

**REDISEÑO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA DEL LABORATORIO DE
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PILOTO DE
COLOMBIA**

Nelson Sosa Mora
Miguel Ángel Velandia Gómez
Carlos Javier Pedraza Lozano

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRONICA
BOGOTA D.C.
2017**

**REDISEÑO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA DEL LABORATORIO DE
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PILOTO DE
COLOMBIA**

Nelson Sosa Mora
Miguel Ángel Velandia Gómez
Carlos Javier Pedraza Lozano

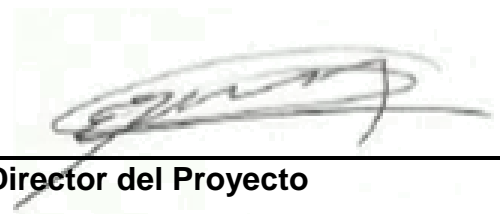
**MONOGRAFÍA DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Director
ING. BALDOMERO MENDEZ PALLARES

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRONICA
BOGOTA D.C.
2017**

Nota de aceptación:

El trabajo de grado titulado " **REDISEÑO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**". Elaborado y presentado por los estudiantes Nelson Sosa, Carlos Javier Pedraza Lozano y Miguel Ángel Velandia Gómez, como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Mecatrónico, fue aprobado por el Jurado Calificador.



Firma Director del Proyecto

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C., 23 de Enero de 2017

DEDICATORIA

Dedicamos de manera especial a nuestros seres queridos, padres, hermanos, hijos y amigos quienes fueron el principal motivo de crecimiento personal y profesional, que cultivaron en nosotros bases de honestidad y responsabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primera instancia a nuestras familias y seres queridos quienes nos acompañaron incondicionalmente a lo largo de este proceso.

A la Universidad Piloto de Colombia por brindarnos la oportunidad de crecer en sus aulas educativas, al programa de Ingeniería Mecatrónica junto con su plantel educativo por formarnos como excelentes profesionales éticos e íntegros.

Al ingeniero Baldomero Méndez por ofrecer los mejores servicios como tutor y su constante acompañamiento en el desarrollo del proyecto.

Al ingeniero Javier Pedraza quien con su incondicional apoyo que nos brindó herramientas suficientes para ejecutar el proyecto a cabalidad.

A la compañía FESTO por el acompañamiento y la guía en el manejo de los dispositivos adquiridos.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Brindamos un agradecimiento especial a la Universidad Piloto de Colombia y específicamente al director administrativo Diego Alvarado quien con su apoyo incondicional en el financiamiento de nuestro proyecto de grado se pudieron cumplir con las metas propuestas, adicionalmente nos llena de honra y orgullo el voto de confianza que se tuvo para con nosotros, como consecuencia abre puertas a próximos proyectos que enriquecerán el aprendizaje de la comunidad estudiantil logrando así un sentimiento de satisfacción gigante.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1.1 Descripción del Problema.	16
1.1.2 Formulación del Problema..	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	18
1.3 ESTADO DEL ARTE	19
1.3.1 Método basado en componentes para el modelamiento y control modular de sistemas de producción.	19
1.3.2 Proceso de selección de centros de mecanizado de alta velocidad, basado en parámetros tecnológicos y de productividad..	20
1.3.3 Control y monitoreo de una Estación de Distribución MPS.	20
1.3.4 Diseño, modelamiento, identificación y control de sistemas mecatrónicos.	21
1.3.5 Diseño y construcción de una estación didáctica para control de caudal y nivel.	22
1.3.6 Sistema de enseñanza interactiva por simulación y control de sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos.	23
1.3.7 Integración de conocimiento basado en herramientas cualitativas y numéricas para sistemas dinámicos de supervisión en tiempo real.	24
1.3.8 Prototipo didáctico de un proceso para la enseñanza de la mecatrónica.	25
1.3.9 Realización de un sistema SCADA utilizando LabView y pizarra digital para el laboratorio de mecatrónica.	26
1.3.10 Reingeniería Aplicada a una Estación Compacta de Procesos (ECP).	27
1.3.11 Automatización de la Estación Mecatrónica de Verificación Prüfen.	27
1.4 OBJETIVOS	29
1.4.1 General.	29
1.4.2 Específicos	29
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	29
1.6 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA	30
1.7 MARCO REFERENCIAL	30
1.8 MARCO TEÓRICO	31

1.8.1 PLC..	31
1.8.3 Sensores.	36
1.9 DISEÑO METODOLÓGICO	45
1.10 RECURSOS	46
1.11.1 Humanos.	46
1.10.2 Software.	46
1.10.3 Bibliográfico..	46
1.10.4 Financiero.	46
2. DESARROLLO INGENIERIL	47
2.1 LINEAMIENTOS DE DISEÑO	47
2.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS	47
2.2.1 Mediciones parciales..	47
2.2.2 Medición total del proceso.	50
2.2.3 Optimización de tiempos.	53
2.3 MOTORES	55
2.3.1 Especificaciones diseño actual.	55
2.3.2 Cálculo de requerimientos.	57
2.4 VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE LOS EJES SELECCIONADOS.	63
2.5 ENSAMBLADO	73
2.5.1 Ejes X y Y..	74
2.6 SENSORES	78
2.6.1 Sensores de contacto en el sistema de almacenamiento.	78
2.6.2 Sensor de contacto en la banda transportadora..	84
2.6.3 Sensores de contacto en los ejes X y Y.	89
2.6.4 Sensores magnéticos.	90
2.7 SELECCIÓN DEL PLC	91
2.7.1 Transición de controladores.	92
2.7.2 Requisitos del programa.	96
2.7.3 Condiciones iniciales	97
2.7.4 Elementos.	97

2.7.5 Entradas y salidas.	98
2.7.6 Módulo de expansión.	99
2.7.7 Programación.	100
2.7.8 Matriz de posiciones.	110
2.8 SISTEMAS DE SEGURIDAD	113
2.8.1 Seguridad PLC.	114
2.8.2 Seguridad Motores.	114
2.8.3 Seguridad operativa.	116
3. RESULTADOS	118
4. CONCLUSIONES	123
5. RECOMENDACIONES	125
ANEXOS	126

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Máquina de estudio de visión global.....	20
Ilustración 2. Estación de distribución MPS de FESTO	21
Ilustración 3. Parche piezoeléctrico empleado para los experimentos.	22
Ilustración 4. Estación didáctica de control de nivel y caudal.....	23
Ilustración 5. Planta experimental FESTO.....	24
Ilustración 6. Interfaz de Simulink en MATLAB.....	25
Ilustración 7. Prototipo didáctico	25
Ilustración 8. Interfaz gráfica LabView del panel de control de la estación de distribución automática	26
Ilustración 9. EDP Festo.....	27
Ilustración 10. Diagrama de estación de Verificación PRUFEN.....	28
Ilustración 11. Motorreductor	33
Ilustración 12. Motor Bipolar	35
Ilustración 13. Motor unipolar	35
Ilustración 14. Rango de operación	36
Ilustración 15. Sensor óptico	37
Ilustración 16. Final de carrera	38
Ilustración 17. Sensor Ultrasónico	39
Ilustración 18. Aplicaciones sensor ultrasónico	40
Ilustración 19 Sensor Capacitivo.....	41
Ilustración 20. Sensor Inductivo.....	42
Ilustración 21. Sensor magnético.....	43
Ilustración 22. Encoder.....	44
Ilustración 23. Motorreductor mal acoplado	56
Ilustración 24. Acople de un tornillo sinfin	56
Ilustración 25. Planos almacén vistas frontal lateral e isométrica.....	63
Ilustración 26. Plano zona de distribución vista frontal lateral e isométrica	64
Ilustración 27. Soportes A y B del eje, MDSolids	67
Ilustración 28. Carga distribuida W1.....	67
Ilustración 29. Plano eje X	68
Ilustración 30. Distancias de P1 y RF, MDSolids.	69
Ilustración 31. Reacciones Ay y By, MDSolids	70
Ilustración 32. Momento flector y fuerza cortante, MDSolids	71
Ilustración 33. Momento flector y fuerza cortante mínimo, MDSolids	71
Ilustración 34. Cálculos inventor del centroide y momento de inercia	72
Ilustración 35. Deflexión de la viga, MDSolids.....	73
Ilustración 36. Eje X	74
Ilustración 37. Eje Y	74
Ilustración 38. Posicionamiento de los ejes X y Y	75
Ilustración 39. Diseño eje Y	75
Ilustración 40. Peso eje Y.....	76
Ilustración 41. Pesos eje X.....	77
Ilustración 42. Peso motor	77
Ilustración 43. Sensores de contacto en el sistema de almacenamiento	79
Ilustración 44. Final de carrera eje X.....	79
Ilustración 45. Final de carrera Banda transportadora	80
Ilustración 46. Eje Z.	80
Ilustración 47. Sensor infrarrojo	87
Ilustración 48. Catálogo de precios en pesos de algunos sensores industriales	87
Ilustración 49. Precio en euros de sensor infrarrojo.....	87

Ilustración 50. PCB circuito para infrarrojo	88
Ilustración 51. Diseño 3D Proteus del circuito Vista isométrica	88
Ilustración 52. Diseño 3D Proteus Vista inferior	89
Ilustración 53. Finales de carrera en ejes	89
Ilustración 54. Sensores magnéticos eje Y y X.	90
Ilustración 55. Actuador En el almacén.....	91
Ilustración 56. Comparación de módulos.....	92
Ilustración 57. Comparación entradas y salidas	93
Ilustración 58. Comparación de memoria	94
Ilustración 59. Estructura de programación S7-200	95
Ilustración 60. Estructura de programación S7-1200.....	95
Ilustración 61. Almacén	96
Ilustración 62. Diagrama de flujo general	102
Ilustración 63. Diagrama de flujo etapa 1	103
Ilustración 64. Diagrama de flujo cilindro de alimentación	104
Ilustración 65. Diagrama de flujo Bandas Transportadoras.....	105
Ilustración 66. Diagramas de flujo actuador rotativo primero movimiento y desactivación de bandas	106
Ilustración 67. Diagramas de flujo de activar ventosa y segundo movimiento actuador rotativo	106
Ilustración 68. Diagramas de flujo actuador distribución	107
Ilustración 69. Diagramas de flujo de desactivar ventosa y tercer movimiento actuador rotativo....	107
Ilustración 70. Diagrama de flujo Etapa 2.....	108
Ilustración 71. Diagrama de flujo Segundo Programa	110
Ilustración 72. Almacenamiento y Distribución	111
Ilustración 73. Posiciones en el almacén.....	113
Ilustración 74. Tabla de posiciones en sistema de distribución.	113
Ilustración 75. Ejemplo circuito STO	115
Ilustración 76. Principio de Funcionamiento STO.	116
Ilustración 77. Tablero de control con Paro de Emergencia	116
Ilustración 78. Lámpara de emergencia.....	117
Ilustración 79. Estación mecatrónica antes.....	122
Ilustración 80. Estación mecatrónica ahora.	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de pasos de posicionamiento del motor paso a paso	34
Tabla 2. Relación Tiempo-Proceso	48
Tabla 3. Tiempos de cada proceso.	49
Tabla 4 Afectación del promedio de tiempos	51
Tabla 5. Afectación total por macro-proceso.....	52
Tabla 6. Promedio parcial de los ejes en cada dirección de movimiento	54
Tabla 7. Tiempo acumulado por ejes	55
Tabla 8. Peso sistema	59
Tabla 9. Tabla comparativa Servomotor vs Motor paso a paso	61
Tabla 10. Tabla comparativa motores.....	62
Tabla 11. Factor a y b.....	65
Tabla 12. Ventajas y desventajas de sensores.	82
Tabla 13 Tabla comparativa de sensores.	84
Tabla 14 Sensado de piezas según peso.....	85
Tabla 15 Número de veces que detecta cada sensor según peso de la pieza.	86
Tabla 17. Características de configuración	93
Tabla 18. Lista de elementos que componen el sistema	98
Tabla 19. Variables PLC.....	99
Tabla 20. Módulo de expansión	100
Tabla 21. Bits posiciones motor My.....	112
Tabla 22. Bits de posiciones motor Mx	112
Tabla 23. Tabla de posiciones P (Mx, My) del almacén	112
Tabla 24. Tabla de tiempos original.....	118
Tabla 25. Tabla de tiempos actualmente.....	119
Tabla 26. Tabla Porcentaje de detección sensor antiguo según peso de la pieza	121
Tabla 27. Tabla Porcentaje de detección sensor implementado según peso de la pieza.	121

RESUMEN

El proyecto de grado tiene como objetivo, rediseñar la estación mecatrónica adquirida por la Universidad Piloto de Colombia, con el fin de una mejora significativa en el posicionamiento y almacenamiento de piezas específicas dentro de un almacén, para ello se inicia con la caracterización e identificación del funcionamiento de la máquina y de sus respectivas falencias.

Posteriormente se realiza una investigación, cálculos, cotización y adquisición de nuevo dispositivos que mejoran significativamente el tiempo y velocidad de ejecución de todo el proceso, tales como motores paso a paso, PLC y ejes lineales.

Adicionalmente se implementan esquemas eléctricos y diagramas de flujo con el fin de dar un mayor entendimiento y claridad para el estudiante que interactúe con la máquina, con esto puede entender el funcionamiento y en caso de realizar algún tipo de nueva programación tenga bases fundamentales de los procesos implementados en la máquina.

Se implementa un nuevo sistema de detección de piezas y posicionamiento retirando un sinnúmero de sensores magnéticos, siendo así reemplazados por únicamente dos sensores, uno capacitivo y un encoder integrado en cada uno de los motores paso a paso, mejorando enormemente el proceso, adicionalmente con este sistema incorporado se tiene como efecto un sistema de seguridad que puede detectar posibles fallas en medio del proceso agregándole un paro de emergencia que permita brindar un factor de seguridad más alto a la estación.

Debido a que es una máquina didáctica, es decir, entrenadora se diseña un manual de operación donde se evidencian la manipulación de controladores de los motores paso a paso con el software FCT (Festo Configuration Tool) y programación de PLC S7-1200 a través de TIA Portal, en el cual pueden llevar a cabo diferentes configuraciones y orden del proceso de ejecución.

Por último se brinda un manual de instrucciones y mantenimiento dando como lugar un ciclo de vida útil suficientemente efectivo que pueda justificar la inversión realizada por la Universidad Piloto de Colombia.

ABSTRACT

The degree Project has as objective the redesign of mechatronic station that was acquired by Universidad Piloto de Colombia with the purpose to significantly improve it's positioning and storage of specific pieces in the depot, therefore its begins with the characterization and identification of machine working and its respective failures.

Subsequently a research, calculations, quotation and acquisition of new devices are performed that significantly improve the time and speed of execution of the whole process, such as motors step to step, PLC and linear axes.

In addition, electrical diagrams and flow diagrams are implemented in order to give a greater understanding and clarity to the student interacting with the machine, with this can understand the operation and in case of performing some type of new programming have fundamental bases of the processes Implemented in the machine.

A new part detection and positioning system is implemented by removing a number of magnetic sensors, being replaced by only two sensors, a capacitive one and an encoder integrated in the motors step to step, greatly improving the process, in addition with this incorporated system has the effect A security system that can detect possible failures in the middle of the process adding an emergency stop that allows to provide a higher safety factor to the machine.

Due to the fact that it is a didactic and practical machine, that is to say, trainer, a operation's manual is designed where the manipulation of motors step to step controllers with the software FCT (Festo Configuration Tool) and programming of PLC S7-1200 through TIA Portal, in which they can carry out different configurations and order of the execution process of the machine.

Finally, a manual of instructions and maintenance is given giving rise to a sufficiently effective life cycle that can justify the investment made by the Universidad Piloto de Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Piloto de Colombia y el Programa de Ingeniería Mecatrónica adquirió hace tiempo una estación mecatrónica la cual es un dispositivo que emula un proceso de automatización teniendo dentro de sus principales sistemas, un sistema de alimentación un sistema de transporte un sistema de verificación y finalmente un sistema de almacenamiento.

Se puede observar que el sistema de almacenamiento se hace de manera secuencial, además utiliza para cada posición micro-interruptores con el fin de identificar una determinada ubicación de la pieza. Esto conlleva a que el PLC¹ posea un número significativo de entradas haciendo que el costo de los módulos de extensiones sea grande.

Teniendo en cuenta que la estación cuenta con tecnologías que hoy en día se podrían denominar obsoletas en la parte de control y dado los problemas que presenta, se propone rediseñar la estación mecatrónica en sus sistemas de posicionamiento y almacenamiento, con el propósito de mejorarla y tecnificarla, además para que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de automatización de control de procesos de una forma más didáctica, acercándolos a las tecnologías que utilizan las industrias.

Dentro de las mejoras que se proponen está la de tecnificar el sistema de posicionamiento que incluye una mejora en la velocidad de los ejes lineales, además de diseñar un nuevo sistema de almacenamiento con el fin de optimizar las entradas y las salidas del PLC la cual se llevará a un estudio de diferentes tipos de motores para mejorar la precisión y velocidad además, también se realizará un manual de operaciones con el fin de evitar averías en la estación.

El proyecto se llevará a cabo en el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Piloto de Colombia en el transcurso de los períodos académicos 2016-2017.

¹ PLC Programmable Logic Controller “Controlador Lógico Programable” (Joan Domingo Peña, 2003)

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad Piloto de Colombia hace algunos años adquirió una estación didáctica Mecatrónica fabricada por la compañía Dolang² y está ubicada en el laboratorio de automatización industrial la cual se encuentra sin funcionamiento, este módulo sirve para emular verdaderos procesos de producción que ayudaran al estudiante a irse familiarizando con el entorno laboral industrial.

1.1.1 Descripción del Problema. Actualmente la estación mecatrónica no se encuentra en funcionamiento debido a problemas en su sistema de transporte (motorreductor banda transportadora), por otro lado se observa que tecnológicamente la estación viene con un sistema de posicionamiento que trabaja con motorreductores, y un número significativo de sensores magnéticos para determinar la posición del tornillo sin fin, lo cual implica que la velocidad de este sistema sea demasiado lento, adicionalmente el PLC que se encuentra en la máquina el software está pre-programado en lenguaje chino lo cual dificulta su manipulación y reprogramación del mismo.

1.1.2 Formulación del Problema. El rediseñar la estación mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia surge de la constante necesidad de los estudiantes en conocer cómo se aplican los conocimientos teóricos aprendidos en la industria, en este caso con la línea de ingeniería en automatización industrial se realizará la investigación y estudio de los diferentes dispositivos y piezas a utilizar para la optimización de la máquina para que se haga a partir de la modificación del sistema mecánico de posicionamiento y almacenamiento mediante el control de señales en el PLC, también el desarrollo de un algoritmo que permita a los estudiantes descargar programas para evidenciar el funcionamiento del sistema. Teniendo en cuenta lo anterior, surge la siguiente pregunta.

²DOLANG Technology ha sido una fuerza impulsadora detrás de la industria china para la formación de equipos desde 1998 (Dolang, 2014)

¿Es posible mediante la investigación y la aplicación de conocimientos de las diferentes ramas en ingeniería mecatrónica realizar el rediseño y optimización de la estación mecatrónica del laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de utilizar recursos didácticos con los cuales los estudiantes de ingeniería mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia puedan adquirir y aplicar conocimientos de la industria, debido a esto la Universidad adquirió una estación mecatrónica que con el tiempo ha venido presentando inconvenientes técnicos lo cual no ha permitido a los estudiantes obtener el máximo provecho de esta importante herramienta. Para ello la máquina debe funcionar de manera correcta, por tal razón se ha decidido solucionar dichos inconvenientes técnicos y adicionalmente optimizar los procesos de posicionamiento y almacenamiento debido a que actualmente la máquina cuenta con un sistema secuencial y poco práctico para los estudiantes. Por ende, se aplicarán los conocimientos adquiridos en el transcurso de la formación académica para realizar el rediseño de la estación mecatrónica mejorando su velocidad a través de la identificación de problemas mecánicos evidenciados en los motores, el posicionamiento del sistema con la interpretación de decisiones por medio de un barrido inicial con un sensor y de esta manera reducir al máximo la cantidad de entradas y salidas del controlador lógico programable.

1.3 ESTADO DEL ARTE

A medida que transcurren los años y a lo largo del desarrollo ingenieril a nivel mundial, la rama de automatización ha tomado gran fuerza gracias a la innovación de dispositivos que permitan emular procesos industriales a pequeña escala con el fin de evitar posibles fallas a gran escala, como resultado se han obtenido varios prototipos de estaciones mecatrónicas a pequeña escala. A continuación, se mencionan algunos de los trabajos realizados por algunas empresas y/o personas en este campo.

1.3.1 Método basado en componentes para el modelamiento y control modular de sistemas de producción. Este proyecto realizado por Daniel Coté y Richard St-Denis estudia un modelo de componentes y métodos expertos para desarrollar sistemas de control mediante un software para plantas de fabricación aprovechando al máximo componentes reutilizables denominados CBSE que son subsistemas únicos más simples obtenidos de una transición de estructura adaptada, con un modelo llamado HCA modelo de enfoque global. El estudio que realizan lo proyectan mediante una estación didáctica (Ilustración 1) que muestra a nueve estaciones individuales, en donde Daniel y Richard solo se enfocan en las primeras cinco estaciones que son: distribución, verificación, tratamiento, manipulación, y clasificación. Allí describen el funcionamiento de la máquina que utiliza módulos de transferencia para efectuar el proceso de distribución por ejemplo que es un dispositivo neumático de succión; la máquina también determina las características físicas como el material y el color de una pieza mediante tres sensores de proximidad digitales y mide el espesor mediante un sensor análogo basado en un potenciómetro lineal; y así sucesivamente con los procesos faltantes.

Ilustración 1. Máquina de estudio de visión global



Fuente: Denis, S. (2013) Máquina de estudio de visión global del sistema de producción modular de aprendizaje didáctico [Figura]. Recuperado de:
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6291846>

1.3.2 Proceso de selección de centros de mecanizado de alta velocidad, basado en parámetros tecnológicos y de productividad. Para la selección de centros de mecanizados, se tienen cuenta variables tales como la calidad de las piezas y valores monetarios, los cuales, son lo más influyentes en un proceso de mecanizado, escogiendo así el modelo cuyos resultados experimentales sean más óptimos. En esta tesis doctoral se desarrolla la metodología de selección con base en criterios de productividad donde Marta Alberti Ibarz recalca la importancia de tener presente los parámetros tecnológicos a utilizar en el producto final, esto ya se ve aplicado a nivel industrial como en este caso en la producción de piezas con mecanizados de alta velocidad.³

1.3.3 Control y monitoreo de una Estación de Distribución MPS. Descripción del diseño de un sistema de control automático/manual por medio de un sistema llamado SCADA, con un panel de control en la planta y a través de un navegador web en cual existe un acceso remoto, donde la planta es una estación de distribución fabricada por FESTO, la cual carecía de un sistema de control que mostrara las técnicas relevantes de la mecatrónica, para ello desarrollan la herramienta con fines didácticos.

³ Ibarz, Marta Alberti. 2010. Contribución al desarrollo del proceso de selección de centros de mecanizado de alta velocidad, basado en parámetros tecnológicos y de productividad. Cataluna, España : Univeristat de Girona, 2010. Proyectos de innovación tecnológica en ingeniería de producto y proceso.

Ilustración 2. Estación de distribución MPS de FESTO



Fuente: (Arias, 2008), Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Electrónica, 2008. Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura.

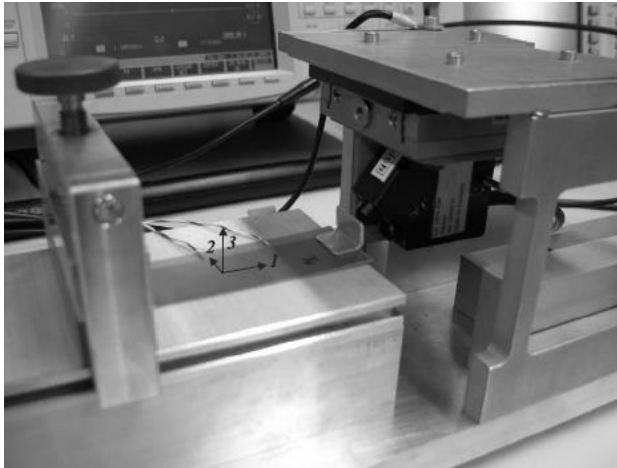
En el proyecto se desarrollan programas donde se permitan la inclusión sobre los actuadores; rutinas o secuencias que permitan a los estudiantes analizar el comportamiento de los actuadores dependiendo de la programación, todo mediante un control remoto a través de una red local. Todo esto lo logran a través de software tales como Step7 que tiene como finalidad la programación de un PLC siemens S7-300, WinCC que es un visualizador de procesos y proyección del sistema SCADA y WebNavigator que es la que permite tener un control remoto mediante el acceso del HMI dentro de la red local.

1.3.4 Diseño, modelamiento, identificación y control de sistemas mecatrónicos. En la tesis doctoral escrita por Oriol Gomis i Bellmunt contempla el cómo analizar actuadores lineales electromagnéticos e hidráulicos mediante magnitudes como fuerza, trabajo y desplazamiento, geometría y propiedades de los materiales; mediante una metodología que estudia los actuadores incluyendo una optimización en el diseño utilizando interruptores reales con un análisis dimensionado considerando el movimiento y dinámica no lineal.

En el documento el autor relaciona los valores obtenidos teóricamente y realiza una comparación con los actuadores utilizados en la industria donde demuestra la importancia de los mismos en un sistema Mecatrónico analizando los diferentes

actuadores que se pueden utilizar validando el diseño de los mismos teniendo en cuenta las propiedades del material en que se construyen.

Ilustración 3. Parche piezoeléctrico empleado para los experimentos.



