

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO 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.

*Ramírez Navarrete Carlos Leonardo, Solarte Pardo Bolívar Enrique
Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de las fuerzas Armadas ESPE
Sangolquí, 11 de Agosto del 2014, Pichincha - Ecuador*

RESUMEN: El presente artículo explica la metodología aplicada en el diseño de un módulo flexible de manufactura didáctico usando como base un modelo descriptivo lineal, también explica la aplicación de herramientas metodológicas como: matriz QFD, matriz morfológica, cajas negras conceptuales y diagramas cusa efecto; al igual que herramientas técnicas como: SolidWorks Motion, SolidWorks Simulations, OPC y Automation Studio dentro del modelo de diseño.

ABSTRACT: El presente artículo explica la metodología aplicada en el diseño de un módulo flexible de manufactura didáctico usando como base un modelo descriptivo lineal, también explica la aplicación de herramientas metodológicas como: matriz QFD, matriz morfológica, cajas negras conceptuales y diagramas cusa efecto; al igual que herramientas técnicas como: SolidWorks Motion, SolidWorks Simulations, OPC y Automation Studio dentro del modelo de diseño.

PALABRAS CLAVE: FMS, OPC, diseño CAD, metodología de diseño, matriz QFD, matriz morfológica, SolidWorks.

1. INTRODUCCION

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, 2004). 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. El proyecto descrito en este artículo es un FMS didáctico desarrollado en base a un modelo descriptivo lineal

2. PREMISAS DE DISEÑO

Las premisas en el diseño son atributos iniciales que se desea perseguir en el proceso de diseño (objetivos). Éstas premisas brindan objetividad al proceso de diseño permitiendo, en la aplicación de la metodología, ponderar las posibles soluciones de mejor manera.

Como premisas de diseño consideraremos los siguientes puntos:

- El sistema modelará un proceso de ensamble automatizado
- Deberá tener un sistema automatizado de alimentación de piezas
- Deberá tener un sistema de manipulación de piezas.
- Deberá poseer un sistema de reconocimiento y detección piezas.

Otro objetivo principal en el diseño de este sistema es su aplicabilidad pedagógica, la misma que está orientada a materias como: microcontroladores, PLCs, redes industriales, programación, instrumentación, control industrial, entre otras.

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

La metodología aplicada en el desarrollo de este proyecto está basado en un modelo descriptivo lineal, el cual organiza de forma secuencial la estructura del proceso de diseño brindando objetivos claros en cada etapa, los mismos que serán alcanzados con la aplicación de herramientas metodológicas y técnicas.

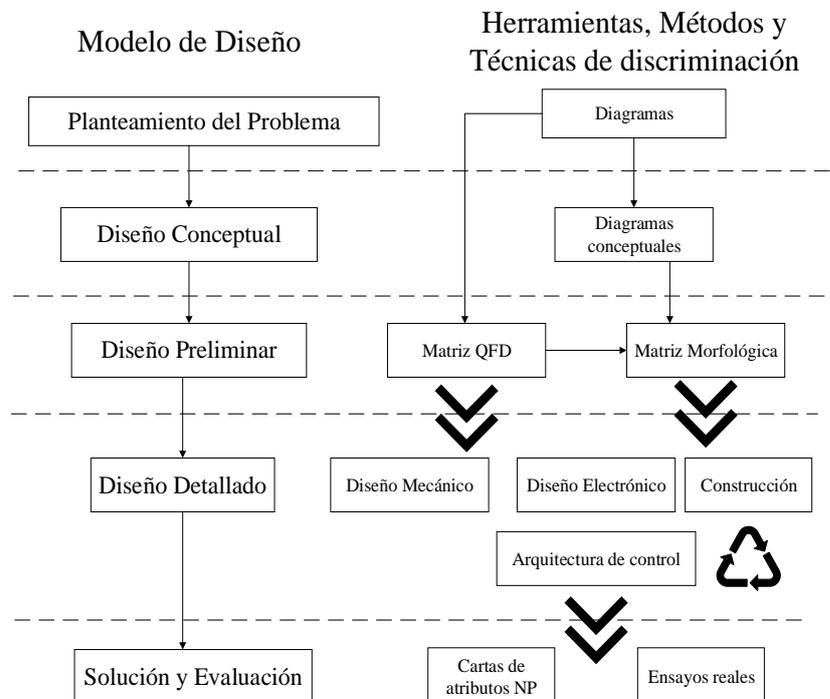


Figura 1. Metodología de diseño

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La primera etapa del modelo de diseño busca determinar el proceso que será automatizado y desarrollado en las etapas siguientes de la metodología. El planteamiento de éste proceso se basa en las premisas de diseño del sistema anteriormente planteadas, requerimientos de producción, o en su defecto requerimientos externos buscando de manera objetiva determinar las partes que involucrarán el proceso y su forma de relacionarse unas con otras.

El proceso que define el módulo FMS es un proceso de ensamble flexible que contempla tres partes o piezas sobre una base única.



Figura 2. Planteamiento del proceso de ensamble

Para considerar la *flexibilidad de operación* y *flexibilidad en el proceso* (Browne, 1984) se plantea la definición de celdas flexibles de ensamble (FACs) las mismas que serán específicas para cada parte dentro del proceso de ensamble.

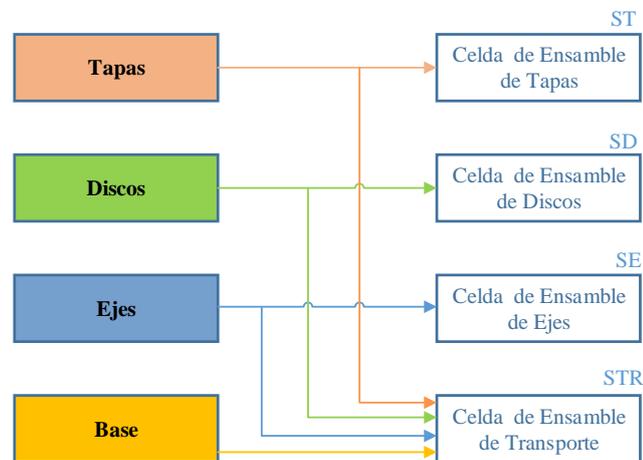


Figura 3. Definición de celdas de ensamble

3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En la etapa anterior de nuestro modelo de diseño identificamos las partes que conforman el proceso de ensamble, también planteamos celdas especializadas para manejar y ensamblar cada parte. El diseño conceptual buscar profundizar las relaciones entre FACs y plantear nuevos sistemas, de ser necesarios, para determinar el funcionamiento del sistema y visualizar en forma abstracta el flujo de información y los subsistemas que conforman al módulo FMS didáctico.

