | 50 |
| Posición 2 | 0 | 50 |
| Posición 3 | 0 | 50 |
| Posición 4 | 1 | 50 |
| Total ejes mal ensamblados | 2 | |
| Número de fallos (<i>np</i>) | 0,5 | |
| Límite de control superior | 2,61 | |
| Límite de control inferior | 0 | |

CAPITULO 5

ANÁLISIS FINANCIERO DEL SFMDENGINE 1.07

El presente capítulo tiene como fin obtener el beneficio costo de la manufactura del módulo realizado en el presente proyecto, pues si bien se requirió de una inversión considerable, misma que se detalla a continuación, la recuperación será inmediata pues el modulo ya cuenta con una oferta de compra, teniendo así:

Tabla 92 Costos totales de materiales empleados

| <i>COSTOS TOTALES DE MATERIALES EMPLEADOS</i> | | |
|---|-----------------|-------------|
| CONCEPTO | VALOR | % |
| Material eléctrico | 1.566,93 | 20% |
| Manufactura de accesorios | 143,75 | 2% |
| Manufactura de componentes | 1175 | 15% |
| Material de sujeción | 290,47 | 4% |
| Material de manufactura | 701,38 | 9% |
| Accesorios neumáticos | 455,34 | 6% |
| Sensores magnéticos | 350,17 | 4% |
| Tarjetas de circuito impreso | 1072,71 | 14% |
| Drivers motores | 73,08 | 1% |
| Motores a paso | 176,4 | 2% |
| Sensores fotoeléctricos | 468,66 | 6% |
| Otros materiales | 450,93 | 6% |
| Actuadores Neumáticos | 900 | 12% |
| TOTAL COSTOS MATERIALES | 7.824,82 | 100% |

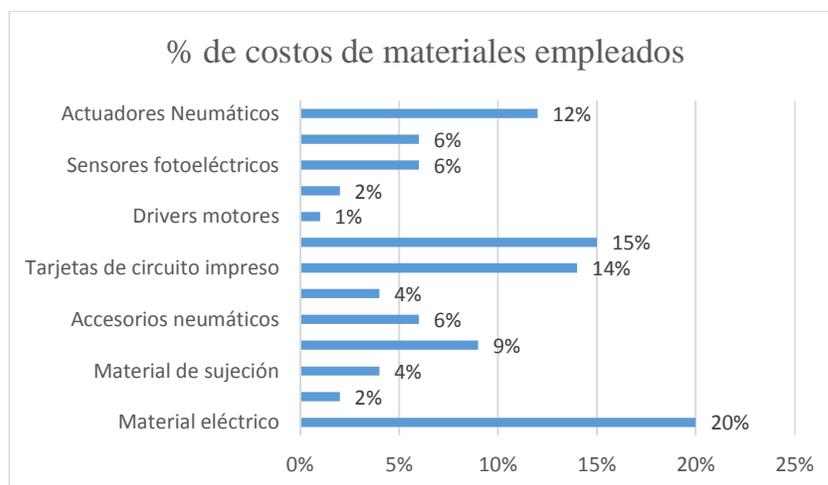


Figura 123 Porcentajes de costos de materiales empleados

Tabla 93 CIF de producción

| CIF DE PRODUCCION | |
|-------------------|--------------|
| TRANSPORTE | 350 |
| LUZ | 150 |
| AGUA | 30 |
| ALIMENTACION | 900 |
| TOTAL CIF | 1.430 |

Tabla 94 Índice B/C del proyecto

| BENEFICIO COSTO DEL PROYECTO | |
|-------------------------------------|-------------|
| PRECIO OFERTA DE COMPRA | 25.000 |
| TOTAL COSTOS | 9.255 |
| BENEFICIO COSTO DEL PROYECTO | 2,70 |

Por cada dólar que los inversionistas realicen en este proyecto recuperaran en dólar y adicionalmente les quedara 1,70 dólares de ganancia, siendo un proyecto rentable.