Fuente: (Bellmunt, 2007) Design, Modeling, Identification. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.

1.3.5 Diseño y construcción de una estación didáctica para control de caudal y nivel. El proyecto realizado por José Alejandro Ocampo Aguirre y Luis Hernando Pulgarin Aguirre muestra el diseño y construcción de un sistema didáctico para controlar variables como Nivel y Caudal, generadas en procesos industriales, mediante herramientas como SolidWorks, SCADA, LabView y componentes de National Instruments.

Ellos utilizan una tarjeta de adquisición de datos convencional con el fin de controlar las variables de nivel y caudal en donde implementan una interfaz gráfica de las señales adquiridas con el fin de que los estudiantes tengan un acercamiento a la industria real para que se adquiera cierta experiencia en práctica de los conocimientos teóricos adquiridos previamente.

Ilustración 4. Estación didáctica de control de nivel y caudal



Fuente: Aguirre (2013). Estación didáctica de control de nivel y caudal [Figura]. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4351/62983O15.pdf?sequence=1>

Los autores implementaron una interfaz gráfica HMI en LabView para la visualización y el control de señales adquiridas por la tarjeta NI-USB-6008 donde utilizan un controlador de tipo PID que permite tener un control visual del proceso que lleva la estación didáctica. Físicamente se controla mediante un circuito eléctrico comandado por sensores de caudal y de presión adaptados en un microcontrolador de gama media PIC16F877A que se adapta al diseño mecánico de la válvula controlada por un servomotor.

1.3.6 Sistema de enseñanza interactiva por simulación y control de sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos. Basado en aplicaciones proporcionadas por Windows, LabView y FluidSIM. Con gráficas e interfaz de usuario fáciles de manejar (Frigola, 2001). Presenta aplicaciones de FESTO MPS, tiene como finalidad contemplar la importancia de las prácticas en sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos mediante un software de simulación donde la interfaz amigable y la modularidad del paquete ayudan a analizar, comprender y comparar los diferentes tipos y métodos de control proyectados en un sistema MPS de FESTO.

Ilustración 5. Planta experimental FESTO

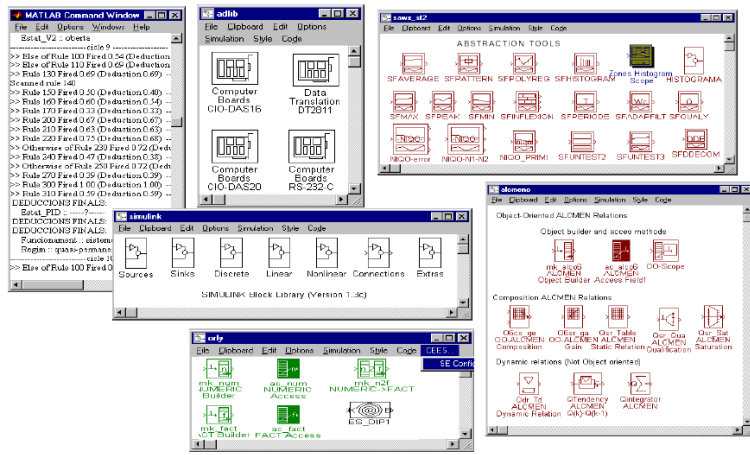


Fuente: Sendrescu, D. (2005). Planta experimental de FESTO estación de trabajo compacta [Figura]. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6576519>

La enseñanza mediante este método basado en FluidSim y LabView hace que el estudiante tenga una percepción más intuitiva donde la interfaz y programación gráfica permite que el sistema interactivo se combine con el hardware de FESTO y a la vez se pueda trabajar de forma independiente lo cual la formación se mejora constantemente dejando así a los estudiantes una experiencia hacia la industria.

1.3.7 Integración de conocimiento basado en herramientas cualitativas y numéricas para sistemas dinámicos de supervisión en tiempo real. El trabajo realizado por Joaquin Meléndez i Frigola refleja el cómo integrar técnicas de inteligencia artificial para el manejo de información proveniente de sistemas dinámicos, facilitando mediante un marco herramientas del dominio de la inteligencia artificial, tal como se muestra en la figura (Ilustración 6) donde se evidencia la simulación por medio de software como MatLab con la herramienta de Simulink mostrando cómo las herramientas están involucradas en el procedimiento de obtención de información significativa.

Ilustración 6. Interfaz de Simulink en MATLAB



Fuente: (Frigola, 2001) Integration of knowledge-based, qualitative and numeric tools for real time dynamic systems supervision. Girona : Universitat de Girona, 2001.

1.3.8 Prototipo didáctico de un proceso para la enseñanza de la mecatrónica. Prototipo diseñado con el fin de escatimar costos de adquisición de elementos de laboratorio para prácticas simulando procesos de envasado por medio de sensores de proximidad, actuadores neumáticos, lógica de cableado.

Ilustración 7. Prototipo didáctico

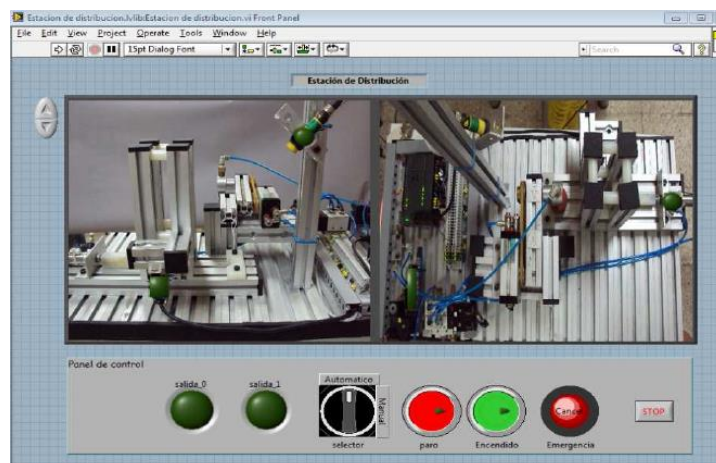


Fuente: Rodríguez, J. (2009). Prototipo Didáctico terminado [Figura]. Recuperado de: <http://www.mecamex.net/anterior/cong08/articulos/30.pdf>

El objetivo de los autores es resaltar la importancia de la enseñanza didáctica a los estudiantes ya sea con pocos recursos, donde proyecta la relevancia en que los estudiantes también conozcan de fondo la construcción desde cero de un sistema didáctico que le permita realizar práctica en el control de variables como el caudal en un proceso de envasado usando controladores PID, un PLC S7-222 y módulos de comunicación ASI, Profibus o DeviceNet.

1.3.9 Realización de un sistema SCADA utilizando LabView y pizarra digital para el laboratorio de mecatrónica. El documento realizado por Carlos Washington Londoño y William Oswaldo Zúñiga en su tesis de grado hace hincapié en el desarrollo de un sistema SCADA utilizando el software LabView con el fin de hacer un monitoreo y control de los módulos del laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante una interfaz práctica con módulos de PLC, panel de botones, panel que genera reportes en Excel que tiene el registro de control de los elementos de forma numérica y un panel de alarmas de emergencia, haciendo así un control óptimo en tiempo real de los módulos e implementando así guías para que los estudiantes puedan hacer el máximo aprovechamiento de la herramienta.

Ilustración 8. Interfaz gráfica LabView del panel de control de la estación de distribución automática



Fuente: (Zúñiga, 2012) Realización de un sistema SCADA utilizando LabView y Pizarra Digital para el laboratorio de mecatrónica.

1.3.10 Reingeniería Aplicada a una Estación Compacta de Procesos (ECP). El proyecto realizado por Gudiño-Lau Jorge, Ramírez-Chora Ricardo, Ríos-Cortez Felipe y Raúl Martínez Venegas trata sobre un análisis y aplicación de reingeniería sobre la arquitectura cerrada adaptada a una abierta en una estación didáctica, específicamente en las etapas de potencia y protección como también con el fin de controlar niveles de presión, nivel, temperatura y flujo los autores adaptan una tarjeta de adquisición de datos, mediante la reingeniería e ingeniería inversa.

Los autores describen detalladamente el funcionamiento de la estación didáctica, en este caso aplican y proyectan la reingeniería en una fabricada por FESTO mostrada en la Ilustración 9.

Ilustración 9. EDP Festo



Fuente: Gudiño-Lau, J (2011).ECP de FESTO [Figura]. Recuperado de: <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art53.pdf>

Uno de los ejemplos en donde aplican la reingeniería es el de realizar un convertidor de frecuencia a voltaje con el fin de emplear un seguidor de tensión al sensor de presión que acopla la señal haciéndola más fácil de manejar y segura; adicional realizan un procedimiento similar para el sistema de nivel.

Concluyen que mediante los métodos aplicados ya se pueden aplicar algoritmos de programación con el fin de controlar la planta en aulas de clase y de investigación.

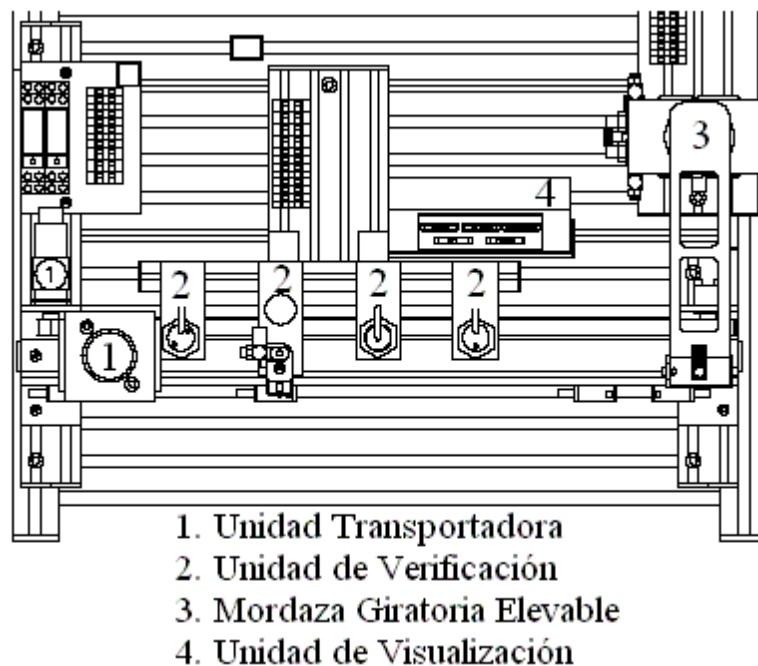
1.3.11 Automatización de la Estación Mecatrónica de Verificación Prüfen. El artículo trata sobre la automatización de una estación mecatrónica adquirida por el SENA que consta de varias unidades con un conjunto de actuadores, plantea alternativas de solución para la automatización de la estación PSV fabricada por

REXROTH del grupo BOSH, que cuenta con un transportador lineal eléctrico, una unidad de verificación, unidad de visualización y una mordaza elevable giratoria.

Analizan ciertos métodos para dicha solución dentro de los cuales está el Método Mecánico que consta de mejorar la rentabilidad y eficiencia de los procesos por su optimización de tiempo que se enfoca en implementar lógica de contactores electromecánicos y el Método por Lógica Programada que trata de emplear elementos de estado sólido con el fin de emplear circuitos electrónicos como los PLC.

Concluyen que el método GRACET es una herramienta flexible y versátil ya que permite realizar constantes cambios en el PSV que tiende a ser óptimo y adicionan que el método de la lógica cableada aunque también sea una buena opción es menos versátil y dispendiosa de aplicar respecto a cambios o mejoras a aplicar.

Ilustración 10. Diagrama de estación de Verificación PRUFEN



Fuente: (López, 2008), AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA DE VERIFICACION PRÜFEN. Risaralda : SENA, 2008. Entre Ciencia e Ingeniería

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General. Rediseñar la estación mecatrónica que se encuentra ubicada en el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Piloto de Colombia con el fin de mejorar los sistemas de posicionamiento y almacenamiento.

1.4.2 Específicos

- Caracterizar de la estación mecatrónica para identificar el funcionamiento de sus diferentes componentes.
- Realizar el estudio, análisis y selección de los tipos de actuadores que permitan mejorar la velocidad y precisión del sistema de posicionamiento.
- Rediseñar el sistema de sensado para el posicionamiento y almacenamiento de piezas en el sistema XYZ.
- Realizar e implementar el esquema eléctrico y la marcación del cableado de la estación.
- Implementar un sistema de seguridad para la detección de fallas.
- Diseñar las prácticas de laboratorios que se van a realizar en la estación mecatrónica.
- Diseñar el manual de operación y mantenimiento de la estación mecatrónica.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Dentro de los alcances y limitaciones del proyecto, La estación mecatrónica contará con un nuevo sistema de posicionamiento y almacenamiento con tecnología de punta la cual permitirá que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de automatización de una forma más didáctica. Se tendrá un sistema de detección de fallas incorporados en los motores paso a paso lo cual ayudará a que el banco no sufra ningún tipo de avería por la mala manipulación de sus componentes o programación en el controlador, además se entregarán manuales operación y funcionamiento, pasos que se deben tener en cuenta antes de la manipulación de la máquina.

1.6 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA

La línea de investigación en la que se profundizará es automatización y optimización.

Todos los días los seres humanos crean automatismos en los cuales facilitan la vida diaria, de los cuales se pueden obtener nuevos conocimientos con el fin de realizar nuevas investigaciones. Gracias al desarrollo e innovación de nuevas tecnologías, la automatización de procesos industriales, a través del tiempo, ha dado lugar a avances significativos que le han permitido a las compañías implementar procesos de producción más eficientes, seguros y competitivos ya sean a pequeña escala con un fin didáctico de aprendizaje.

1.7 MARCO REFERENCIAL

Cuando hablamos de automatización refiere a procesos realizados sin la intervención humana, actividades que puede realizar una máquina sin la intervención de la mano del hombre. En la antigüedad un proceso terminado tenía un 80% de mano de obra del hombre y con el otro 20% se ayudaban de maquinaria⁴, de tal forma que la elaboración de un producto totalmente terminado era muy costosa. Esto acarreaba que las empresas no surgían y hasta terminaban por acabarse, de la misma forma sus trabajadores no ganaban lo suficiente, la mayoría de la gente ganaba un salario muy escaso y no solventaban sus necesidades diarias. Después que vino la revolución industrial y se fueron actualizando maquinarias los procesos se hicieron más productivos tanto para el empresario como para el empleador.⁵

Una empresa automatizada es más rentable que una que no esté automatizada ya que su producto terminado de un proceso con autómatas tiene menor costo con una calidad superior. Esto conlleva a que se debe estar a la evolución con la tecnología para hacer la vida más fácil y productiva, de esta forma ser más competitivos.

⁴ Jay Heizer, Barry Render. 2004. Principios de Administración de Operaciones. Monterrey : Pearson Educación, 2004.

⁵ Wikipedia. [En línea] 24 de May de 2010. [Citado el: 20 de Sep de 2015.] https://es.wikipedia.org/wiki/Revolución_Industrial.

Al profundizar en cómo realizar la automatización de un sistema se encuentra una ramificación de diferentes tipos de procesos para los cuales se están implementando diferentes dispositivos eléctricos, electrónicos, hidráulicos, neumáticos, etc., en los cuales se interactúan para hacer más fácil y productiva una tarea.

En la actualidad las grandes industrias están siempre a la vanguardia de la tecnología para hacer de sus procesos más competitivos con una calidad atractiva para el cliente.

1.8 MARCO TEÓRICO

1.8.1 PLC. Los PLC surgieron en los años 60, tras la evolución de los sistemas controlados por circuitos eléctricos donde se implementaban relés que conmutan contactos abiertos o cerrados y estos obedecían a procesos con una secuencia establecida, estos circuitos eran conocidos como “lógica cableada”.⁶

Para procesos grandes con secuencias complejas utilizar este sistema de lógica cableada se vuelve tedioso en su diseño por la capacidad en espacio que se maneja, tiempo de respuesta de los relés, su diagrama resulta gigantesco y la vida útil de los relés es corta. Por esta razón surgieron los controladores lógicos programables el cual se dio origen en la compañía General Motors por solicitud Bedford Associates y en la cual participo el ingeniero Dick Morley.

Un PLC (Programmable Logic controller) es un dispositivo electrónico que estructura y procesa la información de manera programada. Este abarca una cantidad de relés, temporizadores, contadores con funciones aritméticas internamente los cuales tratan la información para entregarla a un proceso secuencial, con memorias normalmente grandes que pueden procesar la información 100 veces más rápida que el sistema de lógica con relés.⁷

⁶ Leiva, Luis Flower. *Controles y Automatismos electricos*.

⁷ Joan Domingo Peña, Juan Gámiz Caro, Antoni Grau i Saldes, Herminio Martínez García. 2003. *Introducción a los autómatas programables*

1.8.1.1 Microprocesador. Es la unidad central del PLC, Contiene circuitos integrados y transistores en la que se hace un tratamiento a la información recibida por el programador.

1.8.1.2 Memorias. El PLC maneja tres tipos de memorias (RAM, EEPROM Y EPROM), encargadas de guardar las instrucciones programadas para que sean utilizadas en lectura o escritura.

1.8.1.3 Entradas. Los PLC cuentan con entradas las cuales detectan información en señales eléctricas proveniente de los periféricos como: sensores, pulsadores, interruptores etc. Estas señales pueden ser análogas o digitales, las señales digitales son las que mantienen un rango específico y cuando se cumple se representa con un “1” y cuando no hay diferencial de potencial se diferencia con un “0” las más usadas son de 24V DC/AC o 110V AC, y las señales análogas son las provenientes de actuadores con posicionamientos analógicos estos pueden ser de temperatura, humedad, caudal etc.

1.8.1.4 Salidas. Las salidas de los PLC son la respuesta que se entrega al entorno después de haber sido procesada por el programa dando una orden de mando para ser ejecutada, igualmente las salidas pueden ser análogas o digitales.

1.8.2 Motores. Existen diferentes tipos de motores, están los motores de corriente alterna que son los que funcionan en a través de fases de alimentación los cuales pueden ser monofásicos o trifásicos⁸ y se encuentran los motores DC o de corriente directa que usan ese tipo de corriente para convertir la energía eléctrica en energía mecánica.⁹

1.8.2.1 Motorreductores. Los motorreductores son elementos electromecánicos compuestos por un motor eléctrico y una caja reductora acoplados por piñones¹⁰, muy utilizados desde el inicio de la industria ya que no todas las partes de una máquina no tienen que trabajar a la misma velocidad y

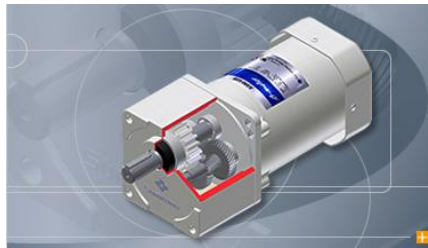
⁸ Juan Carlos Martin Castillo, Maria Pilar Garcia Garcia. 2009. *Automatismos industriales*. Madrid : Editex, 2009.

⁹ *The control techniques drives and control handbook*. Londres : IEE power and energy series, the institution of electrical engineers

¹⁰ Vilorio, José Roldán. 2005. *Motores eléctricos: accionamiento de máquinas. 30 tipos de motores*. Madrid : S.A. EDICIONES PARANINFO

dicha velocidad general más pequeña para un motor estaría alrededor de las 900rpm y si se le instalaran variadores de velocidad para minimizar su velocidad los motores perderían eficiencia y torque.

Ilustración 11. Motorreductor




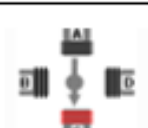




Fuente: Summitomo Drive Technologies (2016). Astero. [Figura]. Recuperado de: <http://www.sumitomodriveeurope.com/es/reductores-y-motorreductores/astero/>

1.8.2.2 Motores paso a paso. El motor de paso a paso es un motor que trabaja por pulsos eléctricos los cuales los convierte en movimiento angular¹¹. Este tipo de motor es muy conocido y utilizado por su alta precisión, el paso de estos motores puede variar desde 1.8° hasta 90° por pulso, para mayor precisión se utiliza el de menor grados de giro. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le asigne (tabla 1) este paso puede variar desde pasos de 90° (¼) de pasos y pequeños desde 1.8° (200 pasos). Estos motores tienen la capacidad de poder quedarse enclavados en una posición o bien totalmente libres (tabla 1). Si una o más de sus bobinas están energizada el motor quedará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula una corriente por ninguna de sus bobinas.

¹¹ Vilorio, José Roldán. 2005. *Motores eléctricos: accionamiento de máquinas. 30 tipos de motores.* Madrid : S.A. EDICIONES PARANINFO

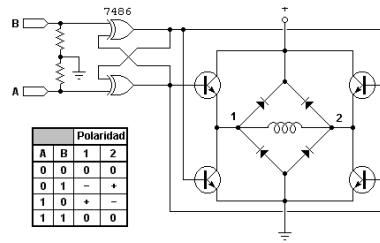
Tabla 1. Tabla de pasos de posicionamiento del motor paso a paso

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D	RESULTADO
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Fuente: Todo Robot | La web de Android, Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors), Recuperado de: <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

1.8.2.2.1 Motor bipolar. Estos motores tienen generalmente cuatro cables de salida son más complejos de usar debido a que requieren cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas por esta razón es necesaria la utilización de un puente H sobre cada una de las bobinas.

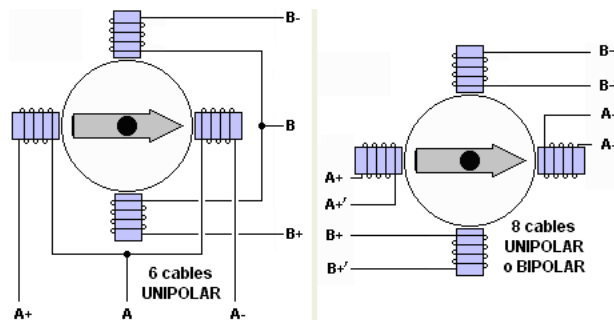
Ilustración 12. Motor Bipolar



Fuente: Eduardo, J. (2007). Motores paso a paso características básicas. [Figura]. Recuperado de: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm

1.8.2.2.2 Motor unipolar. Todas las bobinas del estator están conectadas en serie formando así cuatro grupos estas a su vez se conectan 2 a 2 también en serie y se montan sobre dos estatores diferentes (ilustración 13).

Ilustración 13. Motor unipolar



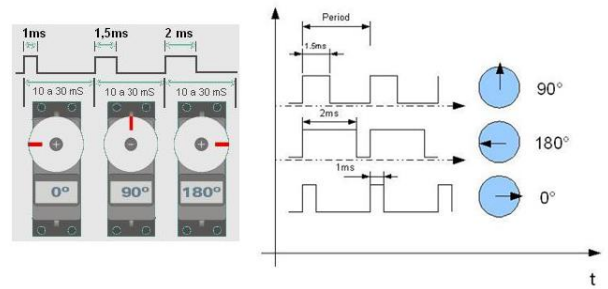
Fuente: Eduardo, J. (2007). Motores paso a paso características básicas. [Figura]. Recuperado de: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm

Como se puede apreciar en la ilustración salen dos grupos de tres cables uno de los cuales es común a dos bobinas. Las seis terminales que parten del motor pueden ser conectadas al circuito de control el cual se comporta como 4 conmutadores electrónicos que al ser activados o desactivados producen alimentación de los 4 grupos de bobinas por las que está conformado el estator.

1.8.2.3 Servomotores. Un servomotor es un dispositivo actuador que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición angular por medio de señales de

control¹² (PWM) dentro de su rango de operación (Ilustración 14) el cual es el límite de grados en el cual trabaja el servomotor.

Ilustración 14. Rango de operación



Fuente: Espinoza, C. Gaytan, A. Neilda, L. Juan, M. (2010). Departamento de eléctrica-electrónica-mecatrónica . [Figura]. Recuperado de: <http://proyectointerfasesitslp.blogspot.com.co>

Como se observa en la imagen se pueden encontrar servomotores con un rango de operación de 0° a 180° y viceversa aunque también se pueden encontrar servomotores de rotación continua lo cual quiere decir que pueden rotar de 0° a 360° y viceversa estos a su vez tienen más fuerza que un motor DC gracias a su mecanismo de engranaje.

1.8.3 Sensores. Los sensores son elementos capaces de detectar acciones físicas y químicas con capacidad de transformarlas o convertirlas en magnitudes eléctricas que emiten de manera análoga o digital.¹³

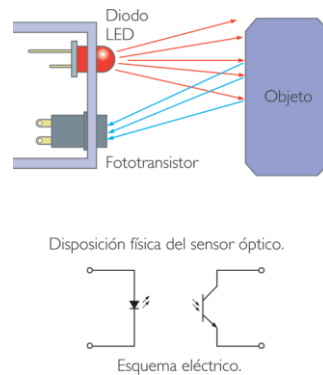
1.8.3.1 Sensor Óptico. Los sensores ópticos tienen la capacidad de detectar a través de un lente óptico y se basa en aprovechar la interacción entre la luz y la materia para establecer las propiedades de esta. Estos sensores se componen principalmente de dos elementos básicos que son un sensor y emisor de luz (ilustración 15). En la imagen se tiene que el emisor de luz es en este caso el diodo led y el sensor es el fototransistor, entonces el emisor de luz genera un haz que choca contra el objeto y rebota recibiendo así el foto transistor el haz de

¹² Vilorio, José Roldán. 2005. *Motores eléctricos: accionamiento de máquinas. 30 tipos de motores.* Madrid : S.A. EDICIONES PARANINFO

¹³ Josep Balcells, José Luis Romeral. 1997. *Autómatas programables.* Barcelona : Marcombo boixareu editores

luz, este haz de luz genera una frecuencia para que el sensor pueda detectarla fácilmente y diferenciarla de otras fuentes cercanas.