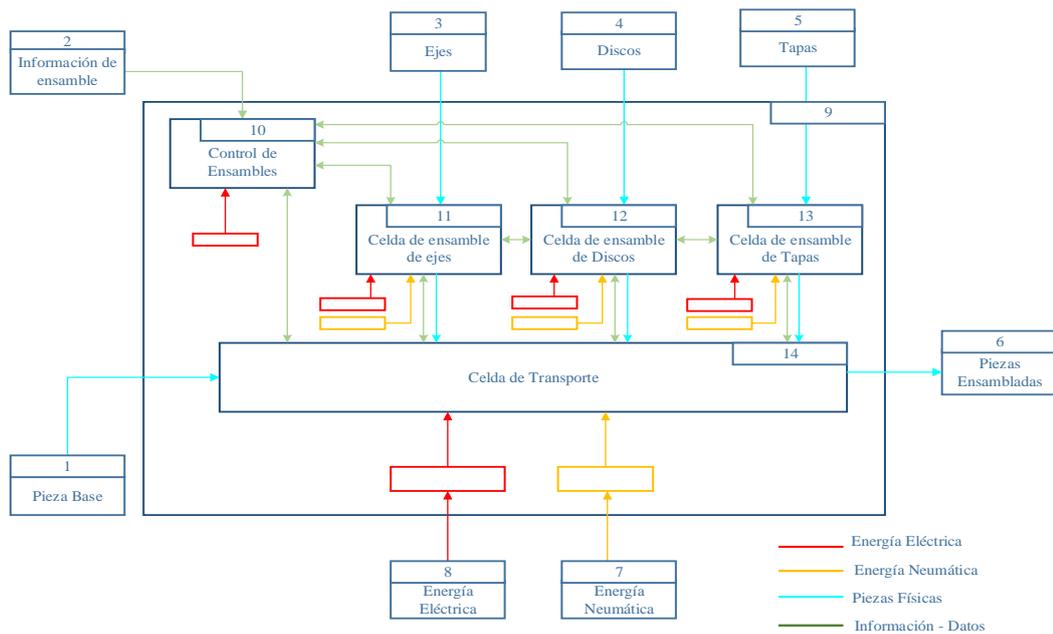


FIGURA 4. Subsistemas que conforman el FMS

3.3 DISEÑO PRELIMINAR

Una vez planeados los subsistemas que conforman el módulo FMS y el flujo de información entre ellos, es preciso delimitar sus características antes de pasar al diseño detallado de los mismos.

La definición de sus características permitirá reducir el grado heurístico en el diseño del sistema, permitiendo así cuantificar cuantitativamente los posibles diseños en la etapa siguiente de la metodología.

En esta etapa de la metodología, para plantear las características del sistema, se utiliza las herramientas: matriz QFD para encontrar las características técnicas y matriz morfológica para determinar el mejor modelo a diseñar.

3.3.1 MATRIZ QFD

El objetivo de la matriz QFD es encontrar las características técnicas que delimiten al sistema, con esta información cuantitativa se tiene un punto de selección para accesorios, selección de actuadores, selección de material para manufactura, entre otros.

Esta herramienta QFD contempla los requerimientos del cliente (valores cualitativos) y los traduce en requerimientos técnicos (valores cuantitativos) con el fin de precisar las características técnicas que responden a los requerimientos del cliente y su grado de correlación en ellas.

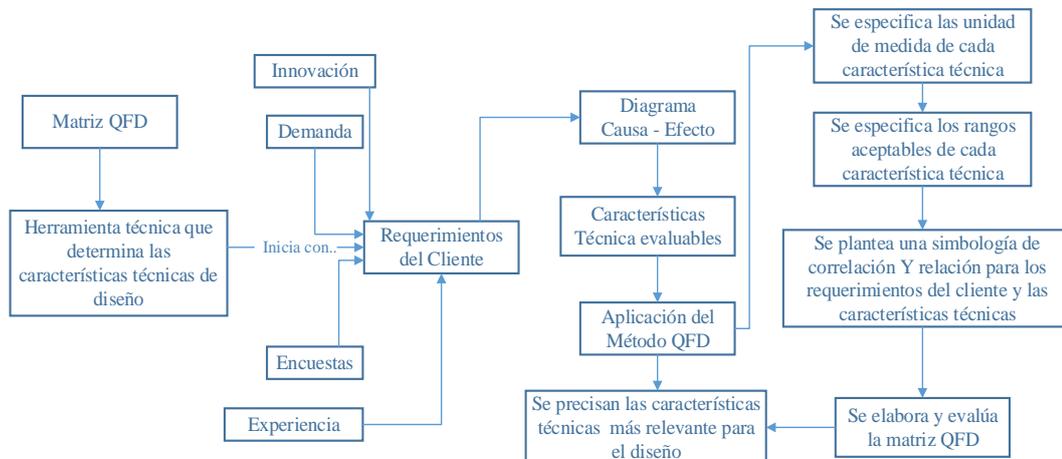


Figura 5. Descripción de matriz QFD

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

Tabla 1. Requerimiento de clientes

N.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
1	Diseño robusto y elegante	Disminuir Deformación unitaria por Esfuerzos	m
2		Alto factor de seguridad ante Esfuerzos	--
3		Disminuir peso del bastidor	kg
4	Fácil de adaptar a diseños propios	Uso de accesorios estandarizados empleados en el Ecuador	--
	Susceptible a usar varias tecnologías		
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 2. Características técnicas del diseño y sus unidades de media.

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 4. Matriz Morfológica de evaluación Económica