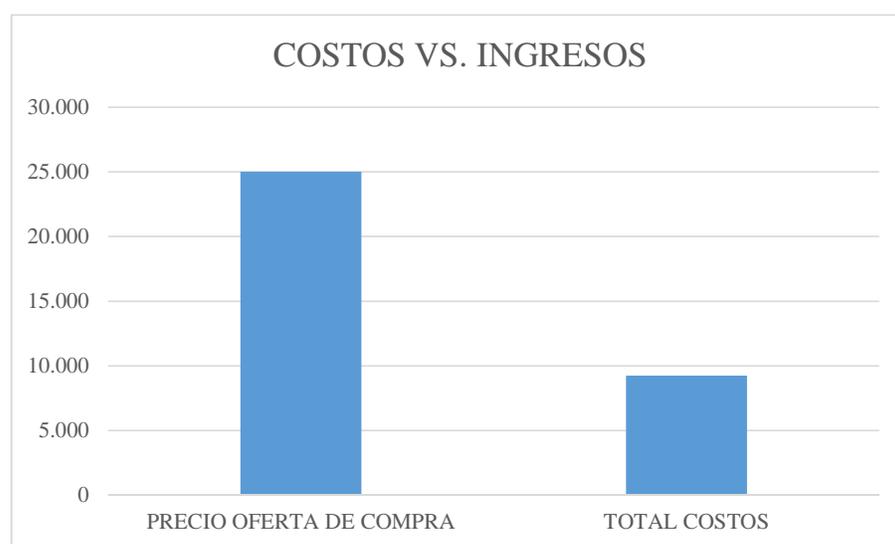


Figura 124 Costos VS. Ingresos

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se ha cumplido el alcance del proyecto en su totalidad, contemplando el uso de PLCs, microcontroladores, software de simulación y control; a su vez, el sistema modela un proceso de ensamble en donde se encuentra automatizado: alimentación de piezas, manipulación de piezas, transporte, reconocimiento y detección de piezas y ensamble.
- La metodología de diseño aplicado en el proyecto contempla a su vez parte de la metodología QFD buscando precisar con esta herramienta las necesidades originadas desde el cliente en características técnicas cuantificables.
- El uso de microcontroladores, PLC o el Software Automation Studio para cumplir tareas de control y monitoreo no son factores que determinen el nivel de desempeño del sistema.
- La información conceptual del sistema: funcionamiento, operación, puesta punto está precisada a lo largo del presente escrito en forma de diagramas, figuras y cuadros de funcionamiento elaborados por los autores.
- La metodología de diseño desarrollada para este proyecto fue efectiva en su aplicación conceptual, permitiendo no solo tener en consideración la voz del cliente y su peso en el diseño a través de la matriz QFD, sino también, tener a disposición una herramienta de segregación y selección con la aplicación de matrices morfológicas. De esta forma, la metodología aquí aplicada brindó, acertadamente, los lineamientos y guías de diseño esperadas.

- Una de las fortalezas de la metodología desarrollada en este proyecto, es la aplicación de matrices morfológicas como herramienta de segregación o selección, permitiendo que en las diferentes etapas del diseño disminuya el grado heurístico en el planteamiento de soluciones apuntando a la desventaja más clara del proyecto: la falta de experiencia de los desarrolladores del mismo.
- El modelo descriptivo lineal usado en el desarrollo de este proyecto, pese a su efectividad, presenta una desventajas de aplicación, propia de la su naturaleza descriptiva y lineal de su concepto. El modelo no contempla la concurrencia de varios diseños (diseños paralelos), entiéndase como: el diseño a detalle mecánico y diseño a detalle eléctrico/electrónico; causando que el diseño mecánico condicione el diseño eléctrico/electrónico, originando que posibles errores o dificultades en el control provoquen re-evaluaciones en diseños ya aprobados, cambios de morfologías de funcionamiento, retrasos imprevistos, y sustancialmente incremento en el gasto del presupuesto
- La inclusión de la plataforma SolidWorks de Dassault Systemes para el desarrollo del diseño mecánico facilitó la obtención de un modelo virtual del SFMDengine1.07, es decir un modelo simulado donde se pudo determinar el funcionamiento dinámico y estático del sistema, el dimensionamiento de los actuadores y la distribución en el espacio de cada uno de los mecanismos; recopilando de esta forma información detallada antes de la manufactura de componentes y compra de dispositivos originando que el diseño esté sujeto a mejoras continuas a partir de su modelo virtual.
- El modelo que describe el proceso del diseño electrónico difiere de la naturaleza descriptiva lineal de la metodología aplicada ya que permitió el análisis concurrente tanto de la instrumentación del módulo, entiéndase como el acople mecánico de sensores, y de la forma de control.
- El modelo de control del sistema está basado en dos tipos: uno modular realizado por las tarjetas de circuito impreso y uno central realizado por el PLC y el software Automation Studio, de esta forma se logró disminuir la

complejidad del control y aumentar la flexibilidad, al no tener todas las tareas cargadas en una sola forma de control.

- El modelo de control no centralizado del sistema SFMDengine 1.07 es en gran parte el que origina la flexibilidad en el sistema, ya que permite disminuir la complejidad en el control distribuyendo tareas de ejecución a dispositivos específicos (PLC, tarjetas modulares y tarjeta de drivers) y comunicándolos en entre sí a través de niveles de voltaje estándar (24VDC – 0V – AI), denotando la posibilidad de usar una amplia variedad de dispositivos de control, entiéndase estos como: DAQ NI, micro controladores PIC, micro controladores AVR, PLCs de varias marcas , entre otros.
- Para garantizar que la efectividad del módulo SFMDengine 1.07 sea 95.1% es necesario que en la secuencia de ensamble no existan posiciones con ausencia de ejes anterior al ensamble de discos, independientemente del material de disco a ensamblar.
- La manufactura en Nylon originó varios errores en el diseño del módulo SFMDengine1.07 ya que éste material es susceptible a dilataciones térmicas en la manufactura y deformación plástica en el funcionamiento.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda la socialización del presente proyecto hacia jefes de laboratorio de automatización y materias afines, docentes relacionados con el área de automatización y materias afines, encargado y jefes de mantenimiento en el sector industrial; buscando como fin el enriquecer el proceso de diseño de futuras versiones del sistema y visualizar en perspectiva los aciertos y desaciertos originados en el desarrollo de este proyecto.
- Se recomienda implementar sobre la metodología del presente proyecto herramientas de búsqueda de soluciones, como por ejemplo: lluvia de ideas, antes de la aplicación de matrices morfológicas. Estas herramientas deberían recoger el criterio profesional de personas con experiencia y/o relacionadas directamente con áreas afines a este proyecto.