Ilustración 15. Sensor óptico



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Alberto G. Ricardo Abraham Z (2010). Análisis de Sistemas y Señales. Recuperado de: <http://pacific.fi-p.unam.mx/cursos/sensor%20optico/index.html>

1.8.3.1.1 Sensores basados en reflexión. Estos sensores ópticos tienen el emisor de luz y el sensor muy próximos y detectan la presencia de un objeto dependiendo del ángulo que se forma cuando el haz de luz rebota lo que infiere un rango muy limitado. Se utilizan generalmente para la comprobación de errores e imperfecciones en un producto determinado.

1.8.3.1.2 Sensor de barrera. Estos sensores ópticos poseen un transmisor y un receptor que se encuentran a cierta distancia y solamente detectan o se activan al momento que se interrumpe la señal o se bloquea la luz. Se utilizan generalmente para la presencia o no de objetos o variables como el nivel de líquido en un recipiente.

Ventajas:

- ✓ Facilidad de uso.
- ✓ Fácil alineación
- ✓ Distancia de detección moderada.
- ✓ Detección muy precisa
- ✓ Excelente respuesta para objetos muy reflectivos.
- ✓ Resistente a ambientes contaminados.

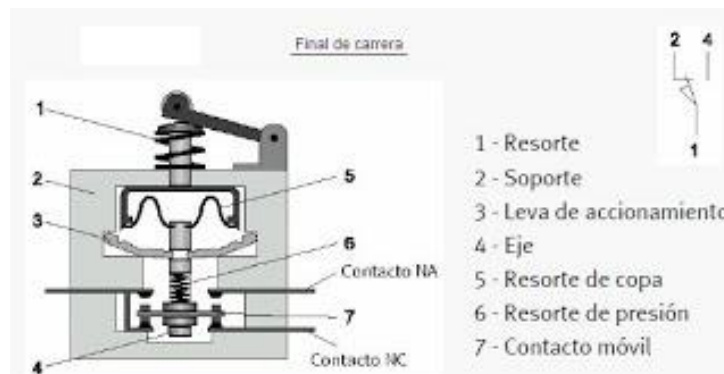
- ✓ Es un método no destructivo y no invasivo.
- ✓ Ofrece posibilidades de integración en sistemas más complejos.
- ✓ Bajo costo.
- ✓ Posibilidades de control a distancia en lugares poco accesibles.

Desventajas:

- ✓ Es capaz de detectar reflejos indeseables.
- ✓ Distancia de detección depende del objeto (que tan reflectivo)
- ✓ Consumo de energía.
- ✓ Distancia de detección corta.

1.8.3.2 Sensor final de Carrera. Es conocido también como sensor de contacto o interruptor de límite y se pueden hallar como elementos eléctricos, mecánicos y neumáticos que se sitúan al final del recorrido de un objeto móvil, su uso es muy diverso, empleándose en general en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta con una trayectoria fija como una cinta transportadora con el fin de enviar señales que pueden alterar o variar el estado de un circuito.

Ilustración 16. Final de carrera



Fuente: Sebastian, M. (2011). Sensor final de carrera. [Figura]. Recuperado de: <http://temporizadoressebastian.blogspot.com.co/2011/06/sensor-final-de-carrera.html>.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes, un cuerpo que contiene los contactos y una cabeza que detecta el movimiento (ilustración 16), estos sensores tienen dos tipos de funcionamiento.

Ventajas:

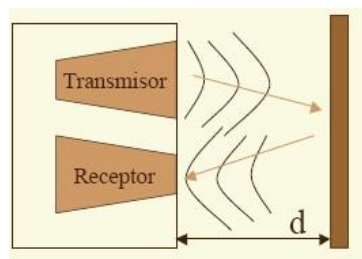
- ✓ Fácil instalación.
- ✓ Es insensible a estados transitorios.
- ✓ Trabaja a tensiones altas.
- ✓ Es inmune a la electricidad estática.
- ✓ Carcasa durable.
- ✓ Operación sencilla
- ✓ Alta repetitividad.

Desventajas:

- ✓ Vida útil de los contactos corta debido al desgaste mecánico.
- ✓ No se puede utilizar en todas las aplicaciones requeridas.
- ✓ Posibilidad de rebotes en el contacto.

1.8.3.3 Sensor ultrasónico. Los sensores ultrasónicos se utilizan generalmente para la medición de una distancia a través de la emisión de un pulso de ultrasonido con un campo de acción en forma de cono, midiendo así el tiempo que transcurre entre el sonido y su eco, con esto se puede deducir a qué distancia se encuentra un obstáculo que ha sido el causante del rebote de dicho pulso.

Ilustración 17. Sensor Ultrasónico

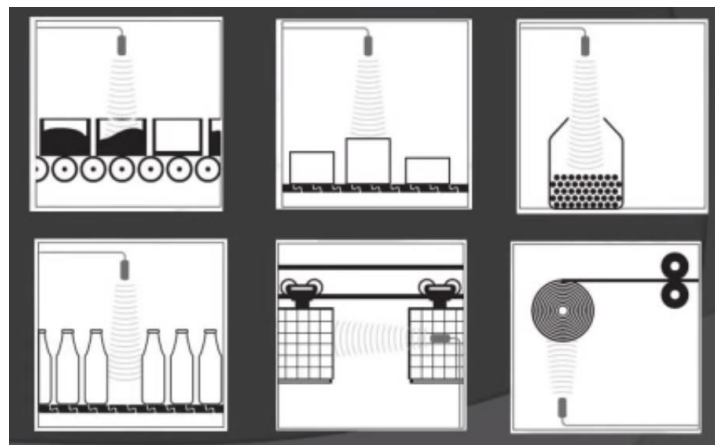


Fuente: Mario, C y Luis, M. (2010). Sensor ultrasónico. [Figura]. Recuperado de: <http://pacific.fi-p.unam.mx/cursos/sensor%20ultra/sensor.html>

Como se observa en la imagen (Ilustración 17) se tiene un transmisor que es quien emite la onda acústica la cual al momento en que se encuentre con un objeto este rebota y el receptor es quien se encarga de recibir la reflexión de este pulso, en ese momento se detiene un contador de tiempo que inició dicho conteo al momento en que se emite el pulso.

Las aplicaciones más comunes para estos sensores son para la exploración de contenido de recipientes de transporte sabiendo así si están o no vacíos, también se usan para clasificación de piezas (diferentes alturas), vigilancia a nivel de llenado, notificación de ocupaciones erróneas sobre cintas transportadoras y control de diámetro para desbobinado.

Ilustración 18. Aplicaciones sensor ultrasónico



Fuente: Mario, C y Luis, M. (2010). Sensor ultrasónico. [Figura]. Recuperado de: <http://pacific.fi-p.unam.mx/cursos/sensor%20ultra/sensor.html>

Ventajas:

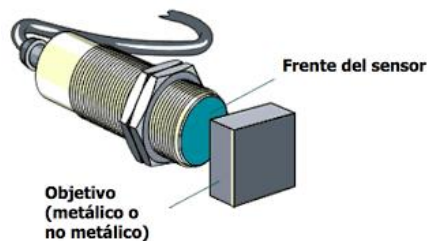
- ✓ Se pueden captar objetos pequeños que reflejan poco.
- ✓ Tienen un rango de detección amplio (metros).
- ✓ Detectan piezas sin importar el material ni el color.
- ✓ Son insensibles al polvo y la suciedad.
- ✓ Detección sin la necesidad de contacto.

Desventajas:

- ✓ Si el objeto a identificar tiene superficies inclinadas, el sonido se desvía.
- ✓ La superficie del objeto es importante debido a que debe reflejar perpendicularmente al eje de propagación del sonido.
- ✓ Su tiempo de reacción es relativamente lento (entre 1 y 125 Hz).
- ✓ Son generalmente más costosos.

1.8.3.4 Sensores Capacitivos. Los sensores capacitivos tienen gran similitud con los sensores inductivos, su principal diferencia es que los sensores capacitivos emiten campos electrostáticos y los inductivos un campo electromagnético, estos reaccionan tanto con materiales metálicos como no metálicos tales como vidrio, papel, líquidos, etc.

Ilustración 19 Sensor Capacitivo



Fuente: Julio, C. (2011). Sensores inductivos [figura]. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/tema8otrotransductores/transductores-de-proximidad/detectores-capacitivos>

En la imagen (ilustración 19) se puede observar que el sensor tiene un “frente del sensor” la cual es la encargada de detectar las diferentes variables, en este caso puede ser un objeto metálico o no metálico.

Los sensores capacitivos se utilizan generalmente para la identificación de objetos, controles de nivel, se utilizan también en dispositivos de pantalla táctil ya que el sensor detecta la diferencia entre las membranas de los dedos eléctricamente polarizados.

Ventajas:

- ✓ Detectan sin necesidad de contacto directo.
- ✓ Detecta metales, no metales, líquidos y sólidos.
- ✓ Libre de desgaste.

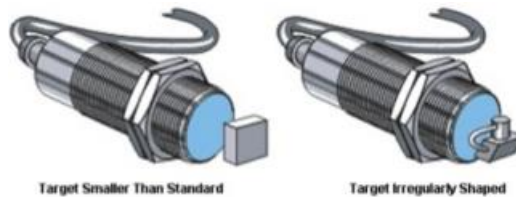
- ✓ Su funcionamiento permite una fácil adaptación a entornos industriales.
- ✓ Detecta materiales polvorientos o granulados.
- ✓ Soporta fácilmente el funcionamiento frecuente.
- ✓ Velocidad de conmutación (4 KHz).
- ✓ Número ilimitado de ciclos de conmutación.
- ✓ Funcionamiento seguro con contactos sucios o desgastados.
- ✓ Alta seguridad de funcionamiento (resistencia a las interferencias).
- ✓ Vida útil larga.

Desventajas:

- ✓ Alcance de detección cambia dependiendo del tipo de material (60mm dependiendo del diámetro del sensor)
- ✓ Puede ser afectado por campos electromagnéticos fuertes.
- ✓ Sensible al ambiente, se ve afectado por la humedad.

1.8.3.5 Sensores inductivos. Estos sensores se utilizan para la detección de materiales metálicos ferrosos, Los sensores inductivos captan la variación de un campo magnético por esta razón son de gran utilidad a nivel industrial.

Ilustración 20. Sensor Inductivo.



Fuente: Julio, C. (2011). Sensores inductivos [figura]. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/lonely113/sensores-inductivos-8801776>

Los sensores inductivos se utilizan generalmente para detección de daños en brocas, detección de tornillos y tuercas para el control de dirección y velocidad, detección de presencia de latas y tapas, detección de posición (abierto o cerrado) de válvulas, etc.

Ventajas:

- ✓ No se ve afectado por la humedad
- ✓ No se ve afectado por ambientes sucios o con polvos.
- ✓ No depende de movimiento de partes.
- ✓ No lo afectan los colores.
- ✓ No tiene zonas ciegas.
- ✓ Conmuta rápidamente (1000Hz)
- ✓ Proceso de temperaturas hasta 120°C

Desventajas:

- ✓ Sólo responde al sensado de objetos metálicos.
- ✓ Rango de operación corto.
- ✓ Es afectado por campos electromagnéticos fuertes.

1.8.3.6 Sensores magnéticos. Estos sensores también denominados como relés de tipo red, son usados en cilindros neumáticos para la detección de posición a través de un vástago del cilindro, son capaces de detectar objetos magnéticos como imanes que son usados para el accionamiento de la conmutación.

Ilustración 21. Sensor magnético



Fuente: Sensores fundamentos, tipos y características. Recuperado de: <http://cmapublic2.ihmc.us/rid=1H2B63T5G-1SLKJ1L-J52/Sensores%20fundamentos,%20tipos%20y%20características.pdf>

Los sensores magnéticos tienen un sistema de contactos que son accionados al momento que detectan un campo magnético inducido por un dispositivo imantado que está en el objeto que se desea detectar, como se observa en la imagen

(ilustración 21) el imán está integrado en el émbolo, así que cuando el campo magnético se acerca al sensor se produce una señal eléctrica a los controles.

Ventajas:

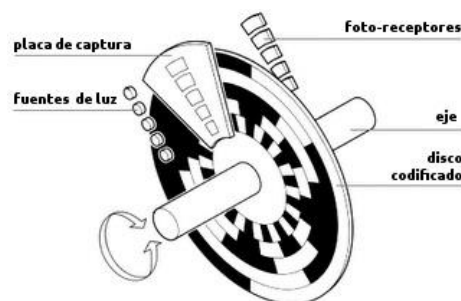
- ✓ Bajo costo.
- ✓ Detección sin contacto.
- ✓ Múltiples aplicaciones.
- ✓ No consume energía.
- ✓ Diseños de pequeñas dimensiones con alcances muy amplios de hasta 100 mm.
- ✓ Alta resistencia mecánica en caso de choques o vibraciones.

Desventajas:

- ✓ Protección puntual.
- ✓ Detección también a través de metales no magnetizables
- ✓ El objeto a reconocer ha de estar equipado con un imán, ya que el detector reacciona sólo a éste.

1.8.3.7 Encoder (Codificador rotatorio). Un encoder es un tipo transductor electromecánico que convierte una velocidad angular en una velocidad lineal por medio de pulsos para obtener una mayor exactitud en su posicionamiento.¹⁴

Ilustración 22. Encoder



Fuente: LBA industrial (2012). ¿Qué es un encoder? ¿Cómo funciona? Tipos de encoder que existen. [Figura]. Recuperado de: <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder/>

¹⁴¹⁴ *The control techniques drives and control handbook*. Londres : IEE power and energy series, the institution of electrical engineers

1.8.3.7.1 Encoder incremental. Este tipo de encoder está hecho a base de barreras de infrarrojos y son más conocidos como encoders ópticos y son generalmente los más utilizados. Tienen un gran inconveniente y este suele ser el ambiente debido a que el polvo suele acumularse en los diodos emisor y receptor entorpeciendo la precisión de estos.

Los encoders incrementales generan un número definido de impulsos por cada revolución los cuales indican la distancia angular y lineal recorrida. Debido al desplazamiento de fase entre las señales A y B (de aproximadamente 90 grados), se puede analizar el sentido de rotación.

1.9 DISEÑO METODOLÓGICO

Mediante una exhaustiva investigación en la red de internet, artículos, diseños realizados por diferentes empresas y/o entidades académicas como el SENA se identifican las diferentes alternativas para la repotenciar la estación mecatrónica, que durante el transcurso de la investigación se reúne la suficiente información que ahonda en lo básico del diseño de posicionamiento y sensado comparándolo con el diseño actual, el cual se estudia mediante diferentes pruebas en el laboratorio, hallando las falencias e implementando las posibles soluciones con dispositivos industriales consultados y cotizados con algunas compañías establecidas en la industria como FESTO y Siemens. Después de ello se procede a realizar los respectivos cálculos y diseño ingenieril con el fin de seleccionar la opción que brinde los mejores resultados en funcionamiento, costo y calidad.

De igual forma en la parte lógica del proyecto, la programación también se establece una comparación entre una serie de pruebas y error con lo que se desea que la estación llegue a lograr en posicionamiento, ubicación, detalles de seguridad y manual de operaciones de la estación mecatrónica.

1.10 RECURSOS

1.11.1 Humanos. El rediseño se planteará, estudiará y establecerá por 3 estudiantes de la Universidad Piloto de Colombia con el apoyo del ingeniero Baldomero Méndez Pallares quien es tutor y director del proyecto, adicionalmente contactos establecidos con diferentes compañías en la industria de la automatización industrial.

1.10.2 Software. Las herramientas informáticas a utilizar son el software FCT (Festo Configuration Tool), TIA Portal, Inventor, MDSolids y FluidSim.

1.10.3 Bibliográfico. Artículos en la red, libros, catálogos de diferentes compañías.

1.10.4 Financiero. La financiación del proyecto la realizará el programa de Ingeniería Mecatrónica y administración de los laboratorios de la Universidad Piloto de Colombia.

2. DESARROLLO INGENIERIL

2.1 LINEAMIENTOS DE DISEÑO

De acuerdo a lo mostrado previamente en la introducción y la descripción del problema, la estación mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia requiere para su optimización el rediseño de los sistemas de transporte de piezas, donde se tendrán en cuenta diferentes variables tales como velocidad y posición, adicionalmente se hará una modificación importante tanto en la lógica de programación, estación de almacenamiento, cambio de PLC y reducción de sensores.

2.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS

Inicialmente para el desarrollo de la optimización del tiempo de la estación mecatrónica, es necesaria una medición detallada del funcionamiento de la máquina para identificar el proceso que da lugar a la mayor falencia en esta variable.

2.2.1 Mediciones parciales. Para un mejor entendimiento de cada uno de los tiempos es necesario llevar un orden específico y una asignación de cada uno de los puntos a medir y así identificar con mayor precisión el proceso que más afecta a la estación, es decir, se le asignará un nombre a cada uno de los procesos (tabla 2) en donde se le asigna a cada uno de ellos una variable con su respectiva descripción con el fin de tener un mayor entendimiento del proceso y con esto se realiza una tabla con los tiempos que lleva acabo cada proceso de la estación mecatrónica (tabla 3).

Viendo las necesidades de hacer la respectiva optimización de la estación mecatrónica se ha evidenciado que durante el funcionamiento actual de la máquina uno de los factores críticos es el tiempo de ejecución de cada uno de los movimientos que realiza, mediante una medición de tiempos se efectúa el análisis del factor con mayor criticidad y el punto al cual se debe enfocar la optimización de este problema, con el objetivo de no producir una perturbación en el sistema de

tiempos se realiza la toma de tres muestras de tiempos y se promedia, así se tiene una medición más precisa de lo que se necesita analizar.

Tabla 2. Relación Tiempo-Proceso

VARIABLE	PROCESO
B1	Tiempo en el que tarda la primera banda en transportar la pieza hasta la segunda banda transportadora.
B2	Tiempo en el que tarda la segunda banda en transportar la pieza hasta el actuador angular.
A	Tiempo en el que tarda el actuador angular en sujetar la pieza y ubicarla en la plataforma donde se transportará para ubicarla en el almacén.
S	Tiempo en el que tarda el eje y junto con el z sujetar la plataforma.
Z+	Tiempo que tarda en ejecutar el actuador hacia afuera.
Z-	Tiempo que tarda en ejecutar el actuador hacia dentro.
XT+	Tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de izquierda a derecha desde el punto mínimo al punto máximo en el eje x.
XT-	Tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de derecha a izquierda desde el punto máximo al punto mínimo en el eje x.
XP+	Tiempo que tarda el eje x en llegar del punto mínimo a la primera posición del almacén.
Xi+	Tiempo en que tarda el eje x en transcurrir de una posición de un almacén a otro de izquierda a derecha, de forma positiva.
Xi-	Tiempo en que tarda el eje x en transcurrir de una posición de un almacén a otro de derecha a izquierda, de forma negativa.
XP-	Tiempo que tarda el eje x en regresar de la primera posición del almacén al punto mínimo.
YT+	Tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de abajo a arriba desde el punto mínimo al punto máximo en el eje y.
YT-	Tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de arriba a abajo desde el punto máximo al punto mínimo en el eje y.
YP+	Tiempo que tarda el eje y en llegar del punto mínimo a la primera posición del almacén.
YP-	Tiempo que tarda el eje y en regresar de la primera posición del almacén al punto mínimo.
Yi+	Tiempo en que tarda el eje y en transcurrir de una posición de un almacén a otro de abajo hacia arriba, de forma positiva.
Yi-	Tiempo en que tarda el eje y en transcurrir de una posición de un almacén a otro de arriba hacia abajo, de forma negativa.

Fuente: Propia del autor.

Teniendo en cuenta de la descripción de cada una de las variables se obtienen los resultados evidenciados en la tabla a continuación.

Tabla 3. Tiempos de cada proceso.

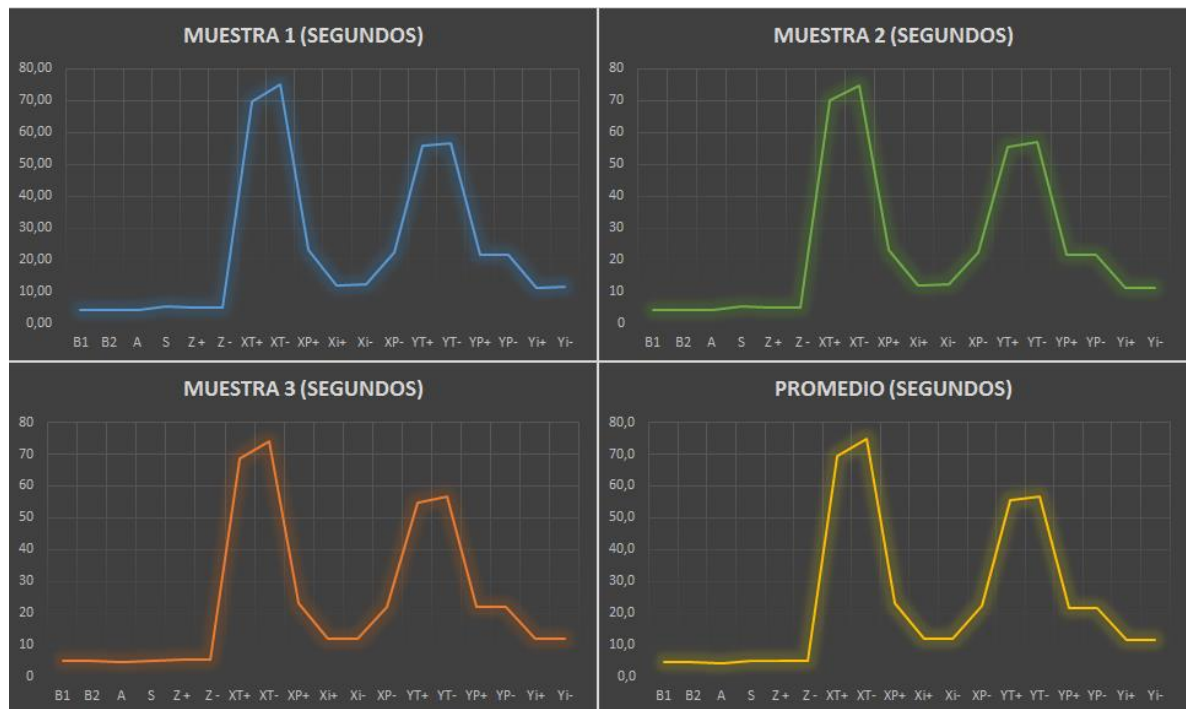
PROCESO	MUESTRA 1 (SEGUNDOS)	MUESTRA 2 (SEGUNDOS)	MUESTRA 3 (SEGUNDOS)	PROMEDIO (SEGUNDOS)
B1	4,28	4,31	5,01	4,5
B2	4,28	4,31	4,98	4,5
A	4,19	4,24	4,8	4,4
S	5,26	5,2	5	5,2
Z +	5,03	5,03	5,6	5,2
Z -	5,03	5,01	5,4	5,1
XT+	69,74	70,1	68,56	69,5
XT-	74,95	74,82	74,1	74,6
XP+	23,06	23,12	23,3	23,2
Xi+	11,89	11,9	12	11,9
Xi-	12,16	12,26	12	12,1
XP-	22,29	22,4	22,14	22,3
YT+	55,78	55,5	54,9	55,4
YT-	56,69	57	56,85	56,8
YP+	21,71	21,5	22	21,7
YP-	21,71	21,61	22	21,8
Yi+	11,19	11,25	11,98	11,5
Yi-	11,34	11,26	11,96	11,5
TEMPO TOTAL MAQUINA	3312,76	3316,95	3436,81	3355,5

Fuente: Propia del autor

Para tener una mayor claridad de cuál es el proceso de la máquina con mayor afectación a continuación se relaciona una imagen evidenciando que el proceso con una criticidad más alta en comparación a los otros procesos son las ejecuciones y movimientos de los ejes X y Y, se puede observar (gráfica 1) que después de tomar tres muestras de tiempos a todo el sistema, la mayor falencia está en el proceso de ejecución del sistema de transporte en eje X y Y (en la

gráfica XT+ , XT- y Y+, Y-) debido a que en la gráfica el pico más alto de tiempo recae siempre en estas dos muestras, por ende se puede concluir que la máquina disminuye su rendimiento debido al incremento de tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de forma positiva y negativa desde el punto máximo al punto mínimo en los ejes X y Y.

Gráfica 1. Comparación de tiempos.



Fuente: Propia del autor

2.2.2 Medición total del proceso. En el transcurso de la medición de tiempo total se identificó que en cierto punto de ejecución de la máquina el proceso se ve afectado en la lógica de programación debido a que durante este proceso la máquina falló, ya que no sigue la secuencia después de una ubicación de pieza específica, para solventar este problema fue necesaria la medición de cada una de las secuencias que la máquina debe llevar a cabo, y así por medio de un cálculo se estima el tiempo total del proceso.

Teniendo en cuenta las mediciones tomadas en las tres muestras se hace un estimado del tiempo total de ejecución de la máquina sin despreciar la cantidad de

repeticiones en los que se ejecutan cada uno de los procesos expresados en la ecuación Ec[1].

$$T_{total} = B1 * 20 + B2 * 20 + A * 20 + S * 5 + (Z+) * 80 + (Z-) * 80 \quad Ec [1]$$

$$+ (XT+) * 4 + (XT-) * 4 + (XP+) * 4 + (XP-) * 4 + 4$$

$$* ((Xi+) * 4 + (XP+)) + 4 * ((Xi-) * 4 + (XP-)) + 5$$

$$* (YT+) + (YT-) * 5 + 3 * ((Yi+) * 5) + 3 * ((Yi-) * 5)$$

En la ecuación se tiene en cuenta la secuencia que sigue la máquina con el fin de hacer una medición total del proceso.