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%

Tabla 5. Matriz Morfológica de evaluación Técnica

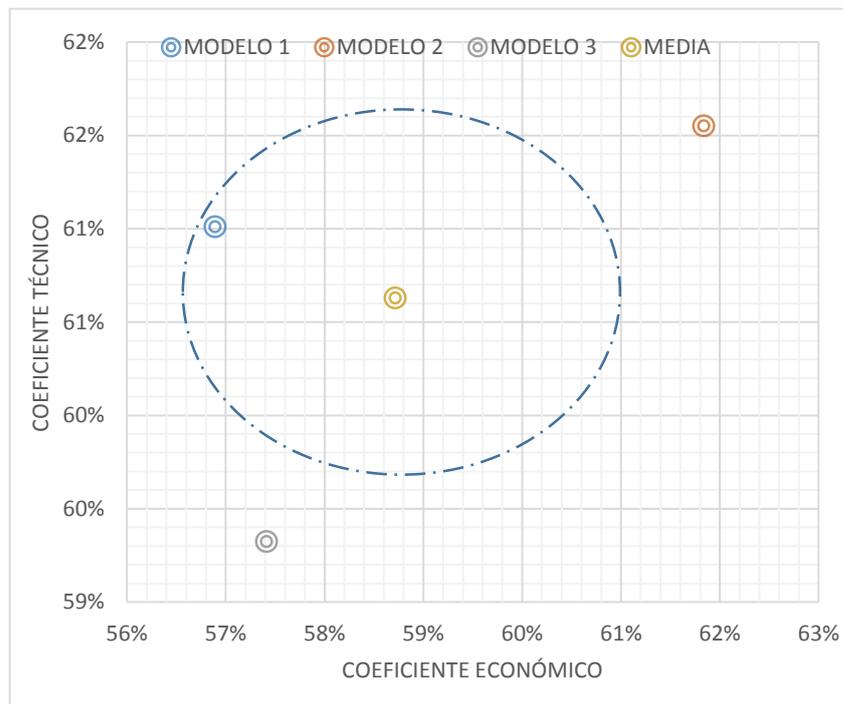


Figura 7. Coeficiente Técnico vs Coeficiente Económico de Modelos de solución

3.4 DISEÑO DETALLADO

2.4.1 DISEÑO MECÁNICO

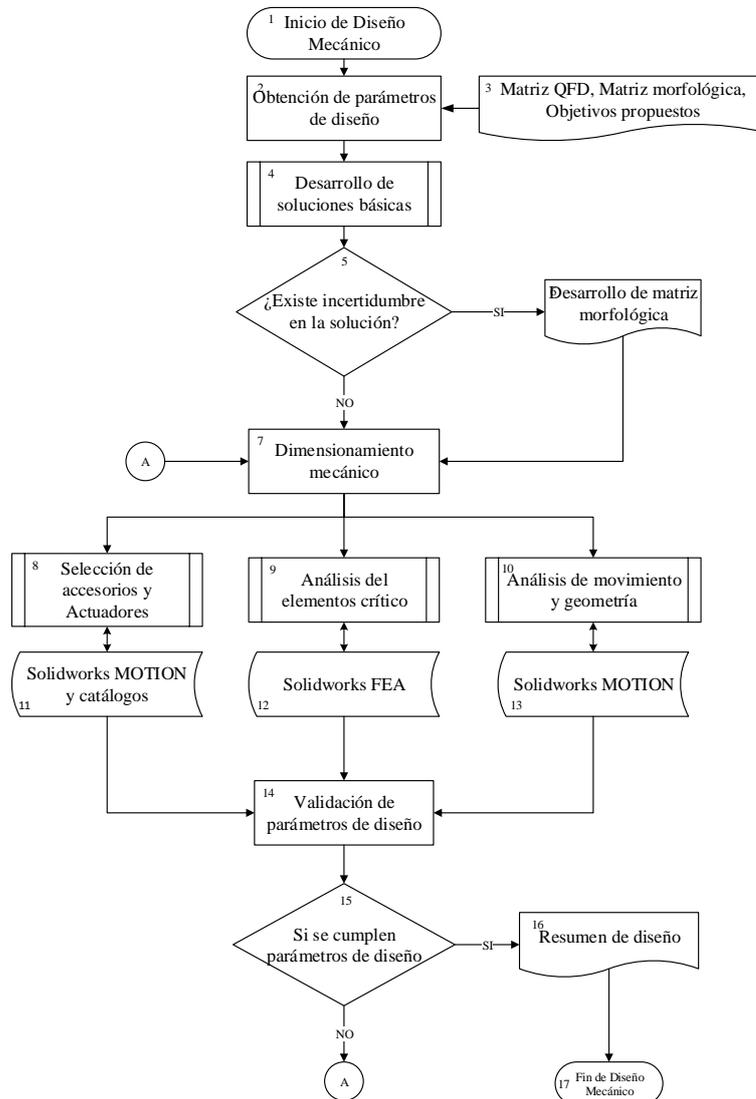


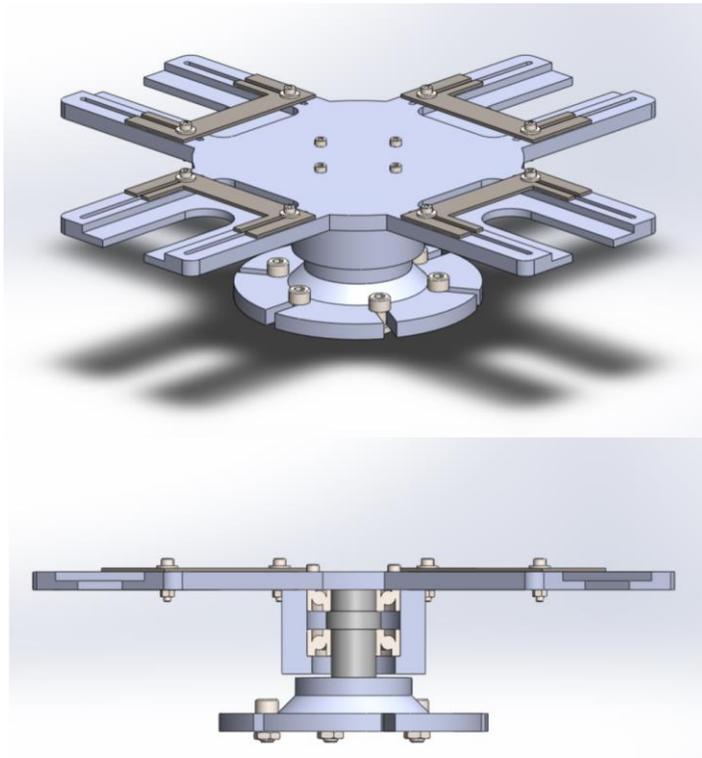
Figura 8. Modelo de diseño mecánico

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 por el diseño conceptual y diseño preliminar.

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.