- Se recomienda la reestructuración de la metodología de diseño con el fin de contemplar en el proceso la concurrencia de diseños (diseños paralelos) y su posible aplicación con equipos de diseño multidisciplinarios y/o departamentos de diseño independiente.
- Se recomienda hacer una evaluación detallada del mecanismo de la celda de ensamble de discos con el fin de aumentar su efectividad en su funcionamiento ya que presento un déficit de ensamble de discos sin ejes previamente ensamblados.
- Se recomienda una evaluación detallada de los accesorios y mecanismos presentes en el módulo con el fin de estudiar la viabilidad de cambio en el diseño, buscando su facilidad de puesta a punto, su facilidad de calibración, su facilidad de control y su mejoramiento estético.
- Se recomienda la ampliación en las capacidades eléctricas y electrónicas del módulo SFMDengine 1.07 con el fin de incluir buses de campo y protocolos de comunicación actualmente usados en la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BP, C. (2014, Mayo). *BP Ecuador sitio web*. Retrieved from http://www.bpecuador.com/component/virtuemart/view/productdetails/virtuemart_product_id/47/virtuemart_category_id/8
- Browne, J. (1984). Clasification of flexible manufacturing system. *The FMS Magazine*, 114-117.
- Camozzi. (2008). Catálogo General. España: Camozzi.
- Chaur, J. (2004). *Ingenieria del Diseño*. Barcelona: Universidad de Cataluña.
- Chaur, J. (2004, 12 20). *Universidad Politecnica de Cataluña*. Retrieved from Universidad Politecnica de Cataluña:
C:\Users\Enrique\Dropbox\tesis\INFORMACIÓN\Metodologias de diseño\capitulo 2.PDF
- ESPE. (2013, 11 24). *Página Oficial ESPE*. Retrieved from Página Oficial ESPE: <http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=1257>
- ESPE. (2013, 09 24). *Página Oficial ESPE*. Retrieved from Página Oficial ESPE: <http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=515>
- Festo. (2014, 01 25). *Festo Didactic*. Retrieved from Festo Didactic: <http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/kits-de-proyectos/componentes/modulo-de-mesa-giratoria-de-indexacion.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjcxMC40MTg0>
- Hidraulic, H. (2012). Retrieved from <http://didactica.hre.es/productos-servicios/equipamiento-didactico-de-practicas/Mecatronica>
- Pololu. (2014, Junio). *Pololu*. Retrieved from <http://www.pololu.com/product/1472>
- PROVECUADOR. (2014). Retrieved from <http://provecuador.com.ec/bandas-transportadoras.html>
- Rodriguez, J., Beltran, D., & Toledo, C. (2011). Implementación de un sistema de supervisión y control para un proceso de fabricación y ensamble de piezas en un sistema de manufactura flexible (FMS). *2011*. España: ITCH II.
- SolidWorks. (2011). SolidWorks Corp. *Pon tus diseños en movimiento con la simulación basada en eventos*. Estados Unidos: Dassault System.

- SolidWorks. (2014). *Accurate Desing Similation*. Estados Unidos : Dassault System.
- SolidWorks, C. (2010). *Understanding motion simulation. Understanding motion simulation*. Estados Unidos: Dassault Systemes.
- SolidWorks, C. (2012). *Product lifecycle management made easy*. Estados Unidos: Dassault System.
- System, H. (2012, 07 11). *ULMA Handing System*. Retrieved from ULMA Handing System: <http://www.ulmahandling.com/es/logistica-transporte-automatico>
- ULMA. (2012, 07 25). *ULMA Handing System*. Retrieved from ULMA Handing System: <http://www.ulmahandling.com/es/logistica-transporte-automatico>
- ULMA. (2012, 07 11). *ULMA Handlig System*. Retrieved from ULMA Handlig System: www.ulmahandling.com/es/logistica-transporte-automatico
Vehículos de trasnporte
- Wikipedia. (2012, 05 27). *Wikipedia*. Retrieved from Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- Yacuzzi, E., & Martin, F. (2009). *QFD Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos*. Buenos Aires, Argentina: Universidad CEMA.