Dando una organización clara de cómo realizar la optimización de tiempos en la estación mecatrónica se establece la (tabla 4) usando el tiempo promedio de las muestras tomadas, se organizan de mayor a menor, así se establece a qué se le debe dar prioridad y que se debe modificar en la estación con el objetivo de tener mayor rapidez en la ejecución de procesos.

Tabla 4 Afectación del promedio de tiempos

PROCESO	PROMEDO (SEGUNDOS)	ACUMULADO PARCIAL	AFECCIÓN PARCIAL
Z+	5,22	417,6	12,29%
Z-	5,15	411,73	12,11%
XT-	74,62	298,49	8,78%
YT-	56,85	284,23	8,36%
Xi+	11,93	283,68	8,35%
Xi-	12,14	282,8	8,32%
XT+	69,47	277,87	8,18%
YT+	55,39	276,97	8,15%
Yi-	11,52	172,8	5,08%
Yi+	11,47	172,1	5,06%
XP+	23,16	92,64	2,73%
B1	4,53	90,67	2,67%
B2	4,52	90,47	2,66%
XP-	22,28	89,11	2,62%
A	4,41	88,2	2,60%
S	5,15	25,77	0,76%
YP-	21,77	21,8	0,64%
YP+	21,74	21,7	0,64%
TIEMPO TOTAL MAQUINA	3355,51	3355,51	100,00%

Fuente: Propia del autor

Se calcula una nueva columna con el tiempo acumulado parcial de cada uno de los pasos definida por la cantidad de repeticiones que se ejecutan en el proceso con el fin de hacer un resumen e identificar el macro-proceso a optimizar, a continuación, se calcula el acumulado total del movimiento de los ejes mostrado en la tabla 5.

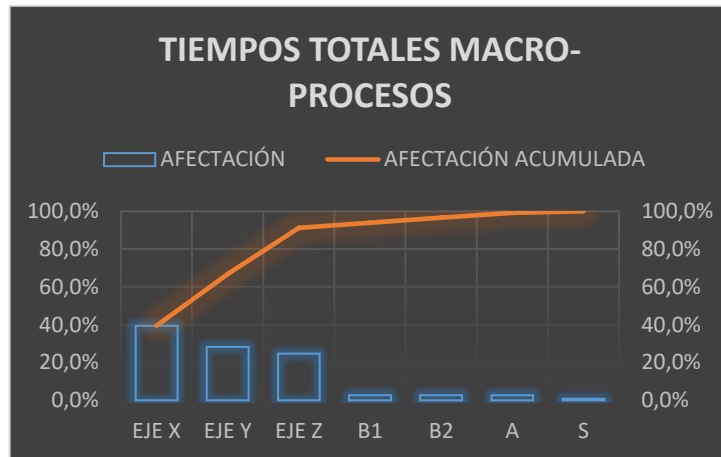
Tabla 5. Afectación total por macro-proceso

PROCESO	ACUMULADO	AFECTACIÓN
EJE X	1324,59	39,48%
EJE Y	949,61	28,30%
EJE Z	829,33	24,72%
A	88,2	2,63%
S	25,77	0,77%
B1	90,67	2,70%
B2	90,47	2,70%
TIEMPO TOTAL MAQUINA	3355,51	100,00%

Fuente: Propia del autor

Para calcular el tiempo total acumulado se hizo una suma de cada uno de los tiempos acumulados parciales de los pasos, es decir, todos los procesos ejecutados por el eje x, eje y y eje z respectivamente, adicionalmente se calcula el porcentaje de afectación total con el fin de hacer el Pareto de criticidad para lo cual se realizarán las modificaciones a la estación mecatrónica.

Gráfica 2. Pareto de tiempos acumulados totales



Fuente: Propia del autor

Esta gráfica permite facilitar el estudio de las fallas con mayor afectación, usando el principio de Pareto¹⁵ se llegará al objetivo de minimizar al máximo los tiempos de ejecución, se puede concluir y confirmar en la gráfica que el proceso con mayor afectación en cuanto al rendimiento óptimo de la estación sigue siendo los tres ejes del sistema de transporte, según Pareto al hacer la modificación en el 20% del proceso se soluciona en un 80% el rendimiento de tiempos, por ende, en el caso de la estación mecatrónica la afectación a modificar es del 67.78% (tabla 5 sumatoria eje x más eje y). Según el principio de Pareto es necesario hacer un cambio en el proceso que más afecte, se opta por trabajar en los dos primeros procesos que más perturban debido a que si solamente se toma el primer proceso (eje x grafica 2) no se obtendría el resultado esperado ya que el segundo proceso afectará el rendimiento de la optimización final.

2.2.3 Optimización de tiempos. Con el fin de parametrizar cuál es el tiempo al que se realizará la respectiva optimización es necesario identificar el tiempo con el que se puede hacer el cálculo de los motores, es decir, en el caso del eje x se tomará el promedio del tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de izquierda a derecha o derecha a izquierda desde el punto mínimo al punto máximo en el eje (tabla 6) y en el caso del eje y se tomará el promedio del tiempo total que tarda el sistema en ejecutar de abajo a arriba o de abajo a arriba desde el punto mínimo al punto máximo en el eje (tabla 6).

¹⁵ Devore, Jay L. 2008. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Mexico DF : CENGAGE Learning, 2008. 970-686-381-3.

Tabla 6. Promedio parcial de los ejes en cada dirección de movimiento

PROCESO	PROMEDO (SEGUNDOS)	PROMEDIO TOTAL PROCESO
XT+	69,5	72,05
XT-	74,6	
YT+	55,4	56,1
YT-	56,8	

Fuente: Propia del autor

Como se puede observar el tiempo de ejecución de los motores en los ejes son 72,05 y 56,1 segundos, tiempo que es extremadamente ineficiente para un proceso a nivel industrial ya que generaría pérdidas monetarias para una compañía, incluso a nivel didáctico no sería un sistema productivo debido a el tiempo que se invierte esperando a que el sistema termine su ejecución, se pierde tiempo valioso para el aprendizaje y cercanía del estudiante con la máquina. Por tal motivo se decide hacer un estimado del tiempo final en comparación con el actual (tabla 7) donde se muestra el porcentaje de optimización, adicionalmente para calcular los motores en ambos ejes se concluye estimar el mismo tiempo de ejecución con el fin de homogeneizar la estación mecatrónica y al realizar la cotización se ajuste con mayor facilidad al presupuesto.

$$\%Re = \frac{\text{Cantidad Real}}{\text{Canteidad Teórica}} \times 100 \quad \text{Ec[2]}$$

Donde Re es La eficiencia o rendimiento

Entonces para eje X

$$\%Re_x = \frac{72,05 \text{ Segundos}}{10 \text{ Segundos}} \times 100$$

$$\%Re_x = 720,5 \%$$

Y para eje Y

$$\%Re_y = \frac{56,1 \text{ Segundos}}{10 \text{ Segundos}} \times 100$$

$$\%Re_x = 561 \%$$

Tabla 7. Tiempo acumulado por ejes

EJE	TIEMPO ACTUAL (segundos)	TIEMPO ESTIMADO (segundos)	MEJORA
X	72,05	10	720,50%
Y	56,1	10	561%

Fuente: Propia del autor

Se puede observar en la tabla 7 que se mejorará el sistema con un tiempo estimado a 10 segundos en cada uno de los ejes de almacenamiento; estos 10 segundos se asumen como un tiempo prudencial adicionalmente se tomaron teniendo en cuenta la mejora de la máquina y las repercusiones que podrían afectar el proceso, por ejemplo el transporte de la pieza ya que esta podría caer del agarre a una velocidad excesiva; se concluye que el sistema se mejorará 24 veces con respecto al tiempo actual y asimismo el rendimiento del proceso en un aproximado del 640%, lo cual es una mejora significativa.

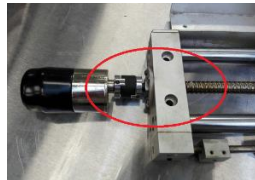
2.3 MOTORES

Teniendo en cuenta el proceso que debe tener la estación mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia se deduce que los motorreductores de la máquina no tienen un funcionamiento óptimo para el proceso de almacenamiento ni de transporte debido a que éstos motores no poseen un torque lo suficientemente grande para dar eficiencia a dicho proceso, por esto, se hizo una investigación de acuerdo a los requerimientos que exige la máquina (torque, velocidad y potencia).

2.3.1 Especificaciones diseño actual. Con el fin de tener una mayor claridad de los inconvenientes encontrados en la máquina se decide observar a detalle las especificaciones del diseño original y asimismo hacer la mejora sobre los puntos críticos demostrando que es necesario hacer el reemplazo de los motores instalados actualmente.

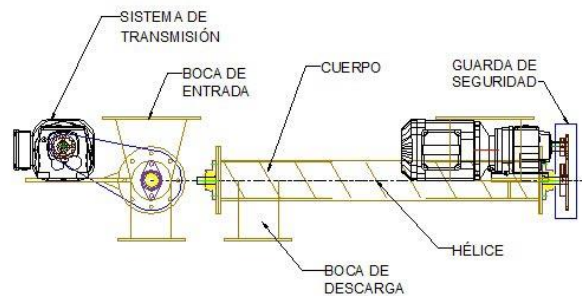
Debido a que se el sistema de transporte implementado es un mecanismo por tornillo sin fin, en donde el motor se encuentra acoplado directamente a dicho tornillo (ilustración 23), ergo está acoplado de una manera indebida, es decir, sin una relación de transmisiones a través de poleas (ilustración 24), conlleva a las siguientes desventajas:

Ilustración 23. Motorreductor mal acoplado



Fuente: Propia del autor

Ilustración 24. Acople de un tornillo sin fin



Fuente: Transportadores tornillo sin fin, DIMONT LTDA, Recuperado de: <http://dimontltda.com/transportadores-de-tornillo-sin-fin/>

Desventajas

- Requiere una cantidad mayor de potencia.
- Riesgos de contaminación.
- Mayor desgaste mecánico por fricción.
- Requiere mayor lubricación.

Por lo tanto, si se desea continuar con el sistema incorporado actualmente es necesario unir un motor más potente que superen las especificaciones del diseño actual, por consiguiente el motor debe tener un mayor tamaño, pero debido al reducido espacio con el que se cuenta no es viable continuar con el sistema de

transmisión tornillo sin fin, consecuentemente se opta también por cambiar el sistema de transmisión.

2.3.2 Cálculo de requerimientos. Para el diseño de la estación mecatrónica se decide escoger los motores de tipo eléctrico ya que estos son los que tienen mayores aplicaciones a niveles industriales y son los principales sistemas de conversión de energía eléctrica a mecánica, además de su ahorro energético son más fáciles de controlar su velocidad, torque y potencia.

2.3.2.1 Velocidad. Teniendo en cuenta el porcentaje de mejora de los tiempos relacionado...subcapítulo 2.2... se tiene que:

$$v = \frac{x}{t} \quad \text{Ec [3]}$$

Donde v es la velocidad a la cual se desplazará la pieza a lo largo del eje x , por lo tanto se asume que es una velocidad lineal; t es el tiempo en el cuál tardará el sistema en ejecutar el proceso de punto inicial a punto final (tiempo estimado en tabla 7), por último x es la distancia estimada de recorrido planteada en el eje x del capítulo anterior.

Por lo tanto,

$$\begin{aligned} x &= 0.7 \text{ metros} \\ t &= 10 \text{ segundos} \\ v &= \frac{0.7 \text{ m}}{10 \text{ s}} \\ v &= 0.07 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Sucintamente se realiza el cálculo de la velocidad lineal para que a continuación se pueda hallar el valor de la velocidad angular Ecuación 4, con la que el motor se moverá, para ello es necesario asumir un radio que permita realizar el cálculo de acuerdo a las necesidades de la máquina.

$$w = \frac{v}{r} \quad \text{Ec [4]}$$

Donde,

$$v = 0.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{r = 0.005 \text{ m}}$$

Entonces,

$$w = \frac{0.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.005 \text{ m}}$$

$$w = 14 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Si

$$1 \text{ rpm equivale a } 0.1047 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{entonces } x \text{ equivale a } 14 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Dando así,

$$x = \frac{1 \text{ rpm} * 14 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.1047 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$\mathbf{x = 133.71 \text{ rpm}}$$

2.3.2.2 Fuerza y Potencia mecánica. Otra de las variables que deben tener a consideración es la fuerza del motor, por lo tanto para el cálculo de este requerimiento se tiene que con la masa se puede conocer la fuerza requerida,

$$F = m * a$$

Ec [5]

Donde la masa equivale al peso que requiere transportar el eje x como lo son la pieza a transportar, bandeja que soporta la pieza, cilindro neumático, soportes de

cilindro y sensor, eje Y con su respectivo motor y ejes guía, etc., su peso en totalidad está expresado en la tabla 8 a continuación:

Tabla 8. Peso sistema

ELEMENTO	PESO UNIDAD (gr)
SENSOR CAPACITIVO	67
CILINDRO NEUMÁTICO	275
SOPORTE SENSOR Y ACTUADOR	300
CONJUNTO EJE Y	10125
Total:	10767

Fuente: Propia del autor

Por lo tanto,

$$m = 10767 \text{ gr} = 10.767 \text{ Kg}$$

$$F = m * a$$

$$F = (10.767 \text{ Kg}) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\mathbf{F = 105.516 \text{ N}}$$

$$T = Fd$$

Donde d: es la distancia total del recorrido del almacén

$$T = (105,516\text{N})(0,7 \text{ m})$$

$$\mathbf{T = 73,86 \text{ N} * \text{m}}$$

Ahora se halla el valor de la potencia mecánica,

$$P_m = F * v$$

Ec[6]

Por lo tanto,

$$P_m = 105.516 \text{ N} * 0.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{P_m = 7.386 \text{ W}}$$

Se convierte el valor a caballos de fuerza, teniendo así,

$$P_m = 7.386 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ W}} = 0.009 \text{ HP}$$

Ahora con el fin de calcular la potencia nominal que requiere el motor, se tiene un factor de seguridad del 30%, por lo tanto

$$P_{motor} = 0.3 * P_m \quad \text{Ec [7]}$$

$$P_{motor} = 0.3 * 0.009 \text{ HP}$$

$$P_{motor} = 0.0027 \text{ HP}$$

2.3.2.3 Selección de motor. Para el funcionamiento de los motores se deben tener en cuenta dos factores importantes, el primero es obtener motores de gran precisión y como segunda instancia tengan un torque adecuado que sea capaz de soportar el peso de los ejes y funcionar rápidamente, entonces con estos dos parámetros se descarta el uso de un motorreductor debido a la baja precisión y torque se pueden obtener de ellos. A continuación, en la tabla 9 se comparan dos tipos de motor que pueden brindar los requerimientos de la estación.

Tabla 9. Tabla comparativa Servomotor vs Motor paso a paso

Motor	Ventajas	Desventajas
Servomotor	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alta precisión ➤ Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. ➤ Facilidad de uso para dar precisión. ➤ Tienen gran torque gracias a su tipo de engranaje. ➤ Cuenta con un circuito de control el cual se encarga de recibir la señal PWM que se le envía para hacer funcionar el sistema. ➤ Posee excelente torque. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Para mantener la fuerza de un servo motor y que gire libremente los 360° se necesitan entes externos debido a que el rango de funcionamiento lo impide. ➤ Son más usados para la robótica. ➤ No es posible cambiar las características eléctricas del motor por tanto no se puede cambiar la velocidad del mismo. ➤ Poder controlar varias secuencias de posiciones, es difícil sin utilizar sistemas basados con micros.
Motor paso a paso	Unipolar <ul style="list-style-type: none"> ➤ Alta precisión. ➤ No pierde su fuerza con respecto al giro. ➤ Es más simple de controlar que un unipolar. ➤ No pierde su fuerza con respecto al giro. ➤ El ángulo de rotación es proporcional a los pulsos de entrada. ➤ Exactitud en la posición y repetición de movimientos. ➤ Error de 3 a 5% del paso y dicho error no es acumulativo de un paso a otro. ➤ Pueden tener un gran rango de velocidad de rotación debido a la frecuencia proporcional de pulsos de entrada. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Su precisión depende de sus bobinas. ➤ Dificiles de controlar debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. ➤ Se requiere obligatoriamente el uso de un puente H ➤ Puede ocurrir un fenómeno de resonancia si no es controlado adecuadamente.
	Bipolar <ul style="list-style-type: none"> ➤ Alta precisión. ➤ Es más simple de controlar que un unipolar. ➤ No pierde su fuerza con respecto al giro. ➤ El ángulo de rotación es proporcional a los pulsos de entrada. ➤ Exactitud en la posición y repetición de movimientos. ➤ Error de 3 a 5% del paso y dicho error no es acumulativo de un paso a otro. ➤ Pueden tener un gran rango de velocidad de rotación debido a la frecuencia proporcional de pulsos de entrada. ➤ No pierde su fuerza con respecto al giro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Su precisión depende de sus bobinas. ➤ Puede ocurrir un fenómeno de resonancia si no es controlado adecuadamente.

Fuente: Propia del autor

Se observa en la tabla anterior y de acuerdo a las especificaciones allí descritas se escoge el motor paso a paso debido a las funcionalidades ya que cumple con los requerimientos establecidos anteriormente mencionados, como son la velocidad y torque, con una gran ventaja sobre el servomotor, ya que debido a esto no cumple con las necesidades de la máquina ya que esta exige diferentes cambios en la velocidad.

Ahora se opta por dos empresas generales debido al vínculo que tiene la Universidad Piloto de Colombia y son empresas confiables

Tabla 10. Tabla comparativa motores

SIEMENS		MOTOR	Características	FESTO		
		1FL3041-0AC31-0BG0	<ul style="list-style-type: none"> - Viene con controlador. - Freno incluido. - Corriente máxima 1,8A. - Tensión de entrada 115Vac o 220Vac - Encoder incluido. - 190 W - Peso 5.434 lbs 		ELGR-TB-45-600-0H-ST-EB-AT-FR-C5DIOP	<ul style="list-style-type: none"> - Viene con controlador. - Freno incluido. - Corriente máxima 5A. - Tensión de entrada 24VDC - Encoder incluido. - 11 W - Peso 8kg conjunto motor-eje - incluido eje y acople de motor.
		1FL3042-0AC31-0BH0	<ul style="list-style-type: none"> - Sin controlador con controlador. - Freno incluido. - Corriente máxima 2A. - Tensión de entrada 115Vac o 220Vac - Encoder incluido - Peso 4 k g. - 170 W 		EGC-70-600-TB-kF-0H-Gk	<ul style="list-style-type: none"> - Viene con controlador. - Sin freno incluido. - Corriente máxima 5A. - Tensión de entrada 24VDC - Encoder incluido. - 11 W. - Peso 5,45kg conjunto motor-eje - incluido eje y acople de motor.
		1FL3043-0AC31-0BH0	<ul style="list-style-type: none"> - Viene con controlador. - Freno incluido. - Freno incluido. - Corriente máxima 2,3A. - Tensión de entrada 115Vac o 220Vac - Encoder incluido. - Peso 6kg 		EMMS-AS-40-MK-LS-SR	<ul style="list-style-type: none"> - Sin controlador. - Freno incluido. - Corriente máxima 3,3A. - Tensión de entrada 330 Vac - Encoder incluido. - 232 W - Peso 680 g
		1FL3061-0AC31-0BH0	<ul style="list-style-type: none"> - Sin con controlador. - Freno incluido. - Freno incluido. - Corriente máxima 4,1A. - Tensión de entrada 115Vac o 220Vac - Encoder incluido - Peso 6,5 kg 		EMMS-ST-87-M-SEB	<ul style="list-style-type: none"> - Viene con controlador. - Freno incluido. - Corriente máxima 1,8A. - Tensión de entrada 24VDC - Encoder incluido. - 190 W
		1FL3062-0AC31-0BH0	<ul style="list-style-type: none"> - Viene con controlador. - Freno incluido. Freno incluido. - Corriente máxima 4,8A. - Tensión de entrada 115Vac o 220Vac - Encoder incluido. - Peso 7,3 kg 			

Fuente: Propia del autor

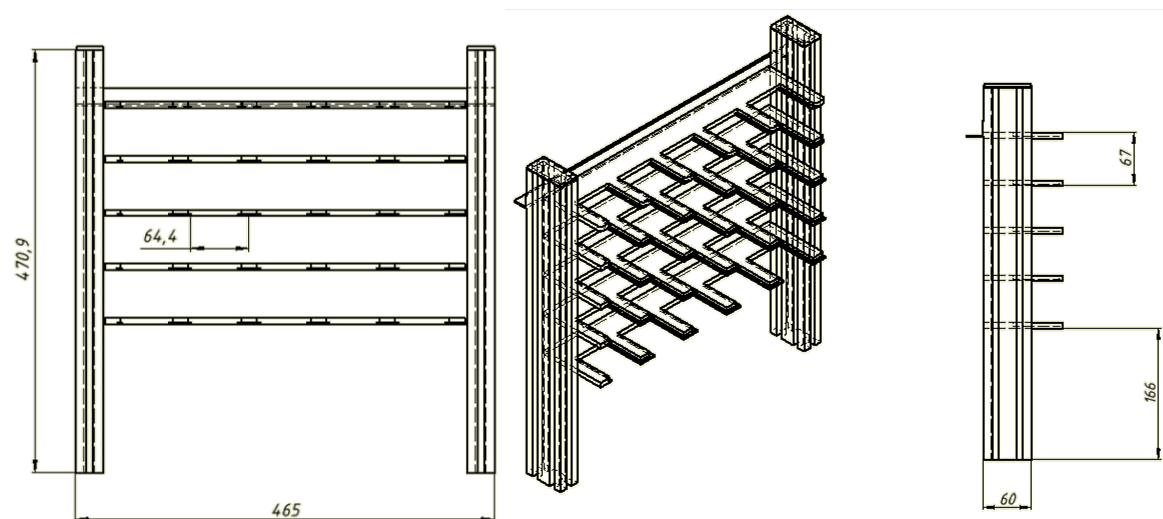
Según la tabla se puede deducir que para las necesidades requeridas y de acuerdo al proyecto y tipo de fuente que utiliza la estación (24VDC), FESTO

posibilita una facilidad enorme al incluir los ejes para los motores además incluye el encoder para el posicionamiento y su controlador, por estas razones en el proyecto se usará los motores FESTO además de eso cumple con los requerimientos de diseño como potencia y torque, asimismo estos motores vienen incluidos con su eje, acoples y un controlador de cada uno de ellos (ELGR-TB y EGC-70)... véase en el Anexo 2... características específicas del motor escogido..

2.4 VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE LOS EJES SELECCIONADOS.

Viendo la necesidad de optimizar los tiempos registrados en el capítulo anterior es ineludible realizar el cambio total del mecanismo que actualmente se encuentra implementado en la máquina. En la actualidad el transporte del eje Y respecto al eje X y el transporte del eje Z respecto al eje Y se realiza a través de un sistema de tornillo sin fin, es decir un conjunto de dispositivos que hacen el traslado a través de una hélice como eje y un engranaje donde cada vez que se gire el motor convierte el movimiento en lineal, uno de los detalles que más peso tiene con respecto a los ejes es la velocidad debido principalmente a los motores.

Ilustración 25. Planos almacén vistas frontal lateral e isométrica

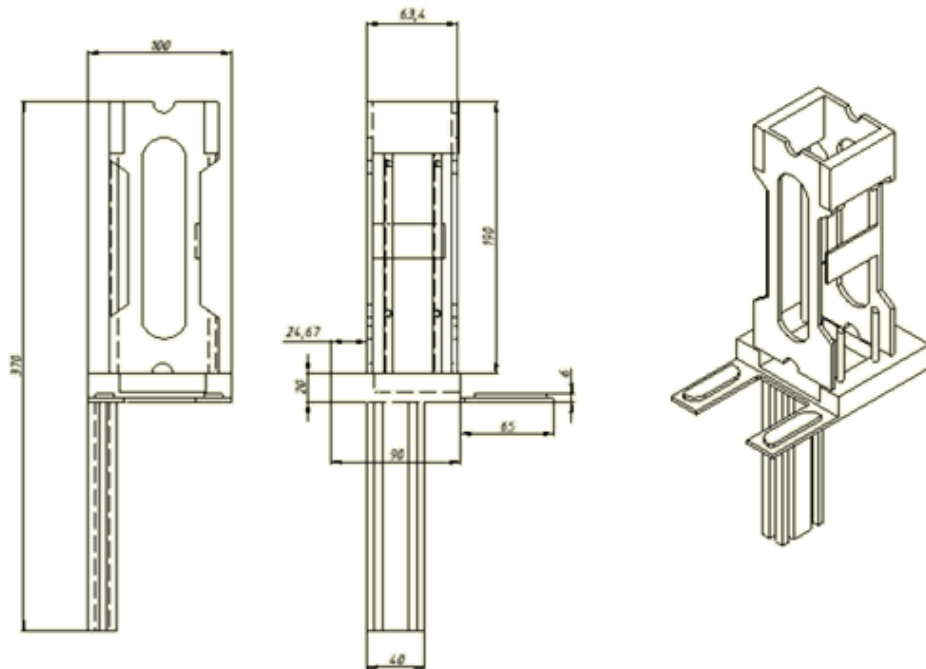


Fuente: Propia del autor

Como se observa en la imagen anterior las dimensiones del almacén son de 465 mm de ancho por 471 mm de alto, entonces se deduce que el eje Y debe tener un

recorrido mínimo de 465 mm y el eje X un recorrido mínimo de 470 mm, pero hay que tener en cuenta también las dimensiones de la zona de distribución de las bandejas para el eje X.

Ilustración 26. Plano zona de distribución vista frontal lateral e isométrica



Fuente: Propia del autor

Como se observa en la imagen anterior la zona de distribución cuenta con un largo de 100 mm y un alto de mm, entonces el eje X debe tener mínimo un recorrido de 565mm.