2.4.1.1 CELDA DE TRANSPORTE



CARACTERISTICAS GENERALES

NOMBRE DE LA CELDA	Celda de Transporte
FUNCIÓN DE LA CELDA	Movilizar piezas bases entre FACs
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)
ACCESORIOS EN EL SISTEMA	2 x Rodamientos (DIM-7205B NTN)

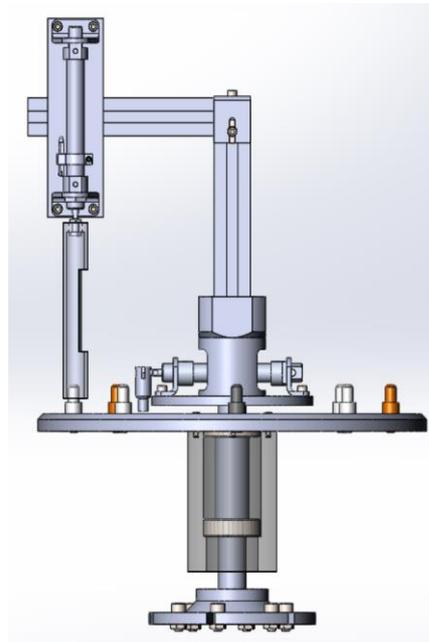
CARACTERISTICAS DE MOTOR SY57STH56-1006

TORQUE DEL ACTUADOR	9 N.m
FACTOR DE SEGURIDAD EN TORQUE	1.02
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	7V
CORRIENTE NOMINAL	1A
FORMA DE CONTROL	Pulsos por segundo (Hz)
VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO	15 RPM (aprox. 1Hz)

CARACTERISTICAS DE RODAMIENTO DIM-7205B NTN

CARGA DEL RODAMIENTO	9.4 N
FACTOR DE SEGURIDAD	330
TIPO DE RODAMIENTO	Rodamiento de contacto angular

2.4.1.1 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
PESO DEL SISTEMA	2.9 kg
LONGITUD MÁXIMA DEL SISTEMA	0.52 m
MÁXIMA CARGA SOBRE EL SISTEMA	0.35 kg
FACTOR DE SEGURIDAD ANTE ESFUERZOS (S_0)	3.4
DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (Df_0)	0.00035 m
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)

CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO SE-X-CL-6501618

FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR	120 N
FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE	100
DIAMETRO	16 mm
CARRERA	50 mm
PRESION DE FUNCIONAMIENTO	6 bar
FORMA DE CONTROL	Electroválvula 5/2 (SE-PEH-V-652M)

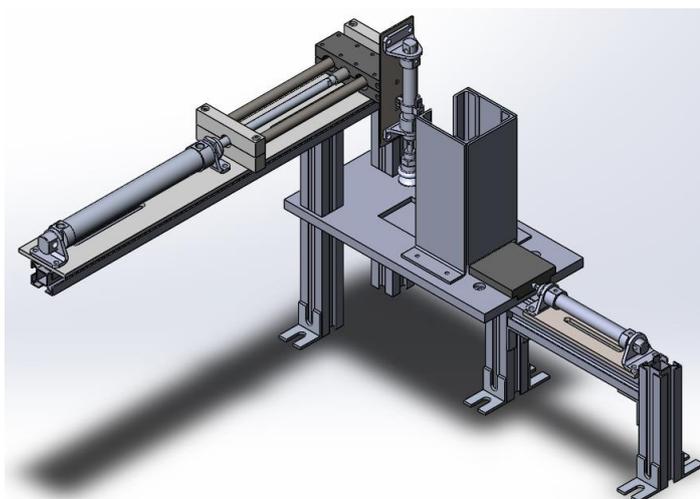
CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO SE-V-CL-6801618

FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR	120 N
FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE	96
DIAMETRO	16 mm
CARRERA	80 mm
PRESION DE FUNCIONAMIENTO	6 bar
FORMA DE CONTROL	Electroválvula 5/2 (SE-PEV-V-652M)

CARACTERÍSTICAS DE MOTOR SY57STH56-1006

TORQUE DEL ACTUADOR	0.9 N.m
FACTOR DE SEGURIDAD DE TORQUE	2.25
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	7V
CORRIENETE NOMINAL	1A
FORMA DE CONTROL	Pulsos por segundo (Hz)
VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO	7.5 RPM (aprox. 0.5Hz)

2.4.1.1 CELDA DE ENSAMBLE DE TAPAS



CARACTERÍSTICAS GENERALES

NOMBRE DEL SISTEMA	Celda de Ensamble de tapas
FUNCIÓN DEL SISTEMA	Movilizar piezas bases entre FACs
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
DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (Df_0)	0.0004 m
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

CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO ST-V-P-CL-68016D

FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR	120 N
FACTOR DE SEGURIDAD DE FUERZA	30.14
DIAMETRO	16 mm
CARRERA	50 mm
PRESION DE FUNCIONAMIENTO	6 bar
FORMA DE CONTROL	Electroválvula 5/2 (ST-PEV-V-652M)

CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO ST-H-P-CL-68016D

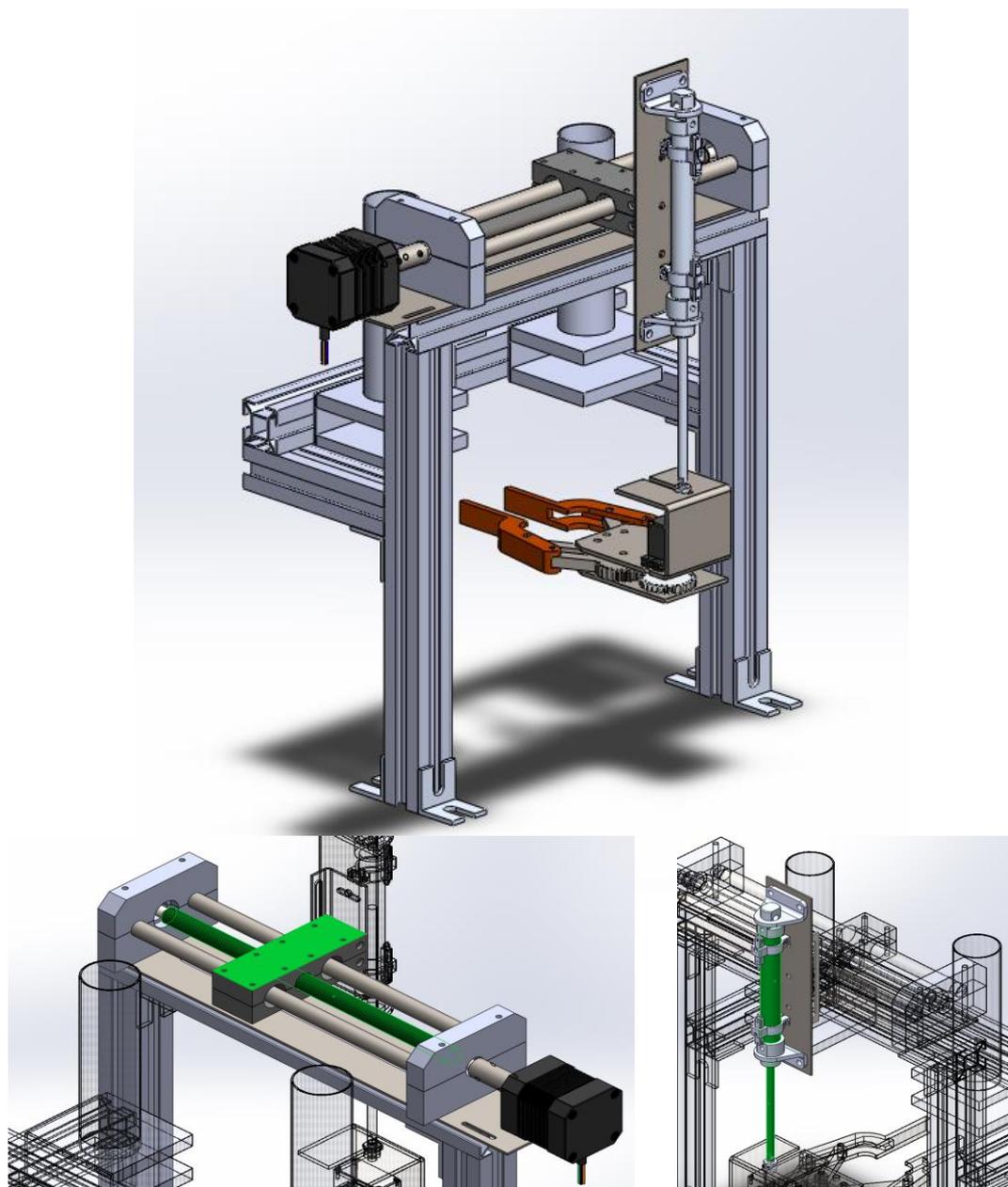
FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR	120 N
FACTOR DE SEGURIDAD DE FUERZA	33.77
DIAMETRO	16 mm
CARRERA	80 mm
PRESION DE FUNCIONAMIENTO	6 bar
FORMA DE CONTROL	Electroválvula 5/2 (ST-PEH-V-652M)