Después de una exhaustiva investigación tabla 11 de diferentes proveedores se concluye que el más acertado de ellos es FESTO por ser una de las únicas empresas las cuales está más ligada al sistema didáctico-industrial y a la vez es la empresa más cercana a la universidad que se encarga de lo dicho anteriormente, adicional a esto el eje X cuenta con un recorrido total de 631mm lo cual es suficiente para que haga el barrido adecuado a lo largo del almacén y además pueda recoger la pieza sin ningún problema.

Entonces conociendo que la resistencia ultima del aluminio es de 570 MPa tabla 12, se halla el límite de resistencia a la fatiga S'_e

Tabla 11. Resistencia ultima del aluminio

Tabla 2. Propiedades mecánicas en tracción

Aleación	σ_{uts} (MPa)	σ_{ys} (MPa)	Alargamiento 50mm (%)	E (GPa)	K_{IC} (MPam ^{1/2})
7075-T6	570	505	11	71	25

Fuente: Resistencia a la fatiga, M. Toledano Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/266294145_RESISTENCIA_A_FATIGA_DE_LA_ALEACION_DE_ALUMINIO_7075-T6_EN_FUNCION_DEL_TIPO_DE_ENSAYO_Y_ESPESOR_DEL_RECUBRIMIENTO

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad \text{Ec [8]}$$

Entonces:

$$S'_e = 0.5 * 570 \text{ Mpa} = 285 \text{ MPa}$$

Para ajustar el límite de resistencia a la fatiga (S_e) por medio de correcciones sustractivas o multiplicativas se resuelve a través de la ecuación de Marín

$$S_e = (K_a) * (K_b) * (S'_e) \quad \text{Ec [9]}$$

Donde

k_a = Factor de superficie

k_b = Factor de tamaño

Para hallar k_a :

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ec [10]}$$

Donde S_{ut} es la resistencia mínima a la tensión y para conocer a y b es necesario revisar tabla 13:

Tabla 11. Factor a y b

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Nall y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Hanger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Fuente: Shigley Recuperado de: <https://rafaelramirezr.files.wordpress.com/2015/03/disenio-en-ingenieria-mecanica-de-shigley-8th-hd.pdf>

$$a = 4,51 \text{ y } b = -0,265$$

Entonces:

$$k_a = (4,51)(285)^{-0,265}$$

$$\mathbf{k_a = 1,008}$$

Ahora para kb

$$A_{0,95 \sigma} = 0,05hb$$

$$d_e = 0,808(hb)^{1/2}$$

Donde d_e es la dimensión efectiva h es la altura de la viga y b la base

$$d_e = 0,808(69)(64)^{1/2}$$

$$d_e = 446,016$$

$$k_b = 1,51d^{-0,157}$$

$$k_b = (1,51)(446,016)^{-0,157}$$

$$\mathbf{k_b = 0,579}$$

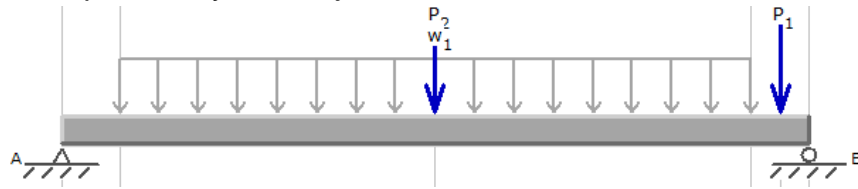
$$\mathbf{K_c = K_d = K_e = K_f = 1}$$

Ahora:

$$S_e = (1,008) * (0,579) * (285)$$

$$\mathbf{S_e = 166,33512 Mpa}$$

Ilustración 27. Soportes A y B del eje, MDSolids



Fuente: Propia del autor

En la imagen anterior se observa una viga que representa el eje X con una fuerza W_1 que indica el peso del eje Y (8kg) más el peso de la placa (2.1296kg) y un P_2 el peso del eje X (5.45kg), es una carga distribuida debido a que este peso se moverá a través del eje X de una distancia determinada a otra, la distancia está determinada por la carrera del eje X (ilustración 29), es decir por el movimiento máximo y mínimo que puede hacer dicho eje.

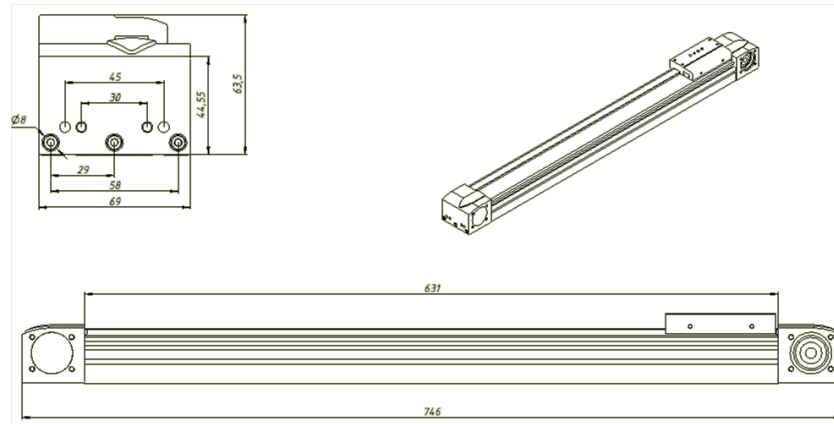
Ilustración 28. Carga distribuida W_1



Fuente: Propia del autor

La fuerza P_1 representa el peso del motor el cual se sabe gracias a la hoja de datos presentada anteriormente y las reacciones A y B representan los soportes de los extremos. Para obtener las distancias de las fuerzas representadas es necesario ver el plano del eje X (ilustración 30).

Ilustración 29. Plano eje X



Fuente: FESTO, Recuperado de: https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/EGC-TB_ES.PDF

De la imagen se necesita la distancia L1 y L3 respectivamente para hallar la distancia de recorrido de la fuerza distribuida.

Si $L_1 = 746 \text{ mm}$ y $L_3 = 57.5$ y RF es el recorrido de la fuerza distribuida

Entonces:

$$l_1 - 2l_2 = RF$$

$$RF = 746 - 2(57.5)$$

$$\mathbf{RF = 631mm}$$

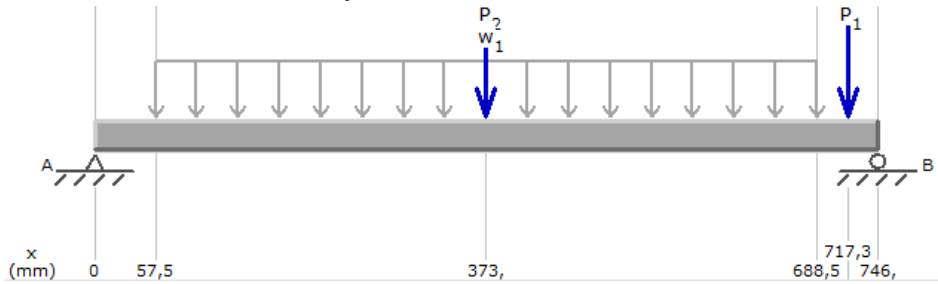
Ahora si P1 es el peso del motor del eje X y sabiendo que dicho peso se ejerce en el centro de L3

Entonces la distancia de P1:

$$P_1 = l_1 - \frac{l_3}{2}$$

$$\mathbf{P_1 = 717.3mm}$$

Ilustración 30. Distancias de P1 y RF, MDSolids.



Fuente propia del autor

Ahora si $W_1 = 10.1296$ kg y $P_1 = 3.6$ kg y $P_2 = 5.45$ kg

y

$$1 \text{ kg} = 9.81 \text{ N}$$

Entonces:

$$w_1 = \frac{(9.81)(10.1296)}{1}$$

$$w_1 = \frac{99.37 \text{ N}}{631}$$

$$w_1 = 0,15748 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

y

$$P_1 = \frac{(9.81)(3.6)}{1}$$

$$P_1 = 35.316 \text{ N}$$

y

$$P_2 = \frac{(9.81)(5.45)}{1}$$

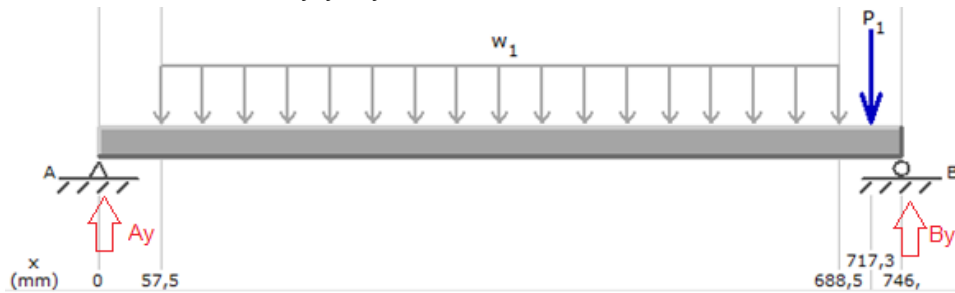
$$P_2 = 53.4645 \text{ N}$$

Teniendo los datos de las distancias y las fuerzas ejercidas sobre el eje, se puede hallar las reacciones A y B o fuerzas en Y que se requieren para sostener el peso total y a la vez el momento flector y fuerza cortante tomando la carga distribuida como esfuerzo máximo 0,15748 N/mm y la ausencia de la misma como esfuerzo min 0 N/mm.

Con ayuda del programa MDSolid se halla el momento flector y fuerza cortante respecto a los esfuerzos máximos y mínimos.

Se hace sumatoria de momentos alrededor del soporte A

Ilustración 31. Reacciones Ay y By, MDSolids



Fuente propia del autor

Para esto la fuerza distribuida debe convertirse en una fuerza puntual

$$w_1 = \frac{w_1}{RF} \quad \text{Ec [11]}$$

$$w_1 = 99,37 \text{ N}$$

Y la distancia de A hasta el centroide del rectángulo es Dx

$$Dx = \frac{RF}{2} + l_3$$

$$Dx = 373 \text{ mm}$$

Entonces:

$$\sum M_A = - (99,37)(373) - (35,316)(717,3) + B_y(746) - 53,4645(373) = 0$$

$$B_y = \frac{82339,4353}{746}$$

$$B_y = 110,37 \text{ N}$$

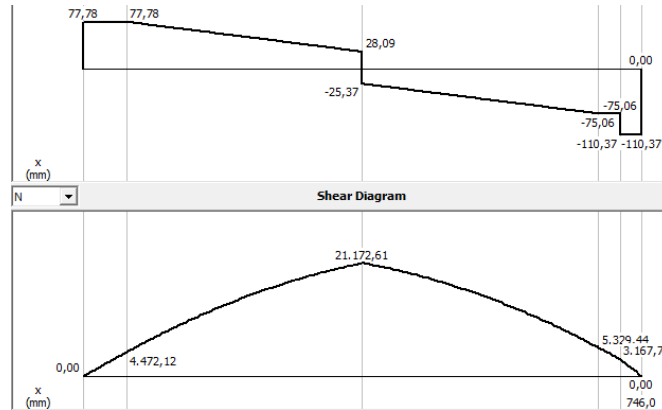
Y

$$\sum F_Y = A_y - 99,37 - 35,316 - 53,4645 + B_y = 0$$

$$A_y = 187,1505 - B_y$$

$$A_y = 77,78 \text{ N}$$

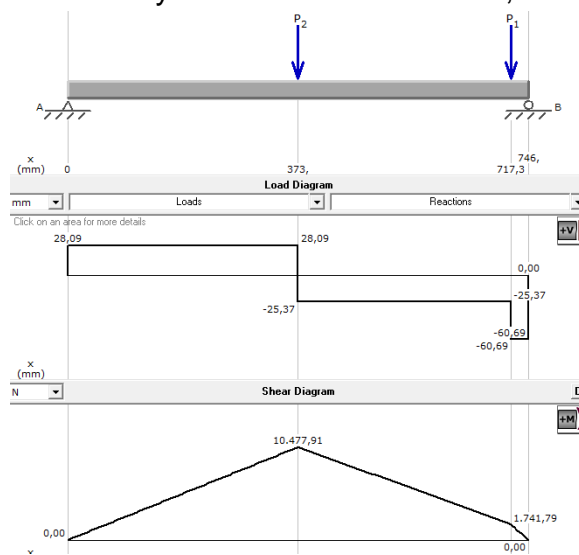
Ilustración 32. Momento flector y fuerza cortante, MDSolids



Fuente: Propia del autor

Para el esfuerzo mínimo.

Ilustración 33. Momento flector y fuerza cortante mínimo, MDSolids



Fuente: Propia del autor

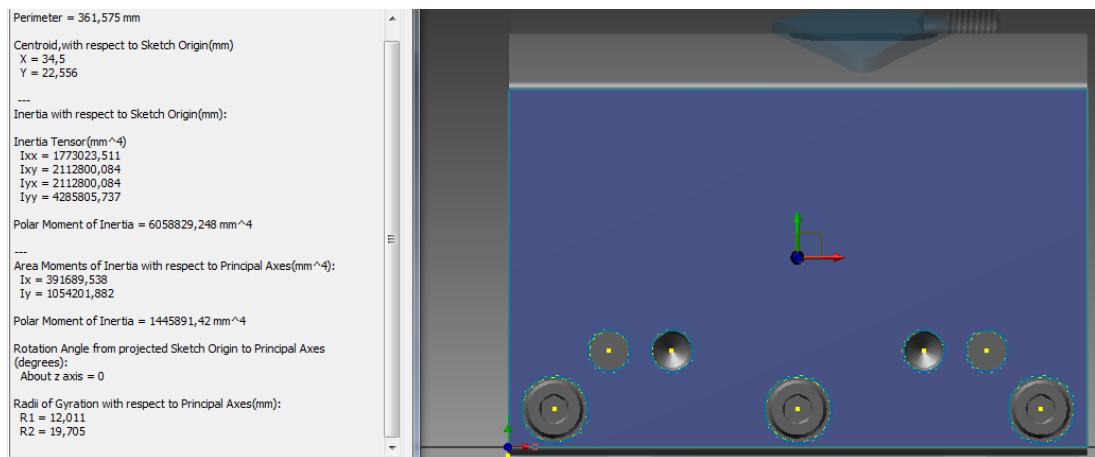
Ahora se sabe que

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ec [12]}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec [13]}$$

Con ayuda de Inventor se calcula I y C

Ilustración 34. Cálculos inventor del centroide y momento de inercia



Fuente: Propia del autor

$$\sigma_{max} = \frac{(21173,61)(34,5)}{391689,538}$$

$$\sigma_{max} = 1,865 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{(10477,91)(34,5)}{391689,538}$$

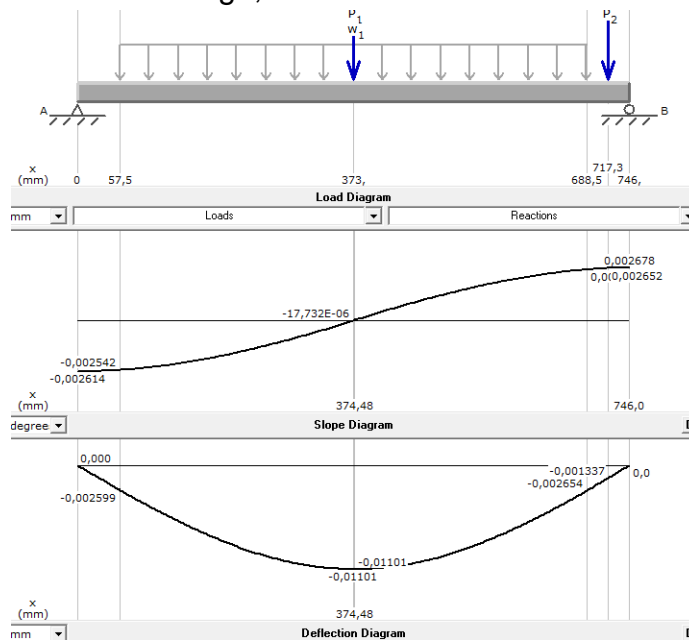
$$\sigma_{min} = 0,922 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{prom} = 1,394 \text{ Mpa}$$

Se deduce que con la σ promedio resultante anteriormente, el aluminio que resiste una carga ultima de 570 Mpa, es más que suficiente para soportar las cargas a las cuales será sometida.

Ahora se debe saber que tanto se deflecta la viga con respecto a la carga que va a sufrir, para ello se recurre a MDSolids para calcular la deflexión máxima que puede sufrir la viga con respecto a la carga y el área transversal.

Ilustración 35. Deflexión de la viga, MDSolids



Fuente: Propia del autor

Observando la imagen se llega a la conclusión que la deflexión de la viga tiende a cero por esta razón se sobre entiende que la deformación que sufre el elemento por el efecto de las flexiones internas es cero.

2.5 ENSAMBLADO

Es importante después de calcular y tener definido cuales son los elementos que componen el sistema diseñar la manera en cómo se debe acoplar el sistema adecuadamente para su correcto funcionamiento.

2.5.1 Ejes X y Y. Luego de hacer el diseño respectivo de los ejes X y Y ...subcapítulo 2.4..., y llevar a cabo la investigación de los posibles ejes que se podrían llegar a acomodar a las necesidades mencionadas y posteriormente hacer la cotización a la Universidad Piloto de Colombia para finalmente recibir el producto solicitado por la Universidad (ilustración 36 y 37). Se realiza un análisis de las posibles maneras de acoplar estos dos ejes para que trabajen en sincronía y de la manera que se desea para tener un rendimiento óptimo de los mismos y así generar un funcionamiento eficiente para la estación.

Ilustración 36. Eje X



Fuente: Propia del autor.

Ilustración 37. Eje Y



Fuente: Propia del autor.

Se sabe que ambos ejes pueden ser tanto X como Y, es decir, que cualquiera de ellos puede estar en una posición X o en una Y, ya que estos ejes soportan prácticamente la misma fuerza y son muy versátiles en cuanto a su diseño. Finalmente se opta por la posición estéticamente más adecuada y más cómoda para realizar ajustes y los próximos ensambles que se realizarán (ilustración 38) Como el acople del eje Z, sensores, motores, etc.

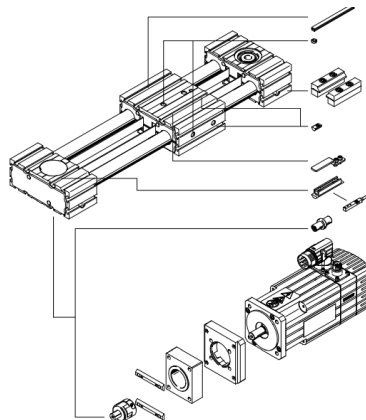
Ilustración 38. Posicionamiento de los ejes X y Y



Fuente: Propia del autor.

En la imagen se ve la posición más adecuada en la que se ensamblarán los ejes, teniendo así el eje X como el de guía por correa dentada y el eje Y como el de rodamientos lineales. Para realizar este acople se necesita principalmente una placa que cubra el eje Y por completo ya que se debe aprovechar el diseño ...anexo 1... de este eje para crear mayor rigidez en dicha placa y con esto crear un ajuste sólido, al mismo tiempo esta placa será ensamblada con el carrito del eje X que es quien realiza el movimiento de dicho eje.

Ilustración 39. Diseño eje Y



Fuente: FESTO, Manual ELGR FESTO. Recuperado de:
https://www.festo.com/cat/es_es/xDKI.asp?PartNo=1370489&mode=extApp&xR=DKI3WebDataSh eetV1&xU=GuestESES&xP=GuestESES

Como se observa en la imagen este eje viene con su motor con freno lo que ayuda a que el eje Y no sufra golpes en caso de quedar en la parte superior y un acople del mismo a su vez trae una cantidad de orificios para realizar las modificaciones que sean necesarias, es por esta razón que este eje es el ideal para realizar todas las reformas que se realizarán, entre ellas una placa que no interrumpa el recorrido del carrito de movimiento. Para dicha placa es necesario el cálculo del peso que va a soportar y el centro de masa que es donde se ubicará el eje X ya que esta es la parte que ejerce menos esfuerzo.

2.5.1.1 Pesos de los ejes. Se tiene que el peso del conjunto eje Y es de 8 kg contando con el motor y sus acoples (ilustración 40) según muestra la ficha técnica, sabemos que es un eje ELGR 45

Ilustración 40. Peso eje Y

Ejes accionados por correa dentada ELGR, para Optimised Motion Series (OMS) **FESTO**
 Hoja de datos

Pesos del eje/conjunto axial/motor [kg]			
Tamaño	35	45	55
Peso básico con carrera de 0 mm ¹⁾			
Eje/conjunto axial/motor	3,9	8,0	13,2
Peso adicional por cada 1000 mm de carrera	2,5	5,0	7,8
Masa móvil	0,5	1,1	1,9
Carro			
Carro estándar	0,5	1,0	1,8

Fuente: Hoja de datos Festo. Recuperado de:
https://www.festo.com/cat/es_es/xDKI.asp?PartNo=1370489&mode=extApp&xR=DKI3WebDataSheetV1&xU=GuestESES&xP=GuestESES

En la intersección de las líneas rojas se ve el peso total en kg del eje Y, este dato ayudará a saber cuánto peso debe soportar la placa, debido a que este eje estará a unos centímetros por arriba del suelo para que pueda moverse libremente a lo largo del eje X.

Se tiene que el peso del conjunto eje X es de 1850 g (ilustración 41) el motor y sus acoples tienen un peso de 3600 g (ilustración 42) según muestra la ficha técnica, sabemos que es un eje EGC-70-GK.

Ilustración 41. Pesos eje X

Ejes accionados por correa dentada EGC-TB-KF, con guía de rodamiento de bolas

FESTO

Hoja de datos

Pesos [g]	50	70	80	120	185
Tamaño					
Peso básico con carreta de 0 mm ¹⁾					
EGC... GK/ GP	620	1850	3000	10500	32600
EGC... GV/ GQ	-	2470	3900	12600	36800
Peso adicional por cada 10 mm de carrera	19	44	62	150	300
Masa móvil					
EGC... GK/ GP	130	370	620	2180	6500
EGC... GV/ GQ	-	550	900	2730	7720
Carro adicional					
EGC... KL/ KR	80	300	550	2000	6000
Unidad de fijación					
EGC... 1H... PN	-	-	700	2300	4900
EGC... 2H PN	-	-	1300	4000	8300

Fuente: FESTO, Hoja de datos eje X. Recuperado de:

https://www.festo.com/cat/es_es/xDKI.asp?PartNo=1370489&mode=extApp&xR=DKI3WebDataSheetV1&xU=GuestESES&xP=GuestESES

Ilustración 42. Peso motor

Hoja de datos

Característica	Propiedades
Fecha de envío	→ Indicación
Ángulo de paso a paso completo	1,8 deg
Tolerancia del ángulo de paso a paso	±5%
Transmisor de la posición del rotor	Encoder incremental
Transmisor de posición del rotor, interfaz	RS422 TTL, canal AB + índice cero
Transmisor de posición del rotor, principio de medición	óptico
Cantidad máxima de giros en función del tiempo	550 1/min
Tensión de funcionamiento DC del freno	24 V
Clase de protección por aislamiento	B
Consumo del freno	11 W
Tensión nominal de funcionamiento DC	48 V
Corriente nominal del motor	9,5 A
Resistencia de la bobina, fase	0,23 Ohm
Inducción de la bobina, fase	2,6 mH
Constante de tensión, fase	68,6 mV/min
Clase de medición según la norma EN 60034-1	S1
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre EMC
Clase de resistencia a la corrosión KFK	1 - riesgo de corrosión bajo
Temperatura de almacenamiento	-20 ... 70 °C
Humedad relativa del aire	0 ... 85 %
Tipo de protección	IP54
Temperatura ambiente	-10 ... 50 °C
Clase térmica según la norma EN 60034-1	B
Homologación	RCM Mark e UL us - Recognized (OL)
Momento de inercia de la masa global en la toma de fuerza	1,97 kg·m ²
Momento de retención del freno	2 Nm
Momento de retención del motor	5,9 Nm
Momento de inercia de la masa del freno	0,07 kg·m ²
Momento de inercia de la masa del rotor	1,9 kg·m ²
Esfuerzo axial admisible del eje	65 N
Esfuerzo radial admisible del eje	200 N
Peso del producto	3,600 g
Técnica de conexiones eléctricas	Conector
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Corresponde a la norma	IEC 60034

Fuente: FESTO, Hoja de datos motor. Recuperado de:

https://www.festo.com/cat/es_es/xDKI.asp?PartNo=1370489&mode=extApp&xR=DKI3WebDataSheetV1&xU=GuestESES&xP=GuestESES

Con esto se sabe que el peso total del eje X sumando el peso del motor y el peso del eje según la hoja de datos obtenida de la página de Festo

2.6 SENSORES

Analizando el sistema incorporado en la máquina actualmente se deduce que es un método ineficiente debido a la cantidad de sensores que se encuentran en el proceso de almacenamiento y posicionamiento, por ende dicho sistema requiere una optimización de la cantidad de dispositivos de detección y a su vez reducir al máximo entradas y salidas en el PLC, adicionalmente se desea hacer un acercamiento a los parámetros industriales estandarizados actualmente y asimismo darle un valor agregado a la interacción con el estudiante.

Con un total de 48 sensores de los cuales se desglosan entre sensores magnéticos que se encargan del posicionamiento de los motores y brindan información al PLC sobre el estado de los actuadores, sensores de contacto que se encargan de dar aviso de llegada de la pieza tanto en el sistema de almacenamiento como en las bandas, un infrarrojo que detecta la presencia de pieza en el sistema de alimentación y un sensor capacitivo que detecta presencia de pieza en el sistema de confirmación, de los cuales en su gran mayoría son totalmente infructíferos pero a su vez optimizables, por ende se analiza cada una de las problemáticas y se da la solución más apropiada para que se ajuste a los requerimientos establecidos.

2.6.1 Sensores de contacto en el sistema de almacenamiento. Analizando el sistema incorporado en la máquina actualmente se deduce que es un método ineficiente debido a la cantidad de sensores mecánicos que se encuentran en el proceso de almacenamiento y posicionamiento, por ende, dicho sistema requiere una optimización de la cantidad de dispositivos de detección y a su vez reducir al máximo entradas y salidas en el PLC.

La estación cuenta en total con 26 sensores de contacto, de los cuales 21 se encuentran en el sistema de almacenamiento (ilustración 43) y cada uno requiere una conexión directa y específica lo que resulta infructífero debido al gasto que se genera en cuanto a entradas del PLC se refiere.

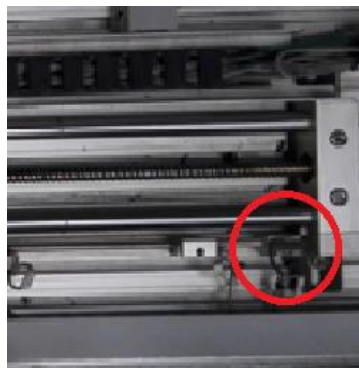
Ilustración 43. Sensores de contacto en el sistema de almacenamiento



Fuente propia del autor

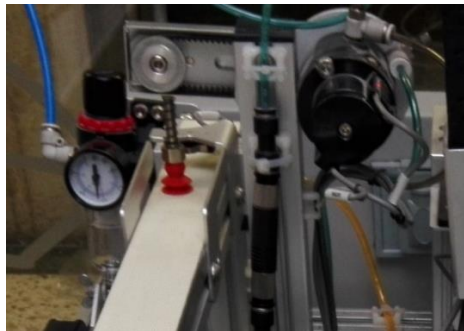
Otro de los sensores de contacto se encuentra incorporado en la banda transportadora (ilustración 44) para indicar la llegada de la pieza, los 4 restantes se hallan al final y al principio de los ejes X y Y para indicar los límites de distancia de dichos ejes.

Ilustración 44. Final de carrera eje X



Fuente propia del autor

Ilustración 45. Final de carrera Banda transportadora



Fuente propia del autor

Por esa razón se opta por usar un único sensor acoplado en el eje Z (Ilustración 46) que sea quien brinde la información al PLC del estado del almacén con el fin de hacer un barrido y con esto optimizar hasta un 95% (Ecuación 1) de los sensores que se encuentran en esta parte específica de la máquina y así mismo dar una mayor eficiencia y seguridad a la máquina.

Ilustración 46. Eje Z.



Fuente: Propia del autor.

$$x = \left(\left(\frac{Si * 1}{Sa} \right) - |1| \right) * 100$$

Donde:

X = Porcentaje optimizado

Si = Cantidad de sensores que se van a utilizar

Sa = Cantidad de sensores que posee la maquina actualmente

Sí:

Si= 1

Sa = 21

Entonces:

$$x = \left(\left(\frac{1 * 1}{21} \right) - |1| \right) * 100$$

$$x = 95.24\%$$

Para la selección de un sensor óptimo que cumpla todos los requerimientos establecidos y necesidades en cuanto a funcionamiento, es necesaria una investigación de los tipos de sensores con la cual se deduce y se escoge el sensor que cumpla las condiciones señaladas para el funcionamiento correcto de la máquina.

Al realizar la investigación se toman los puntos clave de cada uno de ellos (tabla 17) y con esto llegar al más acertado tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de ellos e inmediatamente llegar a una conclusión.

Tabla 12. Ventajas y desventajas de sensores.

TABLA DE SENSORES			
Sensor	Ventajas	Desventajas	Uso
Final de carrera	<ol style="list-style-type: none"> 1) Fácil instalación. 2) Es insensible a estados transitorios. 3) Trabaja a tensiones altas. 4) Es inmune a la electricidad estática. 5) Carcasa durable. 6) Operación sencilla <p>Alta repetitividad</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Vida útil de los contactos corta debido al desgaste mecánico. 2) No se puede utilizar en todas las aplicaciones requeridas. 3) Posibilidad de rebotes en el contacto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Apertura y cierre de puertas. 2) Sistemas de cinta transportadora. 3) Detección de piezas.
Ultrasónico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Insensibles al ambiente. 2) La zona de detección puede graduarse a voluntad. 3) Precisión variable. 4) Rango de detección alto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Su tiempo de reacción es relativamente lento. 2) Costo elevado. 3) Si el objeto a identificar tiene superficies inclinadas, el sonido se desvía 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Detección de llenado. 2) Control de altura. 3) Detección de objetos dañados (tornillos). 4) Enumeración.
Magnético	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bajo costo. 2) Detección sin contacto. 3) Múltiples aplicaciones. 4) No consume energía. 5) Diseños de pequeñas dimensiones con alcances muy amplios de hasta 100mm. 6) Alta resistencia mecánica en caso de choques o vibraciones. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Protección puntual. 2) Detección también a través de metales no magnetizables 3) El objeto a reconocer ha de estar equipado con un imán, ya que el detector reacciona sólo a éste. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Contaje 2) Posición de pistón 3) Seguridad de máquinas 4) Panel publicitario 5) Posición de accionistas 6) Nivel líquido 7) Control de velocidad
Óptico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Es no destructivo y no invasivo. 2) Posibilidades de unificación a sistemas más complejos. 3) Capacidad de conformar redes espaciales de varios sensores para el control de proyectos grandes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Distancia de detección corta. 2) Son muy sensibles a factores ambientales. <p>Detecta reflejos indeseables.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Detección de botellas y tapas. 2) Mouse de computadoras. 3) Leer y detectar información como la detección de billetes.
Capacitivo	<ol style="list-style-type: none"> 1) Fácil de usar. 2) Detecta piezas tanto metálicas como no metálicas 3) Ligero y reducido tamaño 4) No tienen contacto directo con el objeto a sensar. 5) No se desgasta. 6) Tiempo de reacción rápido 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Distancia de detección corta. 2) Se ven afectados por campos electromagnéticos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Detección de nivel. 2) Detección de humedad. 3) Detección de posición.
Inductivo	<ol style="list-style-type: none"> 1) No tiene contacto directo con el material a sensar. 2) No se desgasta 3) Tiempo de reacción rápido. 4) No se ve afectado por el ambiente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Detecta únicamente materiales metálicos. 2) Rango corto de operación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Posicionamiento de un ascensor. 2) Detectar si una válvula está abierta. 3) Presencia de pieza metálica.

Fuente: Propia del autor

Se puede observar en la tabla anterior 6 tipos de sensores que se podrían utilizar como detector de presencia de pieza en el sistema almacenamiento, posterior a la investigación se hace una conclusión comparando los diferentes sensores para establecer el sensor con características más adecuadas que se logren acomodar a las necesidades requeridas por la estación.

Estas características están dadas principalmente en 7 condiciones esenciales (tabla 18), la primera se trata del sensado de un sólido ya que el sensor se encargará de detectar la presencia de pieza en el almacén y así tomar una decisión entre dejar la pieza en dicha posición o seguir a la próxima debido a que la anterior posición ya se encuentra ocupada ya sea por una pieza o una bandeja. En segundo lugar, se debe tomar en cuenta si dicho sensor es capaz de detectar cualquier tipo de sólido, ya que las piezas están hechas de aluminio y las bandejas de nylon, es por esta razón que el sensor debe reconocer la presencia de estos dos tipos de materiales. Como tercera condición se debe tomar en cuenta la distancia de detección de dicho sensor ya que los ejes X y Y no estarán muy lejos del almacén, es por esta razón que el sensor debe detectar a una distancia media para que reconozca la existencia de pieza o/y bandeja o no la reconozca, si se toma una distancia muy alejada el sensor detectaría más allá de la posición del almacén, es decir, si no existe la presencia de pieza en una posición y el sensor tiene una detección muy lejana podría detectar alguna parte del almacén y asumir que existe una pieza en un lugar vacío, y no puede tener una distancia muy corta ya que podría colisionar. En cuarto lugar, no debe tener un contacto directo con la pieza ya que esto desgastaría el sensor debido a la cantidad de piezas que se deben acomodar en el sistema de almacenamiento y esto lleva a la quinta condición ya que un sensor que tenga contacto directo con la pieza sufriría desgaste mecánico indeseado. Como sexta condición es necesario que sea un sensor tipo digital debido a que debe detectar 1 o 0 (1 si hay pieza y 0 si no la hay) y con esto llevar la información adecuada al PLC y tomar una decisión y finalmente como última condición el sensor debe tener un sensado rápido debido a que los ejes X y Y harán un paneo a velocidades relativamente rápidas y el sensor debe responder y enviar oportunamente la información adecuada al PLC para evitar fallas.

Tabla 13 Tabla comparativa de sensores.

<i>Requerimientos</i>	<i>Inductivo</i>	<i>Capacitivo</i>	<i>Ultrasónico</i>	<i>Magnético</i>	<i>Óptico</i>	<i>Final de carrera</i>
Detección de sólidos	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Detección de no metales (aluminio)	NO	SI	SI	NO	SI	SI
Distancia de detección	Media	Media	Alta	Alta	Media	Baja
Contacto directo	NO	NO	NO	NO	NO	SI
libre de desgaste	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Digital/Análogo	Digital	Digital	Análogo	Análogo	Análogo	Digital
Tiempo de reacción	Rápida	Rápida	Lenta	Rápida	Rápida	Lenta

Fuente: Propia del autor.

Como indica la tabla 18 el sensor capacitivo cumple todos los requerimientos necesarios para un funcionamiento óptimo a la detección de piezas que se encuentran en el sistema de almacenamiento además de eso la estación el sensor capacitivo a diferencia del sensor óptico es capaz de detectar piezas de color negro mate y debido a que las bandejas son de dicho color, se descarta el uso del sensor óptico igualmente la máquina ya cuenta con un sensor capacitivo el cual se reutilizará e incorporará de una manera adecuada al eje Z para una funcionalidad sólida y eficaz.

2.6.2 Sensor de contacto en la banda transportadora. Como se mencionó anteriormente, hay un sensor final de carrera en la segunda banda transportadora que indica la llegada de pieza (ilustración 45), el problema radica principalmente con este sensor es la inexactitud de detección debido al peso de las piezas, ya que en su gran mayoría tienen variaciones y esto causa que el sensor no logre detectar la totalidad de las veces la llegada de la pieza a causa de la insuficiente fuerza que ejerce sobre el sensor para lograr un contacto exacto el 100% de las veces.

Se hacen pruebas con 4 sensores final de carrera diferentes (S1, S2, S3 Y S4) con cada una de las piezas de aluminio de la máquina con su peso correspondiente (tabla 19) con el fin de demostrar la falencia que existe en el sensado dependiendo del peso de la pieza, con lo que la maquina nuevamente se vuelve ineficiente e inexacta.

Tabla 14 Sensado de piezas según peso

<i>Peso de pieza (g)</i>	Prueba 1				Prueba 2				Prueba 3				Prueba 4			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
135	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
134	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
136	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
136	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
141	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
133	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
141	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
132	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
148	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

Fuente: Propia del autor.

Se demuestra en la tabla anterior que la variación del peso en las piezas es directamente proporcional al sensado del final de carrera, siendo S1, S2, S3 y S4 sensores de contacto diferentes, los números (0 y 1) se refieren al no sensado y sensado respectivamente de cada pieza en cada sensor.

Tabla 15 Número de veces que detecta cada sensor según peso de la pieza.

CANTIDAD DE SENSADOS				
PIEZA	S1	S2	S3	S4
1	3	0	0	0
2	2	1	0	0
3	0	0	0	0
4	1	0	2	4
5	0	0	0	0
6	0	1	1	3
7	0	1	0	0
8	1	0	3	0
9	0	3	2	0
10	3	0	4	4
11	3	0	2	0
12	3	0	4	4
13	1	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	4	3	4	2

Fuente propia del autor.

En la tabla anterior se muestra la cantidad de veces que detecta cada sensor las diferentes piezas con sus pesos respectivos en cada una de las pruebas realizadas.

Con el fin de dar un mejor entendimiento a la falencia que se viene presentando, se demuestra que a mayor peso mayor sensado, esto quiere decir, que debemos hacer una modificación en las piezas con el fin de acercarse al peso con mayor efectividad o en su defecto hacer un cambio radical del sensor ubicado en la banda transportadora.

Por ende, se concluye que resulta demasiado problemático modificar el peso de las piezas debido a la cantidad de las mismas, por lo tanto, se opta por cambiar el sensor final de carrera por uno mucho más eficiente que reduzca al cien por ciento esta insolvencia ya que este proceso no debe tener ningún error en cuanto a sensores debido a que es un proceso automatizado el cual necesita de gran precisión y seguridad.

Con el fin de integrar otra rama de la ingeniería mecatrónica se opta por hacer uso de un sensor infrarrojo electrónico (ilustración 47) cuya distancia de detección es pequeña y es libre de desgaste mecánico, al mismo tiempo sensa cualquiera de las piezas sin importar el tamaño la forma o en este caso el peso.

Ilustración 47. Sensor infrarrojo





TRESO PRINT TECH
www.tresdprinttech.com

Fuente: Sensor De Reflexión Infrarrojo Evasor De Obstáculos, TRESO PRINT TECH Recuperado de: <http://www.tresdprinttech.com/producto/sensor-de-reflexion-infrarrojo-evasor-de-obstaculos/>

Se decide utilizar dicho sensor ya que minimizará gastos debido a que un sensor industrial es hasta 28 veces más costoso (ilustración 48 y 49) que uno electrónico y además es un sensor digital que indicará presencia de pieza y dará información al PLC para ejecutar la siguiente acción que en este caso será el actuador rotativo que se encargará de llevar la pieza a la bandeja.

Ilustración 48. Catálogo de precios en pesos de algunos sensores industriales

	F05012	Fuente suicheada 50W 4,2 Amp 110/220V AC 12V DC	Checkman	H	68.000
	F10012	Fuente suicheada 100W 8,5 Amp 110/220V AC 12V DC	Checkman	H	90.000
	F20012	Fuente suicheada 200W 16,5 Amp 110/220V AC 12V DC	Checkman	H	120.000
	F35012	Fuente suicheada 350W 29 Amp 110/220V AC 12V DC	Checkman	H	180.000
FUENTE	F05024	Fuente suicheada 50W 2 Amp 110/220V AC 24V DC	Checkman	H	68.000
	F10024	Fuente suicheada 100W 4,1 Amp 110/220V AC 24V DC	Checkman		
	F20024	Fuente suicheada 200W 8,3 Amp 110/220V AC 24V DC	Checkman	D	95.000
	F35024	Fuente suicheada 350W 14,5 Amp 110/220V AC 24V DC	Checkman	H	180.000
	LWTERJ45	Control para hornos de panadería, programación de temperatura, tiempo, vapor, luz, chicharra, puerta, bloqueo. 450°C, 0-99Seg/Min/Hr, TipoJ, On-Off, 1 cont conn, 110/220VAC, 72x72mm	Coel	H	485.000
LWTERJ	LW8002RJ	Control para auto claves, programación de temperatura, Tiempo, chicharra, bloqueo de datos, puerta abierta, -350°C, On-Off, TipoJ, 0-999,9 Seg/Min/Hr, Conteo de producción 9999 cuentas 110/220V AC, 72x72mm	Coel	D	356.000

Fuente: Eléctricas Bogotá

Ilustración 49. Precio en euros de sensor infrarrojo

PRECIO

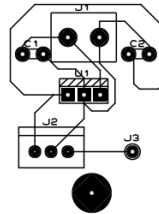
Los sensores de obstáculos infrarrojos son realmente baratos. Podemos encontrar detectores infrarrojos, incluida la placa de medición, por 0,30€ en vendedores internacionales de eBay y AliExpress.



Fuente: Luis Llamas, Recuperado de: <http://www.luisllamas.es/2016/06/detectar-obstaculos-con-sensor-infrarrojo-y-arduino/>

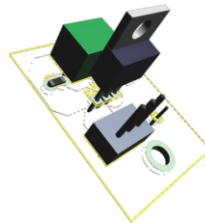
Se decide entonces optar por el sensor electrónico, una desventaja de este sensor es que su alimentación general es de 3,3 a 5V DC, y el PLC y la fuente entregan 24 VDC, por ende, se diseña una tarjeta con la ayuda de Software Proteus para solventar este inconveniente.

Ilustración 50. PCB circuito para infrarrojo



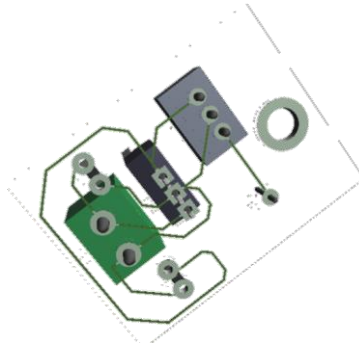
Fuente Propia del autor

Ilustración 51. Diseño 3D Proteus del circuito Vista isométrica



Fuente Propia del autor

Ilustración 52. Diseño 3D Proteus Vista inferior



Fuente Propia del autor

2.6.3 Sensores de contacto en los ejes X y Y. Para informar a el PLC el final e inicio de los tornillos sin fin de los ejes X y Y existen 4 sensores de contacto (ilustración 53) que se encargan de detener el recorrido máximo y mínimo de dichos ejes de un punto a otro.

Ilustración 53. Finales de carrera en ejes



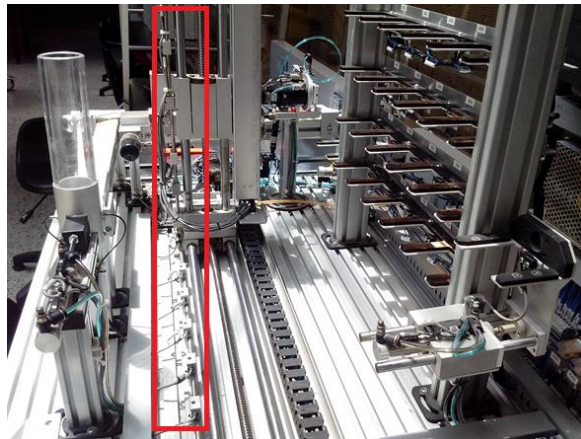
Fuente propia del autor.

Debido a que el objetivo principal y más Importante del proyecto es mejorar la velocidad de dichos ejes se rediseñará y cambiará por completo este sistema de

transporte. El sistema estará sin ningún sensor para determinar su posición final e inicial por lo tanto estos 4 sensores de contacto se obviarán y retirarán de la máquina.

2.6.4 Sensores magnéticos. Actualmente el estación mecatrónica cuenta con una cantidad de 21 de los cuales 11 son los encargados de brindarle información al PLC del posicionamiento de los ejes (ilustración 54) tanto en Y como en X.

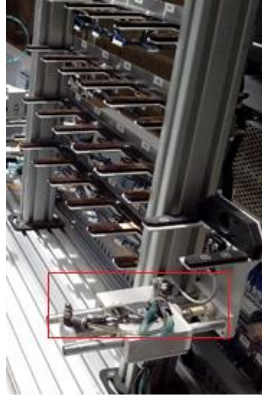
Ilustración 54. Sensores magnéticos eje Y y X.



Fuente propia del autor.

Estos 11 sensores se eliminarán por completo debido a que se cambiará completamente el sistema de transporte. En cuanto a los 10 sensores restantes que son los encargados de dar aviso respecto al posicionamiento de los actuadores se utilizarán de la misma manera en la que ha trabajado la estación hasta el momento a excepción de 2 de ellos que están siendo totalmente inútiles (ilustración 55) debido a que se encuentran en el almacén como posición extra con un actuador biestable que nunca se vio funcionando durante el proceso ya que se mencionaba en el capítulo de medición de tiempos la máquina llega a un punto en donde se bloquea y no continúa con el proceso.

Ilustración 55. Actuador En el almacén



Fuente propia del autor.

Estos sensores serán reemplazados por un encoder o codificador con el objetivo de convertir información de un formato a otro y con esto mejorar velocidad y seguridad, este encoder viene incluido en los motores con los ejes X y Y para cada uno y cuenta con 500 impulsos por revolución con una predicción de 0,72 grados que en lineal corresponde a una resolución de 0,156 mm por revolución y es un encoder óptico.

2.7 SELECCIÓN DEL PLC

En este capítulo se entra a detalle en la programación de la estación mecatrónica ya que es parte fundamental para el movimiento de cada uno de los dispositivos que comprenden el sistema, actualmente la máquina cuenta con un controlador lógico programable Siemens S7-200 y una serie de módulos de expansión para entradas y salidas debido a la cantidad de sensores al presente incorporados.

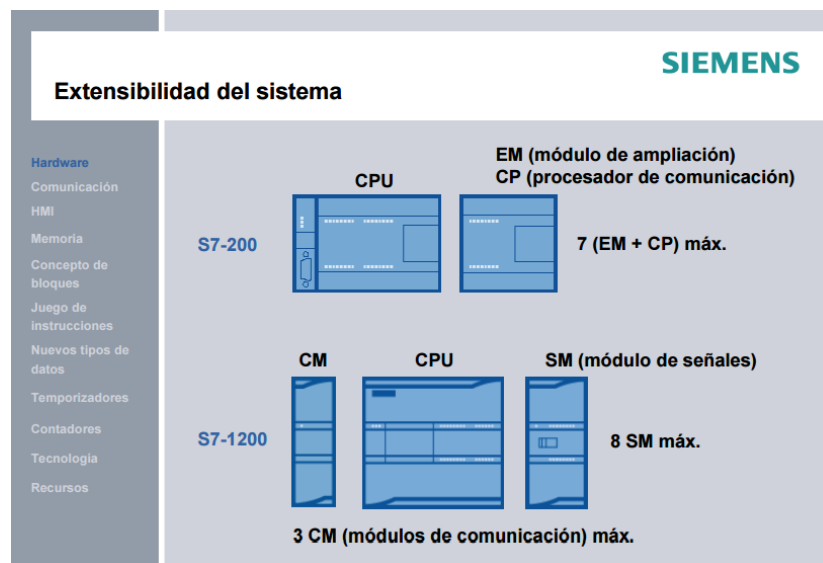
El idioma utilizado en el software del controlador lógico programable S7-200 se encuentra en Chino al igual que los manuales de instrucciones, lo que hace aún más complejo entrar a modificar el programa actual, adicionalmente uno de los principales objetivos es el de disminuir la cantidad de entradas y salidas que presenta la maquina optimizando los módulos de expansión del PLC, por tal motivo se decide hacer un reemplazo del mismo por uno más eficiente. Aprovechando que los laboratorios de la Universidad Piloto de Colombia cuentan

con una serie de PLC Siemens S7-1200 se opta por utilizar uno de ellos con el fin de minimizar costos en el rediseño de la estación.

2.7.1 Transición de controladores. A continuación, se realiza la transición de los controladores mediante una serie de comparaciones, demostrando así que las características del controlador S7-1200 no solo optimizarán el funcionamiento de la máquina, sino que se aprovecharán al máximo las capacidades dejando abierta la posibilidad de integrar futuros proyectos con gran facilidad debido a la versatilidad que ofrece el controlador.

Inicialmente se inicia con la comparación del hardware de los controladores, por ejemplo, la extensibilidad que consiste en que ya no se trata de módulos de ampliación y procesadores de comunicación sino de un módulo de señales que permite reducir el tamaño del módulo brindando más espacio en el tablero de control, sin nombrar las funcionalidades mejoradas.

Ilustración 56. Comparación de módulos



Fuente: SIEMENS, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, Recuperado de: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>

Ahora en la ilustración 57 se puede evidenciar en la comparación de la cantidad de entradas y salidas de los controladores y del tablero de señales (Signal Board) ya que en el controlador S7-1200 no aumenta el tamaño que ocupa la CPU

Ilustración 57. Comparación entradas y salidas

E/S integradas de la CPU y E/S de la SB (Signal Board) **SIEMENS**

	S7-200 CPU 224XP	S7-1200 CPU 1214C
DI Digital Input	14	14+ (2 on SB)
DO Digital Output	10	10+ (2 on SB)
AI Analog Input	2	2
AO Analog Output	1	1 on SB
PWM / PTO		
Pulse Width Modulation	2	2
Pulse Train Output		
HSC High Speed Counter	6	6
PID Closed loop controller	8	16

1 Signal Board opcional (SB) puede insertarse en el frente de la CPU

Fuente: SIEMENS, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, Recuperado de: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>

En cuanto a la configuración del hardware ambos controladores tienen un software específico (STEP 7 y STEP 7 Basic).

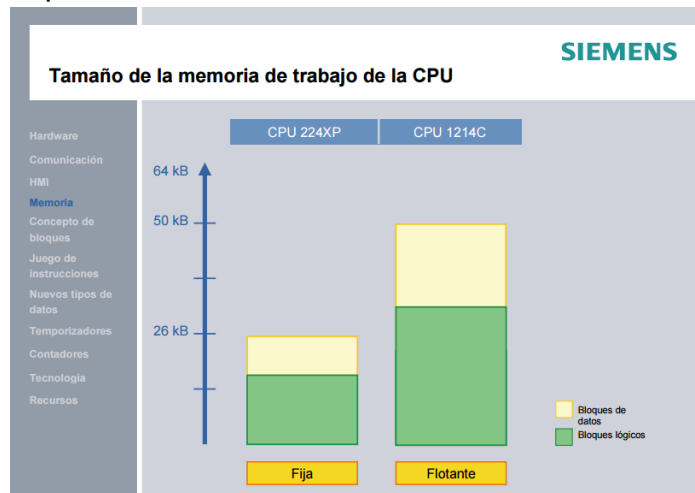
Tabla 16. Características de configuración

	S7-200	S7-1200
CARACTERÍSTICAS	Los módulos de ampliación se detectan automáticamente al conectarlos a la alimentación.	STEP 7 Basic utiliza una configuración gráfica que permite crear una imagen del hardware actual.
	La ventana "Ajustar interface PPG/PC" de STEP 7 - Micro/WIN permite configurar el driver de comunicación.	Los módulos hardware se seleccionan de un catálogo de hardware y se arrastran a un rack.
	La ventana "Comunicaciones" de STEP 7 - Micro/WIN utiliza el driver seleccionado para buscar las estaciones CPU.	Una vez configurada la imagen del sistema hardware, se hace clic en un elemento de la imagen del sistema para configurar la página de "Propiedades" del elemento de hardware seleccionado.
	La ventana de "Bloques de datos de sistema" de STEP 7 - Micro/WIN configura los parámetros de la CPU.	Se selecciona el conector PROFINET de la CPU en la imagen de la CPU par ajustar las propiedades de la dirección IP.
	Una carga de bloques de sistema transfiere la nueva configuración hardware a la CPU de destino.	Se utiliza el comando Cargar para transferir la nueva configuración hardware a la CPU de destino.