CARACTERÍSTICAS DE CILINDRO ST-X-P-CL-68016D

FUERZA MÁXIMA DEL ACTUADOR	120 N
FACTOR DE SEGURIDAD DE FUERZA	12.06

DIAMETRO	16 mm
CARRERA	160 mm
PRESION DE FUNCIONAMIENTO	6 bar
FORMA DE CONTROL	Electroválvula 5/2 (ST-PEH-V-652M)
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

2.4.1.1 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
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
DEFORMACIÓN MÁXIMA EN EL SISTEMA (Df_0)	0.0004m
ACTUADORES EN EL SISTEMA	1 x Motor a pasos (SY57STH56-1006)
	1 x Servo Motor (HS755DB)
	1 x Cilindro de Doble Efecto (610016D)
ACCESORIOS EN EL SISTEMA	2 x Rodamientos Radiales (608RS FAG)
	2 x Rodamientos Lineales (KH-1228)

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
CORRIENTE NOMINAL	1A
FORMA DE CONTROL	Pulsos por segundo (Hz)
VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO	500 RPM (aprox. 700Hz)

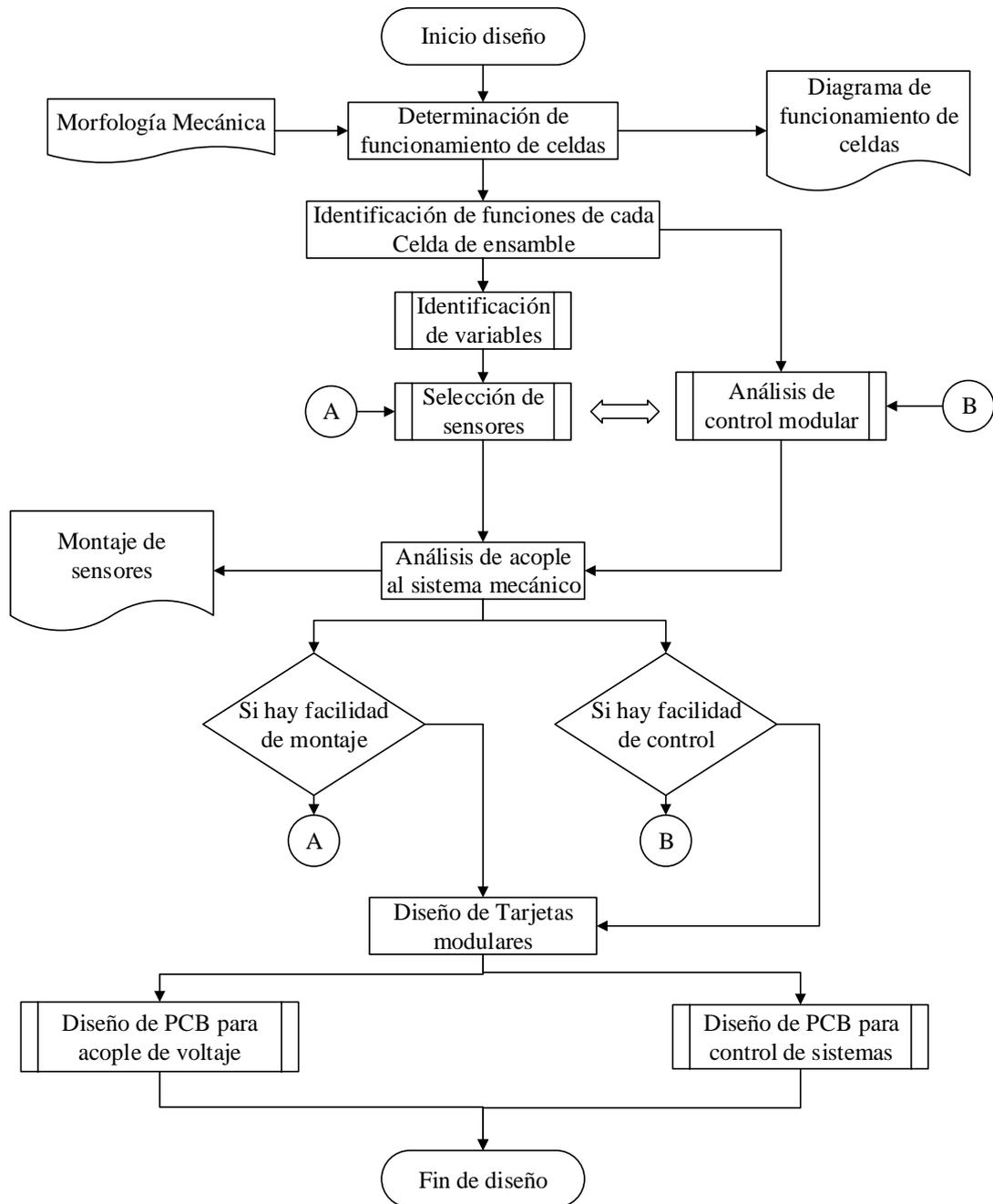
CARACTERISTICAS DE MOTOR SD-M-M-HS755HB

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

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)

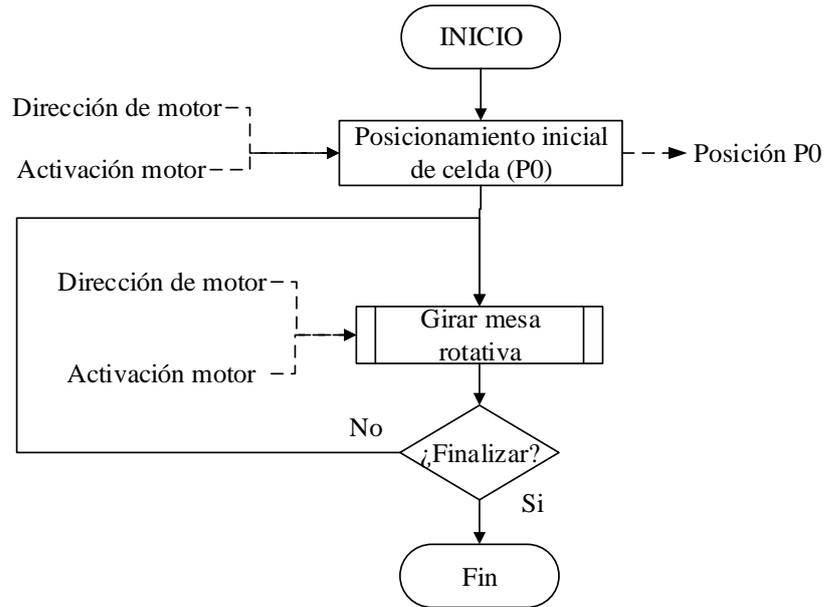
2.4.2 DISEÑO ELECTRÓNICO Y DE CONTROL



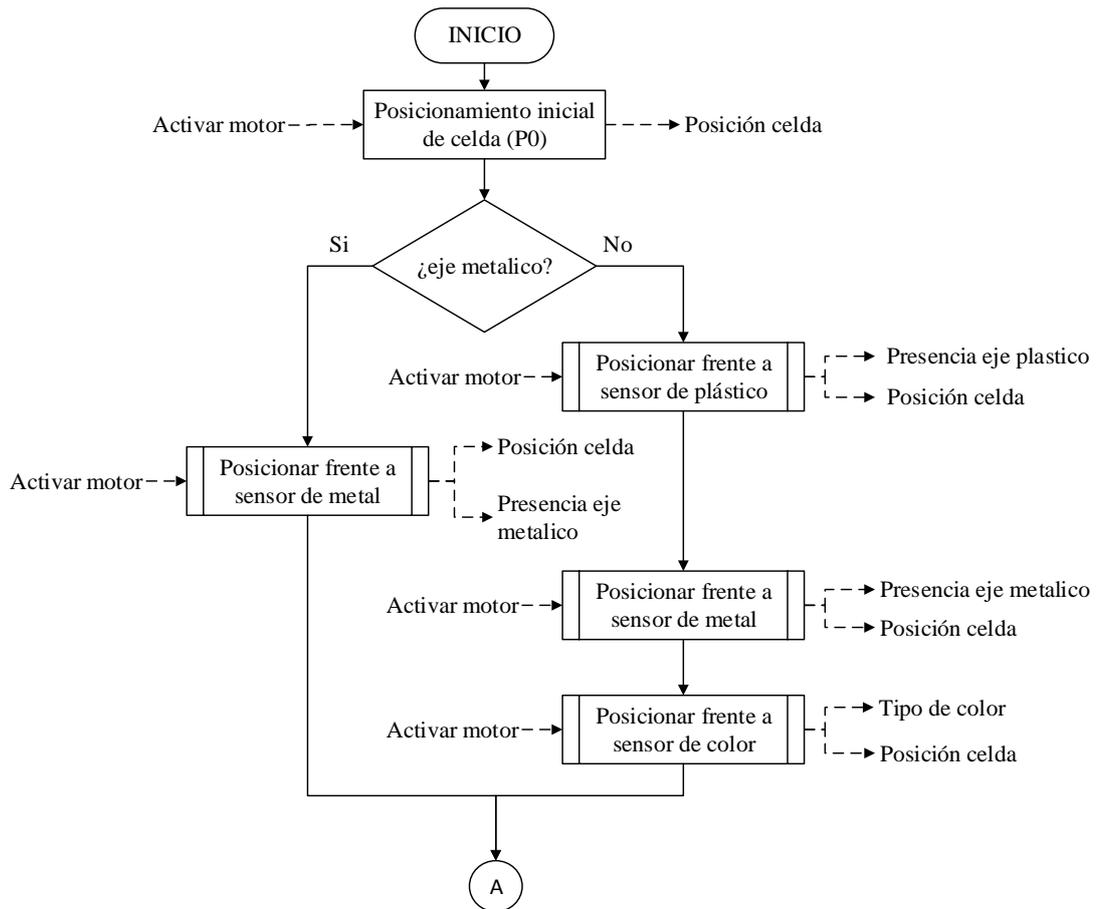
El diseño electrónico está basado en la morfología mecánica obtenida del diseño mecánico, a partir de lo cual se identifica las funciones de cada celda y las variables asociadas a cada una de ellas.

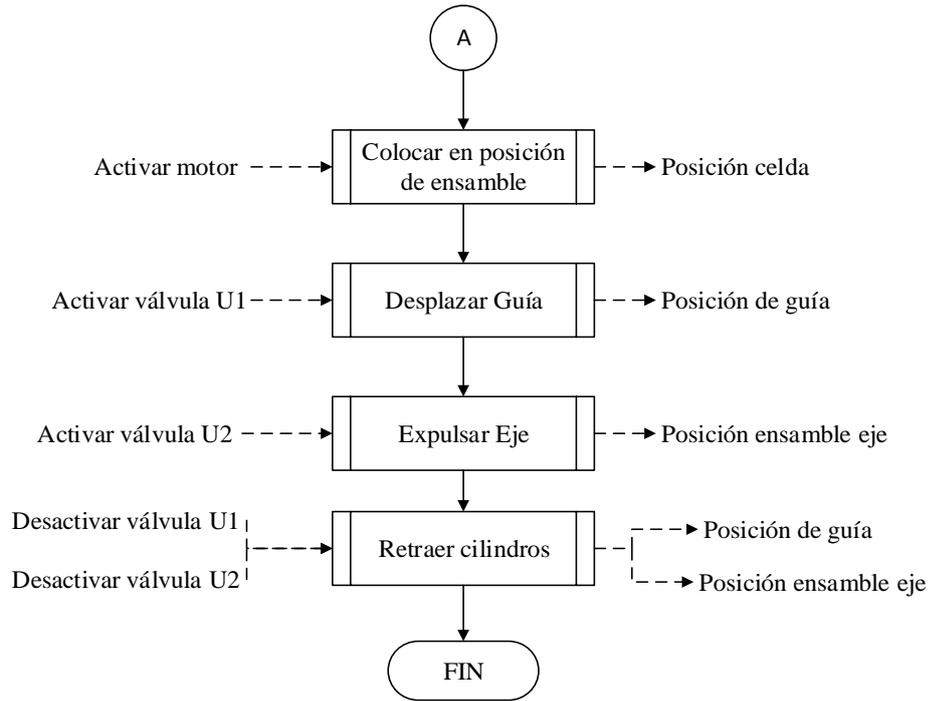
Una vez se ha determinado las variables y las funciones de cada celda se dar paso a la selección de sensores (Instrumentación del sistema) con lo cual se determina la manera más óptima para el control.