Fuente: SIEMENS, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, Recuperado de:
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>

Respectivamente la comunicación del controlador S7-1200 es más completa debido a que la comunicación en serie minimiza cables de conversión de tipo de información, adicionalmente la interfaz PROFINET está integrada dentro del controlador y permite un enlace en cascada con módulos HMI. La memoria de trabajo de la CPU se compara en la imagen 80 relacionada a continuación, anexando que el STEP 7 Basic permite optimizar el tamaño de los bloques de datos y asigna datos en la memoria remanente en caso de una pérdida de energía del PLC, esto sin tener en cuenta la tarjeta de memoria que tiene una mayor capacidad de almacenamiento.

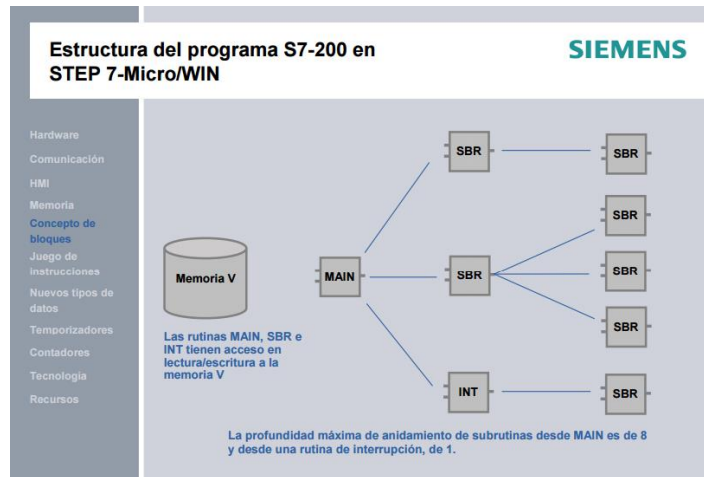
Ilustración 58. Comparación de memoria



Fuente: SIEMENS, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, Recuperado de:
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>

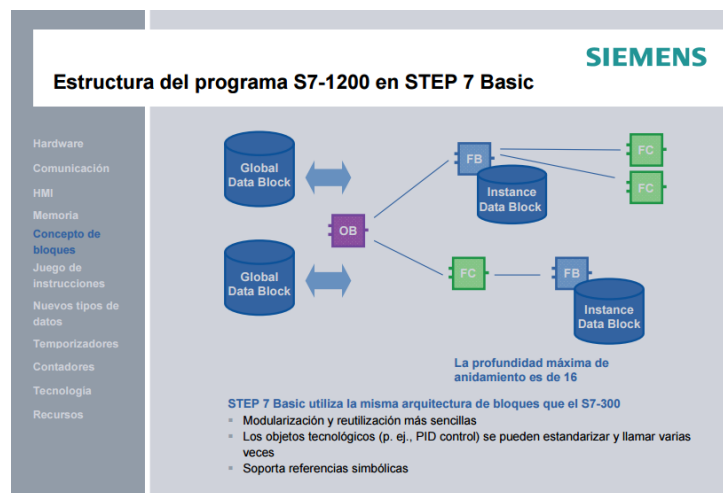
Otro de los aspectos importantes a destacar es la estructura de cómo se puede manejar el programa a establecer como el programa principal y las rutinas secundarias relacionadas en las imágenes 81 y 82 de los controladores S7-200 y S7-1200 respectivamente.

Ilustración 59. Estructura de programación S7-200



Fuente: SIEMENS, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, Recuperado de: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>

Ilustración 60. Estructura de programación S7-1200

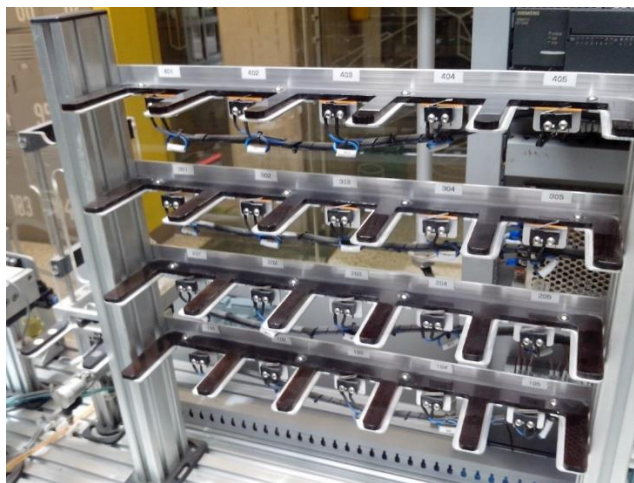


Fuente: SIEMENS, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, Recuperado de: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>

Habiendo comparado los recursos de cada uno de los controladores es ineludible concluir que la mejor opción es iniciar con un nuevo PLC, adicionalmente requiere de un diseño ingenieril más completo que permitirá al estudiante identificar las herramientas con las que puede contar en la máquina y poder llevar la máquina a un nuevo alcance dentro de unos futuros proyectos.

2.7.2 Requisitos del programa. Debido a que la estación mecatrónica actual cuenta con ciertos incidentes de seguridad, fallas mecánicas y de programación, es necesario determinar una serie de soluciones a las fallas que presenta hoy por hoy, por ejemplo, la máquina tiene una programación secuencial semiautomática, ergo al ubicar una pieza el sistema se detiene hasta que de nuevo se presiona el botón de inicio, adicionalmente omite las señales emitidas por los finales de carrera ubicados en cada uno de las posiciones del almacén ilustración 61, es decir, en el momento en que la máquina cumple con su primer ciclo (ubica la pieza en la posición 101) y esta se retira manualmente, de manera de automática ubica la siguiente pieza en la posición 102 del almacén sin importar que ya no haya una pieza en la posición 101, de igual manera si manualmente se ubica una pieza en la posición 101, la máquina independientemente que el final de carrera emita la señal al PLC alertando que hay presencia de pieza en la posición 101 intenta ubicar la pieza en dicha posición debido a su secuencia, teniendo como consecuencia un impacto del eje z con respecto con al almacén.

Ilustración 61. Almacén



Fuente: Propia del Autor

Para el correcto funcionamiento de la maquina rediseñada es necesario establecer una serie de requisitos que cumplan con las especificaciones de los objetivos y adicionalmente con un factor de seguridad que pueda proteger el mecanismo del proyecto y a los estudiantes que estén realizando la manipulación. A continuación, se relacionan los requisitos:

- Paro de emergencia.
- Detección de pieza existente en x posición del almacén.
- Velocidad y aceleración moderadas.
- Precisión en la ubicación de piezas.
- Ciclo automático.
- Cuando termine de ubicar todas las piezas el proceso se detiene.
- Realizar siempre una confirmación en almacén y donde evidencie que no hay pieza prosiga a almacenar dicha pieza.
- Ubicar las piezas dentro del almacén secuencialmente.
- Debe tener un pulsador de reinicio (Reset).
- Debe tener un pulsador de parada de proceso (Stop).
- Debe tener un interruptor para paro de emergencia.
- Debe existir un semáforo de alarmas.

2.7.3 Condiciones iniciales

Para cualquier diseño de un algoritmo de programación siempre es necesario tener en cuenta las condiciones iniciales a las cuales está sometido el proyecto, entre estas se encuentran:

- Todos los actuadores deben estar en posición 0, es decir en su condición inicial.
- Para iniciar la ejecución del proceso debe existir un pulsador de Inicio (Start).
- Debe contar con un pulsador en caso de emergencia (paro de emergencia).
- Se debe implementar una lógica contra posibles errores.

2.7.4 Elementos. Ya que el controlador lógico programable es el encargado de determinar la secuencia, orden y jerarquía de los movimientos de cada uno de los elementos que componen el sistema, se identifican mediante la tabla 23 con la cantidad de cada uno de ellos y asimismo establecer cantidad de tipos de entradas y salidas, tanto análogas como digitales, adicionalmente determinar en el

caso de las entradas si son de tipo NPN o PNP ya que de acuerdo a esto los módulos del PLC necesitan referenciarse a 0V o 24V.

Tabla 17. Lista de elementos que componen el sistema

ELEMENTO	CANTIDAD	ENTRADA	SALIDA	ANÁLOGA	DIGITAL	NPN	PNP
Sensor Óptico	1	X			X	X	
Sensores Magnéticos	8	X			X		X
Válvula 3/2	4		X		X		
Válvula 5/2	1		X		X		
Motorreductor	2		X		X		
Sensor Infrarrojo	1	X			X	X	
Sensor Capacitivo	1	X			X	X	
Servomotor	2		X		X		
Interruptor	1	X			X		X
Pulsador	3	X			X		X
Semáforo	1		X		X		

Fuente: Propia del Autor

2.7.5 Entradas y salidas. Como se observa en la tabla anterior, existen una serie de dispositivos a controlar, a continuación, se establece mediante la tabla 24 la definición de la cantidad de entradas y salidas establecidas al PLC, adicionalmente se asignan al PLC mediante una nomenclatura de variables definida por los autores con el fin de facilitar la identificación de cada una de las funciones de los dispositivos dentro del sistema.

Tabla 18. Variables PLC

ENTRADAS			SALIDAS		
POSICIÓN PLC	VARIABLE	IDENTIFICACIÓN	POSICIÓN PLC	VARIABLE	IDENTIFICACIÓN
I0,0	M1.MC	Bit del controlador del servomotor eje Y que confirma el posicionamiento	Q0,0	M1.POS0	Bits del controlador que permite identificar a que posición guardada en el controlador debe ir el motor eje Y
I0,1	M1.Ready	Bit del controlador del servomotor eje Y que comunica al PLC que el motor se encuentra listo	Q0,1	M1.POS1	
I0,2	M2.MC	Bit del controlador del servomotor eje X que confirma el posicionamiento	Q0,2	M1.POS2	
I0,3	M2.Ready	Bit del controlador del servomotor eje X que comunica al PLC que el motor se encuentra listo	Q0,3	M1.POS3	Bit que indica en qué momento debe ir el motor a la posición del eje Y
I0,4	Stop	Pulsador que permite detener el ciclo actual de la máquina	Q0,4	M1.Start	
I0,5	start	Pulsador que permite dar inicio al programa	Q0,5	M1.CT.Enable	Bit que permite habilitar el funcionamiento del motor eje Y
I0,6	STOP EMERG	Interruptor que permite parar de inmediato el proceso	Q0,6	M2.POS0	Bits del controlador que permite identificar a que posición guardada en el controlador debe ir el motor eje X
I0,7	SC1A	Sensor del actuador neumático ubicado en la zona de alimentación cuando está en posición inicial	Q0,7	M2.POS1	
I1,0	SC1B	Sensor del actuador neumático ubicado en la zona de alimentación cuando está en posición final	Q1,0	M2.POS2	
I1,1	SC2A	Sensor del actuador neumático rotativo ubicado en la zona de distribución de bandejas cuando está en posición inicial	Q1,1	M2.POS3	Bit que indica en qué momento debe ir el motor a la posición del eje X
I1,2	SC2B	Sensor del actuador neumático rotativo ubicado en la zona de distribución de bandejas cuando está en posición final	Q8,0	M2.Start	
I1,3	SC3A	Sensor del actuador neumático ubicado en la zona de distribución de bandejas cuando está en posición inicial	Q8,1	M2.CT.Enable	Bit que permite habilitar el funcionamiento del motor eje X
I1,4	SC3B	Sensor del actuador neumático ubicado en la zona de distribución de bandejas cuando está en posición final	Q8,2	C1	Válvula monoestable del actuador ubicado en la zona de alimentación
I1,5	SC4A	Sensor del actuador neumático ubicado en en el eje z cuando está en posición final	Q8,3	C2	Válvula monoestable del actuador rotativo ubicado en la zona de distribución
I8,0	SC4B	Sensor del actuador neumático ubicado en en el eje z cuando está en posición inicial	Q8,4	C3	Válvula monoestable del actuador ubicado en la zona de distribución
I9,0	S1	Sensor Óptico ubicado en la zona de alimentación	Q8,5	C4	Válvula monoestable del actuador ubicado en el eje Z
I9,2	S2	Sensor Infrarrojo ubicado en la banda 2	Q8,6	C5A	Válvula diestable de la ventosa para sujetar y/o soltar la pieza
I9,1	S5	Sensor Capacitivo ubicado en el eje z	Q8,7	C5B	
I8,6	Reset	Pulsador que permite reiniciar el proceso de la máquina	Q9,0	B1-B2	Motorreductores de las bandas 1 y 2
			Q9,1	SEM.ROJO	Bombillo Rojo del semáforo
			Q9,2	SEM.AMARILLO	Bombillo Amarillo del semáforo
			Q9,9	SEM.VERDE	Bombillo Verde del semáforo

Fuente: Propia del Autor

2.7.6 Módulo de expansión. Como se puede observar en la tabla 24 debido a que la cantidad de entradas y salidas supera a las que tiene el PLC Siemens S7-

1200 por defecto, cabe la necesidad de adaptar un módulo adicional que permita proporcionar la cantidad suficiente de terminales físicas para la conexión de los periféricos, la cantidad de entradas y salidas a utilizar suman 19 y 22 respectivamente, sabiendo que la CPU cuenta con 14 entradas y 10 salidas se determina que con un módulo de expansión con 16 entradas y 16 salidas sería más que suficiente para dejar un porcentaje de reserva para alguna eventualidad, uno de los segmentos de la expansión se utilizara para 3 de las entradas que son de tipo NPN referenciándolo con 24V, de igual manera se dejan cableados todos los terminales físicos en las borneras con el fin de aplicarlas en un futuro proyecto o modificación del actual.

Tabla 19. Módulo de expansión



Fuente: SIEMENS, Recuperado de:

<http://ieautomatizacion.com/index.php/catalogo/automatizacion/plcs/simatic-s7-1200-salida-digital-sm-1222-16-do-rele-2a-detail>

2.7.7 Programación. Como se menciona anteriormente es necesario realizar la programación de la máquina a través del controlador lógico programable de Siemens S7-1200 por medio del software TIA Portal, se realizan dos programas uno de manera lineal y otro de manera estructurada.

Cuando se piensa en realizar la automatización de un proceso, lo primero que se tiene que tener en cuenta es estandarizar código de funciones para minimizar procesos que mejoren la capacidad de memoria para así proceder a la programación de una manera más fácil y evitar futuros errores, cuando se tiene en cuenta el estructurar la programación es básicamente brindar un orden a la programación.

Existen tres conceptos de programación distintos:

- Programación lineal: Programación que se realiza por bloques principales llamados OB, bloques de organización, y que son activados y desactivados cíclicamente por el sistema operativo del PLC. Es el primer concepto conocido en programación, se basa en que toda su programación se realiza en el OB, una de las principales falencias que tiene este tipo de programación es que se vuelve confusa cuando el tamaño de los dispositivos a controlar es extenso, llevando a la dificultad para realizar seguimientos o corregir un error.
- Programación estructurada en áreas: Esta programación organiza la programación por medio de bloques llamados FC en los cuales se pueden crear plantillas de programación para realizar subrutinas que se pueden ajustar al control de una variable; por ejemplo, si es necesario controlar 30 motores, solo se crea una plantilla en la cual se modifican los parámetros propios del motor, agilizando el proceso de programación. Estos bloques pueden ser llamados por lo OB u otras subrutinas.
- Programación estructurada: Este tipo de estructura facilita la programación ya que se puede realizar plantillas de la misma forma que el FC pero además se pueden crear bloques DB propios para realizar cambios al programa con la garantía de no cometer errores. Esta última programación es propia del S7-1200 en adelante.

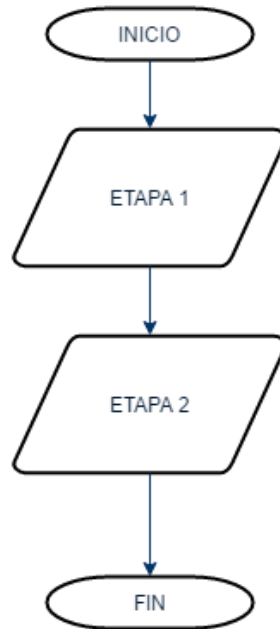
2.7.7.1 Configuración del PLC. Siempre que se interactúe por primera vez con un autómatas es necesario realizar unas configuraciones iniciales, para nuestro caso el S7_1200, encontraremos más detalle para su configuración y puesta en marcha en el manual de instrucciones.

2.7.7.2 Controladores. Los controladores de motores y los motores paso a paso adquiridos para el funcionamiento de los ejes de la estación mecatrónica son compatibles para comandar y controlar cualquier otro motor de la misma marca esto quiere decir que son compatibles para entregar y recibir instrucciones a través de varios tipos de comunicación por medio del PLC, con el fin de brindar un mayor entendimiento del funcionamiento se verá reflejado en el manual de instrucciones de la máquina.

2.7.7.3 Programación lineal. El primer programa establecido es una posición secuencial de las piezas en el almacén, está hecho en base a una

programación de estructura lineal, dando como resultado el diagrama de flujo relacionado en la ilustración 62.

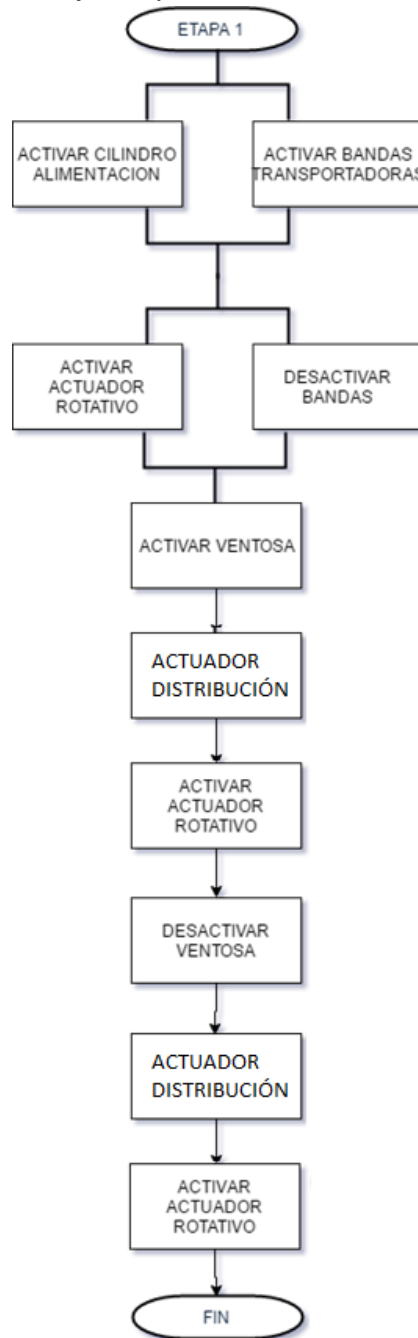
Ilustración 62. Diagrama de flujo general



Fuente: Propia del Autor

Inicialmente se divide el proceso en dos etapas, donde la primera consta de los procesos de alimentación, transporte y selección de la pieza ilustración 63.

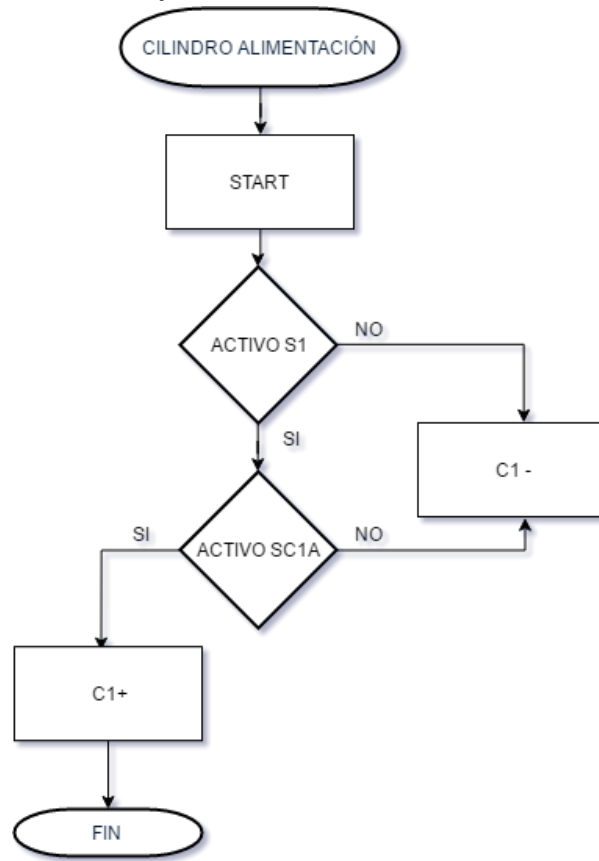
Ilustración 63. Diagrama de flujo etapa 1



Fuente: Propia del Autor

En donde cada uno de los procesos está dado por cierta cantidad de condiciones para que se cumplan secuencialmente su función, de lo contrario el proceso se detiene.

Ilustración 64. Diagrama de flujo cilindro de alimentación

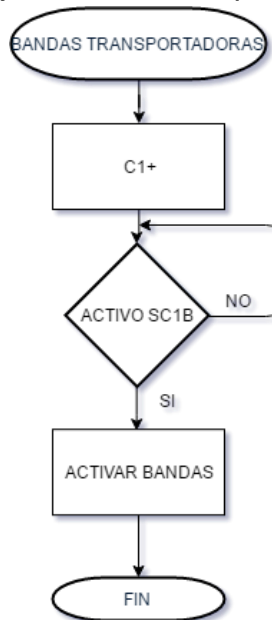


Fuente: Propia del Autor

En esta parte de la etapa ya se tienen en cuenta las diversas entradas y salidas del PLC como lo son la comunicación de los sensores de los actuadores y de las electro-válvulas de accionamiento de los respectivos cilindros neumáticos.

Adicionalmente como se evidencia en la ilustración 65 se observa que cada proceso depende directamente del anterior, en caso de que alguna variable no esté dentro de los parámetros correctos el sistema por completo se detiene.

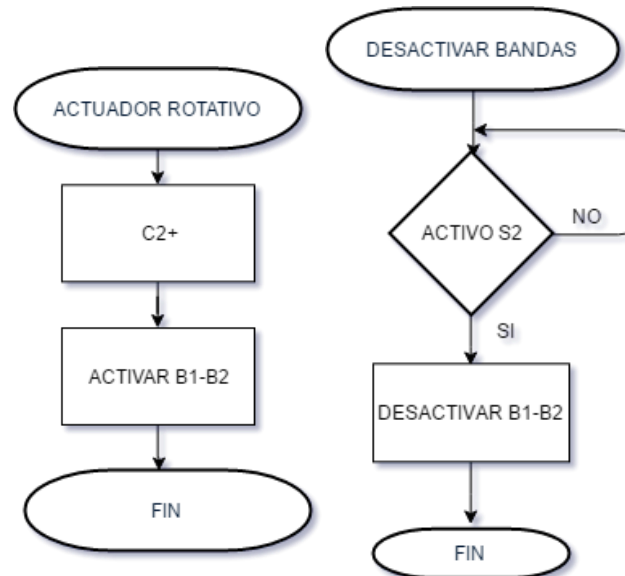
Ilustración 65. Diagrama de flujo Bandas Transportadoras



Fuente: Propia del Autor

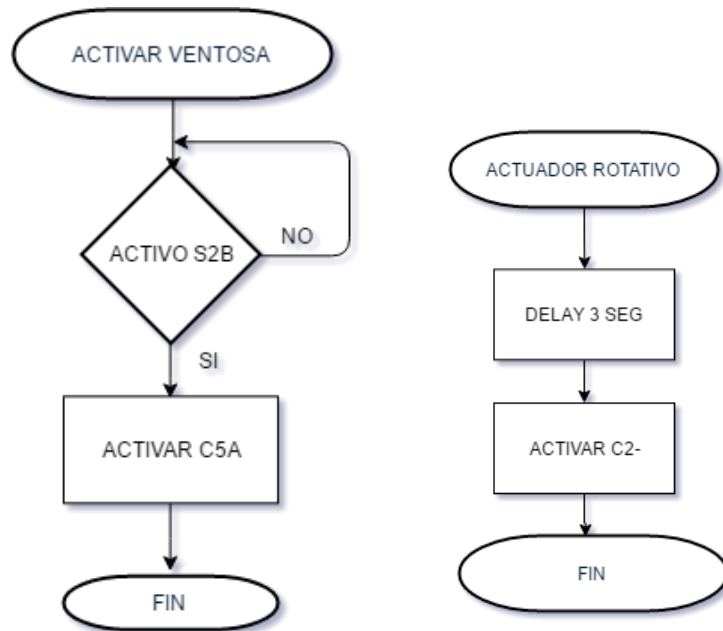
Sucesivamente se relacionan los diagramas de flujo de los procesos siguientes definidos por cada una de las variables programadas dentro del controlador lógico programable, por consiguiente se inicia con el proceso de la etapa 2, la cual no se desglosará como la etapa 1, es decir, con cada una de las variables definidas en el PLC, debido a que estas son las que comprenden la mayoría de las prácticas de laboratorio y tendría como consecuencia minimizar el aprendizaje de los estudiantes que realicen las prácticas dentro del laboratorio.