2.4.3.1 FUNCIONES DE LA CELDA DE TRANSPORTE

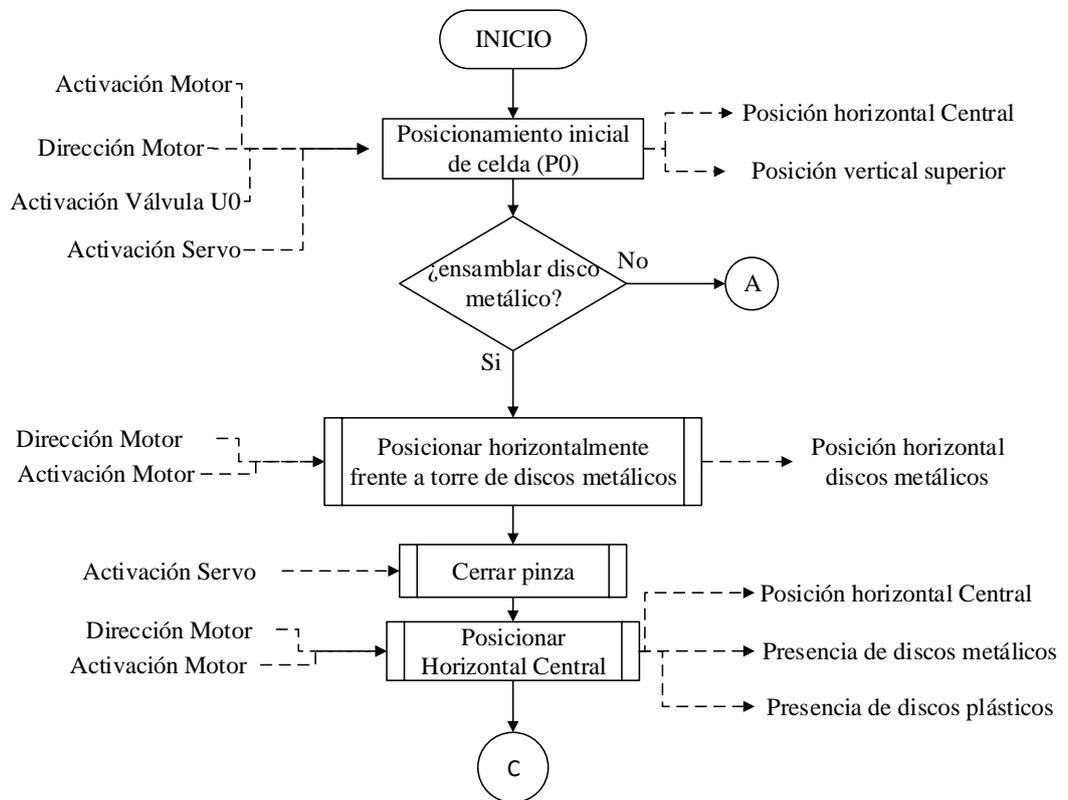


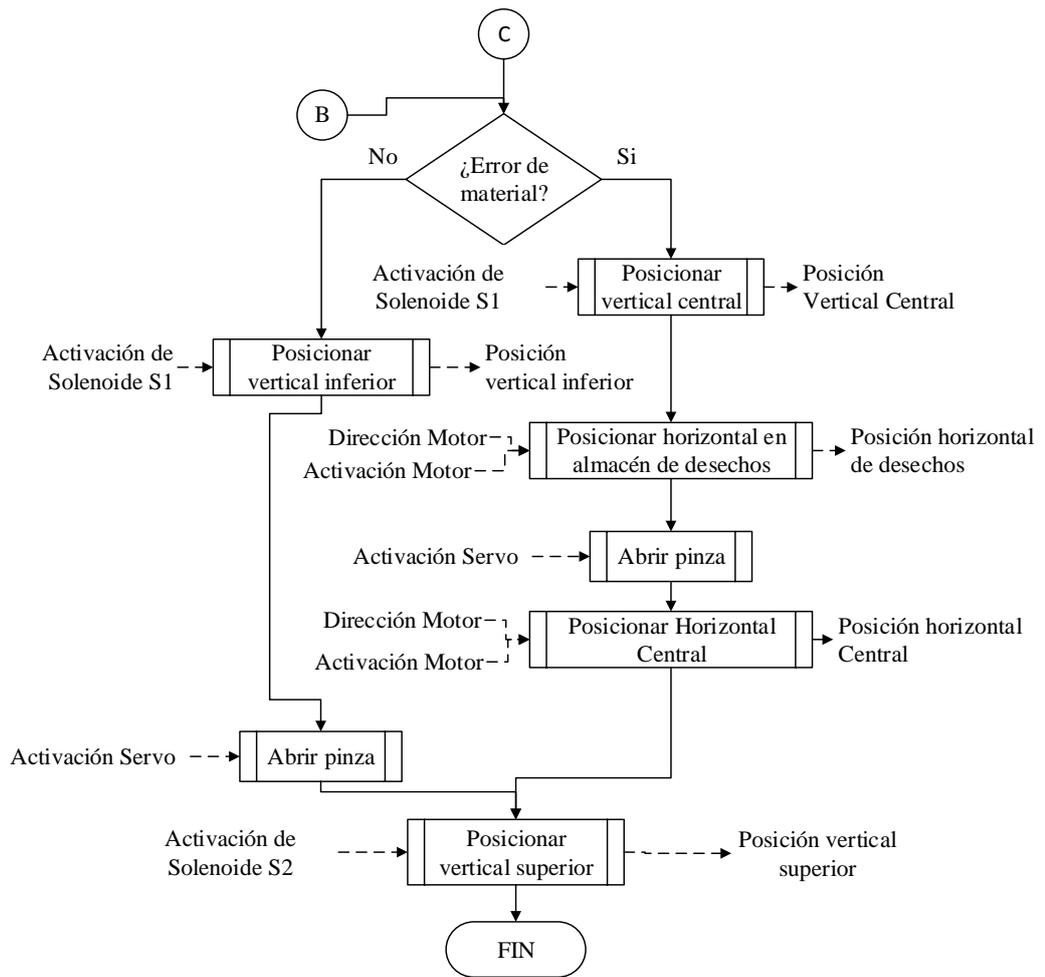
2.4.3.1 FUNCIONES DE LA CELDA DE ENSAMBLE DE EJES



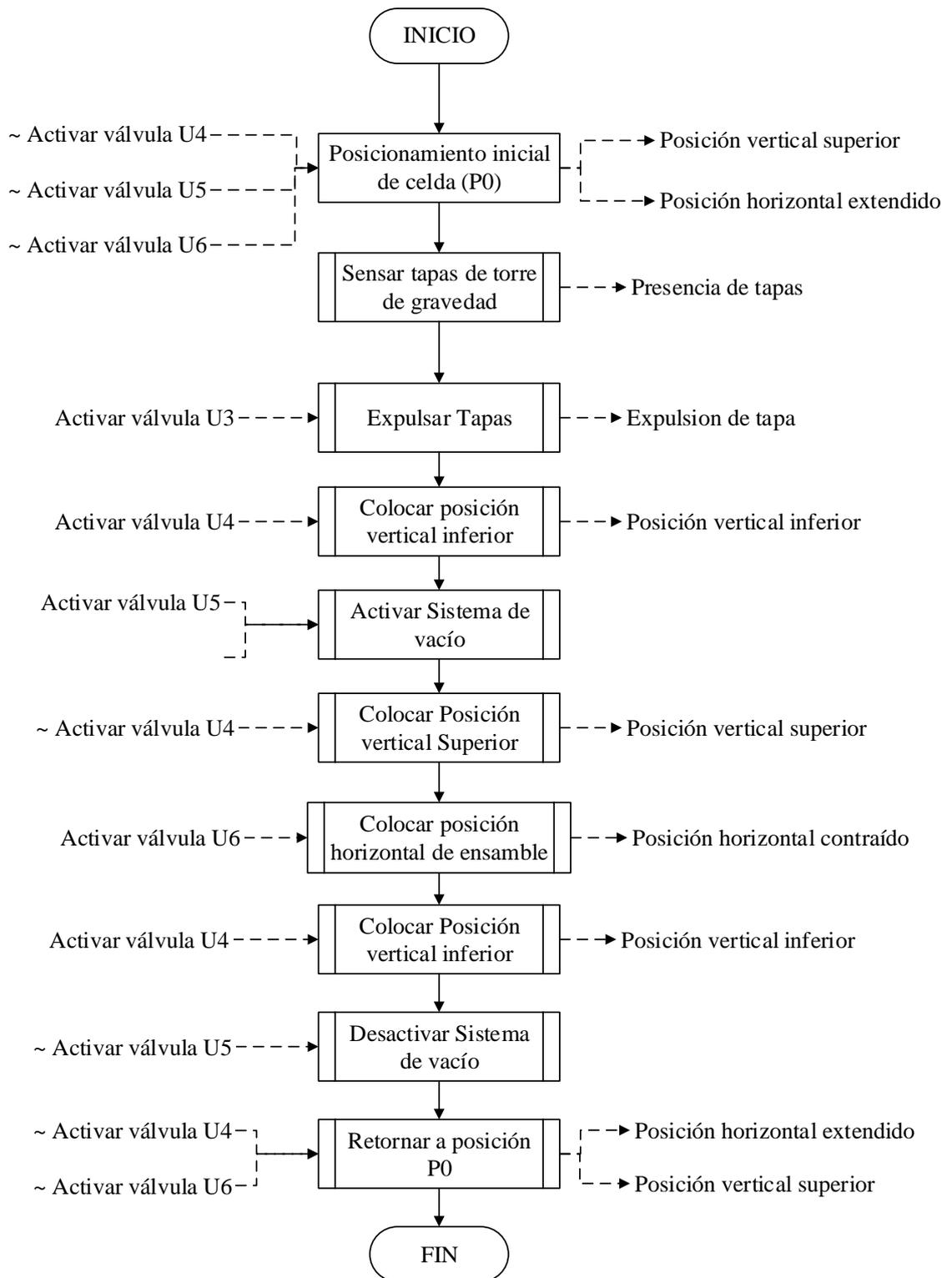


2.4.3.1 FUNCIONES DE LA CELDA DE ENSAMBLE DE DISCOS

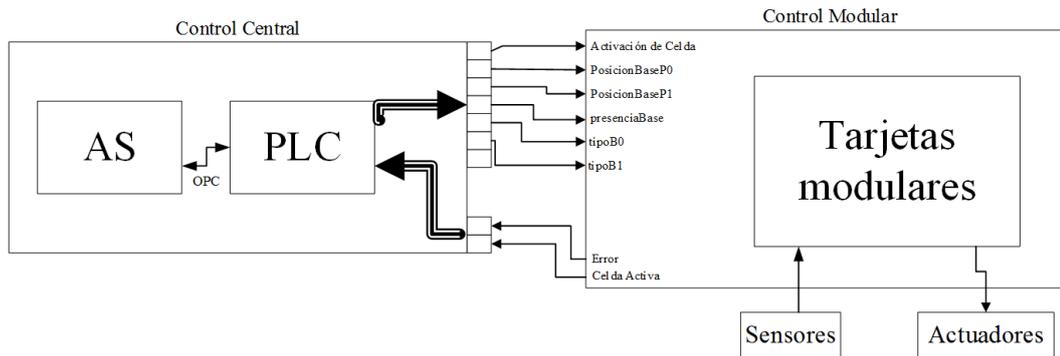




2.4.3.1 FUNCIONES DE LA CELDA DE ENSAMBLE DE DISCOS



2.4.3.2 MODELOS DE CONTROL



3.5 SOLUCIÓN Y EVALUACIÓN

3.5.1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE TESTEO DE LA CELDA 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%

3.5.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE TESTEO DE LA CELDA DE DISCOS

	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%

3.5.3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE TESTEO DE LA CELDA 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%

3.5.4 RESUMEN DE RESULTADOS

	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%

3.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.6.1 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 SFMDenengine1.07, 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 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.

3.6.2 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.

3.7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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). *Ingeniería 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 Handling System*. Retrieved from ULMA Handling System: <http://www.ulmahandling.com/es/logistica-transporte-automatico>

ULMA. (2012, 07 25). *ULMA Handling System*. Retrieved from ULMA Handling 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 transporte

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. *QFD Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos*. Buenos Aires, Argentina: Universidad CEMA.