Ilustración 66. Diagramas de flujo actuador rotativo primero movimiento y desactivación de bandas



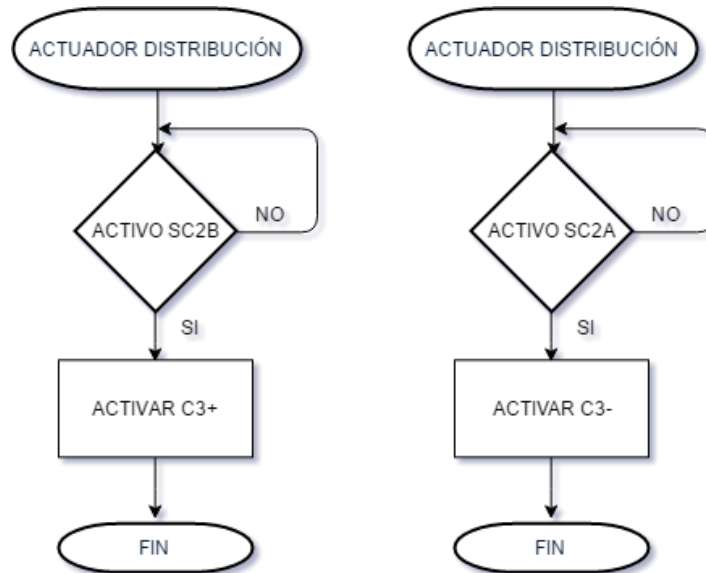
Fuente: Propia del Autor

Ilustración 67. Diagramas de flujo de activar ventosa y segundo movimiento actuador rotativo



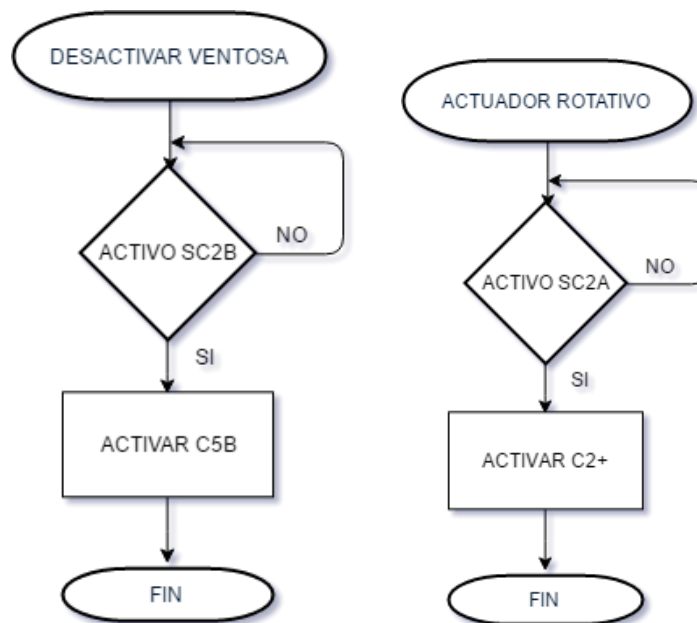
Fuente: Propia del Autor

Ilustración 68. Diagramas de flujo actuador distribución



Fuente: Propia del Autor

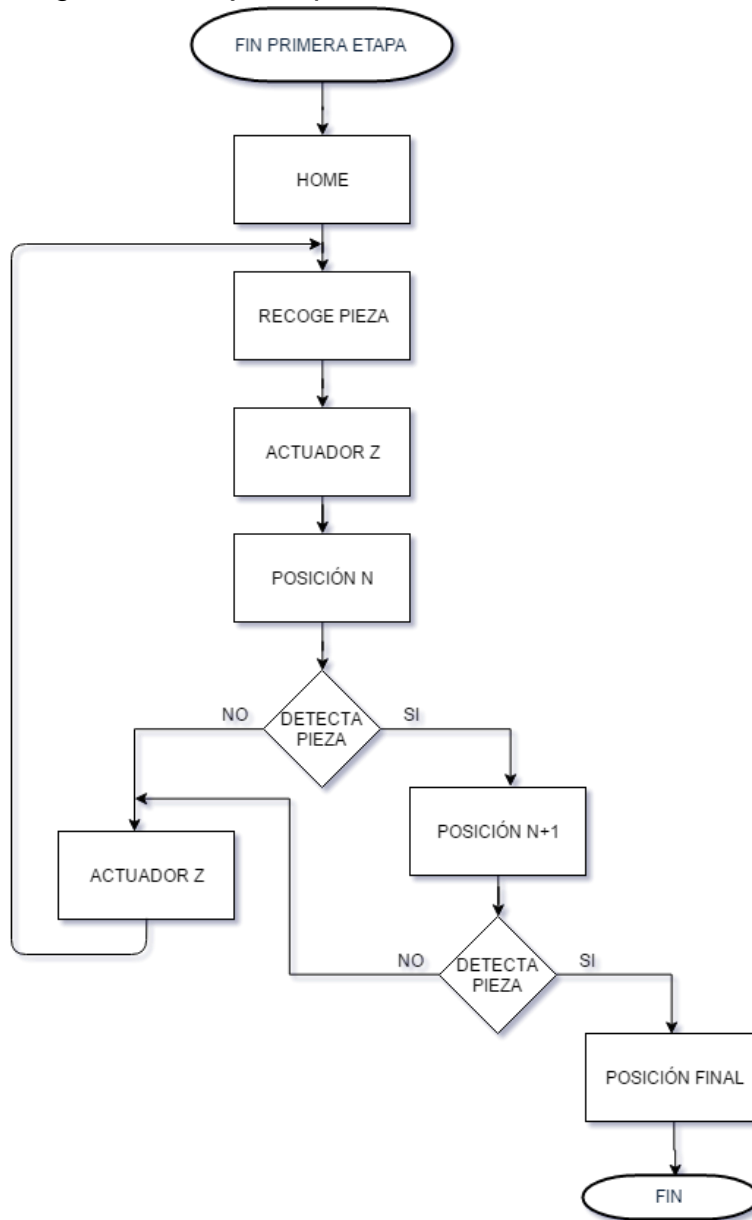
Ilustración 69. Diagramas de flujo de desactivar ventosa y tercer movimiento actuador rotativo



Fuente: Propia del Autor

La segunda etapa comprende todo el movimiento relacionado con los motores paso a paso, como lo son el recoger la pieza, preguntar se existe pieza en la posición del almacén, ubicarla en una posición del almacén y posteriormente almacenarla.

Ilustración 70. Diagrama de flujo Etapa 2



Fuente: Propia del Autor

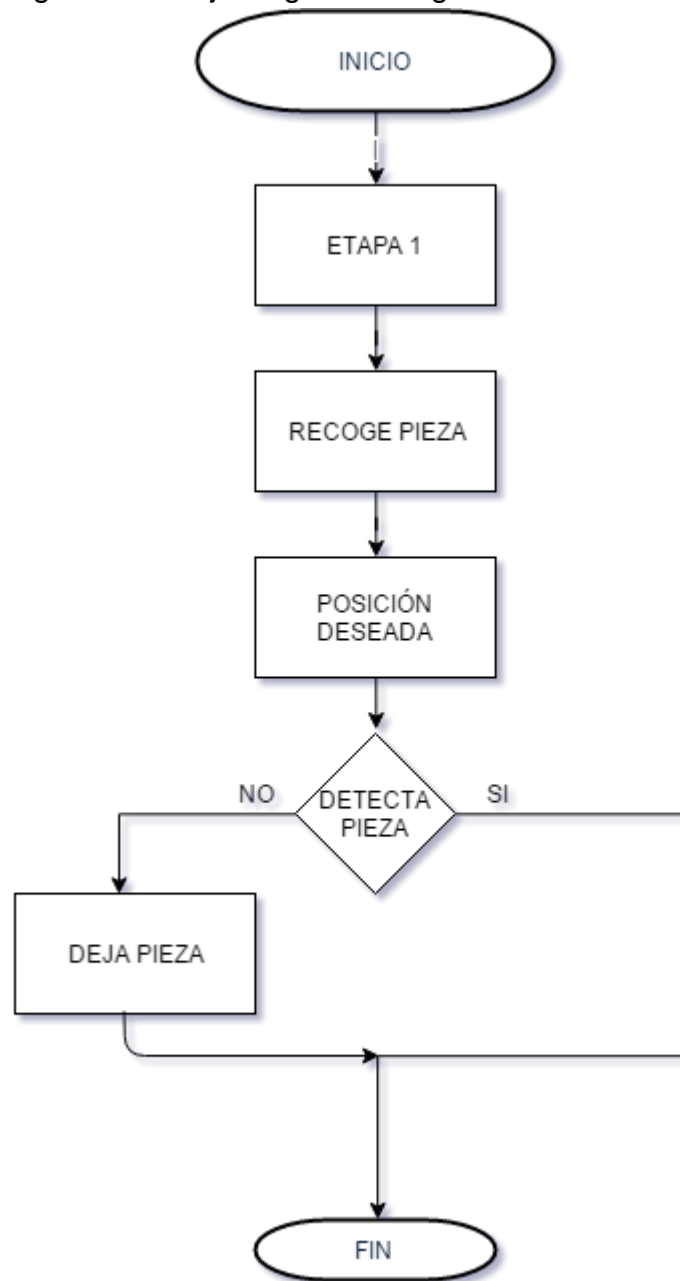
Cada uno de los procesos comprende lo siguiente:

- HOME: Se encarga de dar instrucciones a los controladores de los motores paso a paso en ir a la posición inicial de los ejes.
- Recoge Pieza: Se encarga de dar las instrucciones necesarias a los controladores de los motores para que se dirijan a la posición de distribución de bandejas.
- Actuador Z: Se encarga de dar la instrucción a la electro-válvula del actuador z con el fin de que el vástago salga y recoja la pieza.
- Posición N: Se encarga de dar instrucciones a los controladores de los motores paso a paso en ir a la posición inicial de la matriz de posicionamiento.
- Detecta Pieza: El sensor capacitivo ubicado en el eje Z se encarga de brindar la información necesaria al autómatas para que pueda continuar con la siguiente instrucción, si detecta pieza se encarga de dar instrucciones a los controladores de los motores paso a paso en ir a la siguiente posición de la matriz de posicionamiento, adicionalmente realiza de nuevo la confirmación presencia de pieza en la posición de la matriz, en caso de que detecte en todas las posiciones el proceso se da por terminado.

2.7.7.4 Programación estructurada. Se brinda como un valor agregado el otro tipo de programación con el fin de evidenciar la versatilidad y la optimización realizada en la máquina, en este tipo de programación se puede entrar a modificar el programa actual con una mayor interacción con el estudiante, se puede estimar este tipo de programación en la demostración de una de las prácticas de laboratorio determinadas.

Esta programación es creada con el fin de desarrollar una práctica en la que el estudiante cree un programa donde se ejecute la primera etapa y elija una posición única donde se almacenara la pieza.

Ilustración 71. Diagrama de flujo Segundo Programa

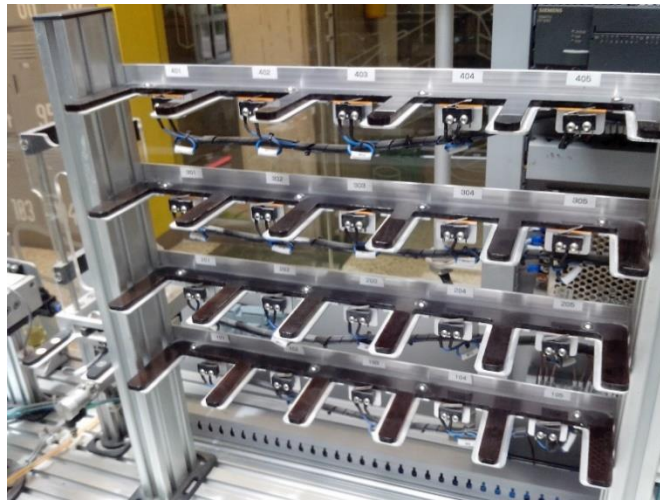


Fuente: Propia del Autor

2.7.8 Matriz de posiciones. Para un mejor entendimiento y una mayor fluidez en cuanto a la programación y posicionamiento de las piezas, es necesaria la implementación de una matriz de posiciones que explique y facilite las acciones

que va a tomar el PLC para mover los motores con un recorrido específico, para esto se debe entender como primera instancia que existen un total de 20 posiciones en el sistema de almacenamiento y una última posición en el sistema de distribución (ilustración 71).

Ilustración 72. Almacenamiento y Distribución



Fuente: Propia del autor

La primera instrucción de los motores después de la ubicación de home es ir a la posición de recoger pieza para llevarla a la primera posición del almacén en este caso llamado matriz de posicionamiento, entonces para entender mejor esta matriz se nombra en primer lugar los motores como M_x y M_y siendo cada uno; eje X y Y respectivamente y cada una de las posiciones del almacén.

Se debe tener en cuenta también que el eje Y debe recorrer 10 posiciones en total debido a que antes de poner la pieza en un lugar debe primero saber si existe presencia de pieza en dicho lugar o no y en caso de que no exista debe dejar la pieza en el lugar correspondiente, se nombra cada una de las posiciones con el bit correspondiente junto a la salida en el PLC (tabla 26 y 27) para una mayor organización y determinar el número de bits de las 10 posiciones se recurre al sistema digital 2^n .

Son 10 posiciones en total para el eje Y,
Entonces;

$$2^0 = 1, \quad 2^1 = 2, \quad 2^2 = 4, \quad 2^3 = 8, \quad 2^4 = 16$$

Se requieren un total de 4 bits para 10 posiciones

Tabla 20. Bits posiciones motor My

M1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Q0.0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Q0.1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
Q0.2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Q0.3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Fuente: Propia del autor

Tabla 21. Bits de posiciones motor Mx

M1	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Q0,6	1	0	1	0	1	0
Q0,7	0	1	1	0	0	1
Q1,0	0	0	0	1	1	1
Q1,1	0	0	0	0	0	0

Fuente: Propia del autor

Ahora teniendo los bits de cada posición y estando nombrada cada una es mucho más sencilla hacer el análisis de posicionamiento para el almacén.

Tabla 22. Tabla de posiciones P (Mx, My) del almacén

P3 2	P3 3	P3 4	P3 5	P3 6
P4 2	P4 3	P4 4	P4 5	P4 6
P5 2	P5 3	P5 4	P5 5	P5 6
P6 2	P6 3	P6 4	P6 5	P6 6
P7 2	P7 3	P7 4	P7 5	P7 6
P8 2	P8 3	P8 4	P8 5	P8 6
P9 2	P9 3	P9 4	P9 5	P9 6
P10 2	P10 3	P10 4	P10 5	P10 6

Fuente: Propia del autor

Se entiende por la tabla anterior que las posiciones que están marcadas en azul corresponden a la detección de presencia de pieza que hace el sensor capacitivo del eje Z para corroborar si existe pieza o no en dicha posición y los cuadros en blanco la posición donde los ejes se ubican para dejar la pieza en lugar deseado.

Ilustración 73. Posiciones en el almacén



Fuente: Propia del autor

Y finalmente para el sistema de distribución se hace el mismo procedimiento dando un total de seis posiciones para el eje X o motor Mx y un total de 10 posiciones para el eje Y.

Ilustración 74. Tabla de posiciones en sistema de distribución.

P21
P11

Fuente: Propia del autor

Donde el cuadro blanco corresponde a la posición de los motores X y Y, pasa a la posición azul para recoger la pieza, para así ir a la primera posición del almacén y empezar el recorrido en la matriz de posicionamiento.

2.8 SISTEMAS DE SEGURIDAD

Teniendo en cuenta que la mayoría del tiempo la estación mecatrónica será manipulada por estudiantes en proceso de aprendizaje, es necesario implementar

un sistema de seguridad que permita brindar la tranquilidad al momento de realizar las prácticas de laboratorio.

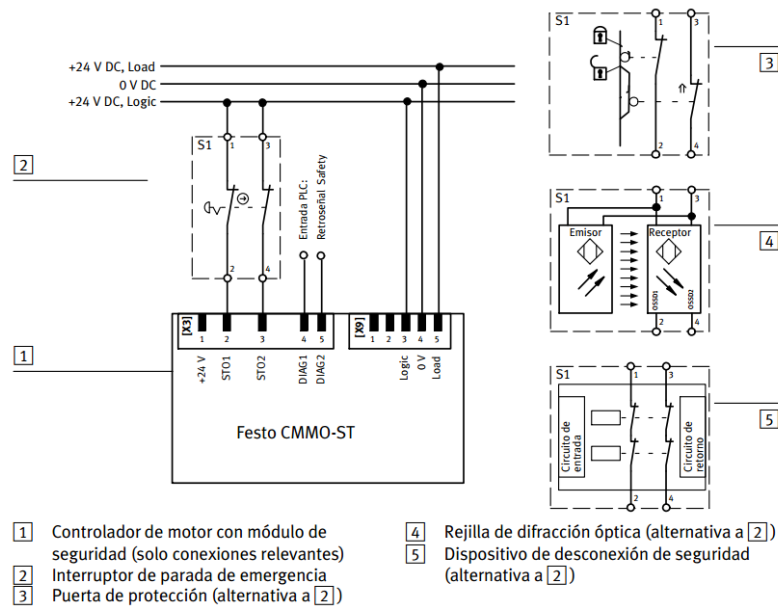
Lo primero que se describe es el sistema eléctrico de la máquina, debido a que pueden ocurrir cortos circuitos consecuentes de una mala manipulación o una sobrecarga de corriente, la estación ya cuenta con un interruptor termo-magnético o breaker que permite proteger el tablero de control en su totalidad, debido a esto se mantiene garantizando la seguridad de los elementos eléctricos.

2.8.1 Seguridad PLC. Uno de los elementos más importantes a tener en cuenta en la seguridad de la máquina es el PLC debido a su relevancia dentro del proceso, se decide optar por una protección eléctrica adicional, para ello se instala un fusible con capacidad de 3 Amperios y 250 Voltios dentro de un borne porta-fusible en serie a la alimentación de 110 Vac del PLC cumpliendo como función, independizar la protección contra cortos circuitos o sobre-voltajes dirigidas al controlador lógico programable, ya que este cuenta con una corriente nominal de entrada de 2A se determina que es el más óptimo para la protección.

2.8.2 Seguridad Motores. Debido a que los motores adquiridos cuentan con un controlador, estos se encargan de la seguridad interna de los motores, para ello aplica una función llamada STO¹⁶ la cual permite que los motores se desconecten de la alimentación desde el controlador a través de un interruptor (Ilustración 75), quien es el encargado de desconectar el voltaje de mando mientras el controlador revisa constantemente el estado de las entradas, en caso de encontrar inconsistencias en medio del proceso de ejecución de movimiento.

¹⁶ (Safe Torque Off) FESTO. (2017 de 01 de 26). *Manual controlador*. Obtenido de Manual GDCP-CMMO-ST-EA-S1-Z6: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/407214/CMMO-ST-EA-S1_2015-06c_8042169z6.pdf

Ilustración 75. Ejemplo circuito STO

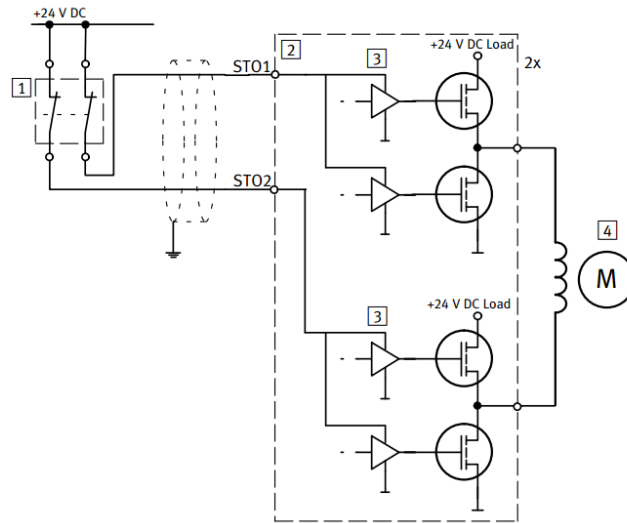


Fuente: FESTO Manual CMMO, Recuperado de:

https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/407214/CMMO-ST-EA-S1_2015-06c_8042169z6.pdf

Mientras los motores se encuentran en movimiento el sistema de frenado lo acciona a través de una señal de rampa hasta que por inercia se detiene totalmente el movimiento, mientras que el motor se encuentra sin movimiento el accionamiento no se encuentra activo (Ilustración 76), debido a esto se puede realizar movimientos a través de fuerzas externas; a excepción del motor ubicado en el eje Y, ya que este cuenta con un freno mecánico que impide el movimiento mediante fuerzas no ejercidas por los controladores, se determina que este motor debe tener incorporado dicho freno ya que la fuerza de gravedad en caso de alguna desconexión de corriente no permita el movimiento, garantizando la seguridad de la máquina y del estudiante operario.

Ilustración 76. Principio de Funcionamiento STO.



- | | | | |
|---|--|---|-------------------------------------|
| 1 | Circuito de entrada (p. ej. dispositivo de desconexión de seguridad) | 3 | Alimentación del excitador |
| 2 | Paso de salida de potencia en el CMMO-ST (solo se representa una fase) | 4 | Motor (solo se representa una fase) |

Fuente: FESTO Manual CMMO, Recuperado de:
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/407214/CMMO-ST-EA-S1_2015-06c_8042169z6.pdf

2.8.3 Seguridad operativa. Como consecuencia del rediseño de la estación es necesario implementar un paro de emergencia (Ilustración 77) que permita detener el proceso en caso de una mala ejecución de algún movimiento que ponga en riesgo la integridad del estudiante operario o de la máquina en sí.

Ilustración 77. Tablero de control con Paro de Emergencia



Fuente: Propia del autor

Ya que la estación anterior contaba con el interruptor de emergencia, pero sin funcionamiento a causa de la lógica de programación, se rediseña en el algoritmo de programación con el fin de que cumpla a cabalidad la función descrita previamente, adicionalmente se contará también con un sistema de alarma a través de una lámpara de emergencia (Ilustración 78) que advierte físicamente que es necesario realizar un reinicio total del proceso con el fin llevar a los dispositivos a regresar a su estado de posición inicial.

Ilustración 78. Lámpara de emergencia



Fuente: Propia del autor

3. RESULTADOS

Con base a lo establecido y al problema planteado principalmente, se desarrollaron básicamente tres puntos clave que permitieron la implementación de nueva tecnología a la estación mecatrónica y una mejora muy grande en cuanto a velocidad, seguridad, precisión y funcionamiento de la misma, a su vez este desarrollo brindará a la Universidad Piloto de Colombia una gran posibilidad de mejorar tecnológicamente y al mismo tiempo acercar a los estudiantes a la industria con el fin de crear mejores profesionales, ya que la idea principal de esta estación es que el estudiante sea capaz de reprogramarla y aprender sobre programación de PLC, uso de motores industriales y seguridad industrial y con esto entender el funcionamiento automático de un sistema de manera más efectiva y fácil con ayuda de un manual de instrucciones donde se ofrece toda la información necesaria sobre las pautas principales a tener en cuenta de la estación como planos eléctricos, neumáticos y mecánicos, configuración de controladores, motores, PLC y parámetros de seguridad, también se desarrolló una guía con una cronología donde se enseña al estudiante a través de ejercicios prácticos y teóricos el funcionamiento y programación de lo antes mencionado.

Como punto número uno la implementación de nueva tecnología dio como resultado una mejora excelente en cuanto a porcentaje de eficiencia de ejecución del sistema generalmente en el proceso de almacenamiento (tabla 29 y 30) dando una mejora significativa.

$$\%Re = \frac{Cantidad\ Real}{Canteidad\ Teórica} \times 100$$

Donde Re es La eficiencia o rendimiento

Tabla 23. Tabla de tiempos original

EJE	TIEMPO ANTERIOR (segundos)	TIEMPO ESTIMADO (segundos)	PORCENTAJE DE EFICIENCIA (%)
X	72,05	10	720,5
Y	56,1	10	561

Fuente: Propia del autor

Tabla 24. Tabla de tiempos actualmente

EJE	TIEMPO ANTERIOR (segundos)	TIEMPO ACTUAL (segundos)	PORCENTAJE DE EFICIENCIA (%)
X	72,05	3,65	1973,9
Y	56,1	3,65	1534,9

Fuente: Propia del autor

$$\% M = \left(1 - \frac{(\text{Tiempo actual})}{(\text{Tiempo anterior})} \right) \times 100$$

Donde M el porcentaje de mejora

$$\% M = \left(1 - \frac{3,65}{72,05} \right) \times 100$$

$$\% M = 94,93 \%$$

Con esto se concluye que el sistema se mejora un 94,93% con respecto al tiempo anterior de la estación y asimismo el rendimiento del proceso en un 640%, lo cual es una mejora significativa y cumple con los objetivos planeados en el proyecto.

Como segundo punto se toma en cuenta la instauración de un nuevo PLC que dio como resultado no solo la optimización del funcionamiento de la máquina, sino que se aprovechara al máximo las capacidades dejando abierta la posibilidad de integrar futuros proyectos con gran facilidad debido a la versatilidad que ofrece el controlador.

PLC actual

19 entradas - 22 salidas.

PLC antiguo:

52 entradas - 21 salidas.

Se tiene que la cantidad de entradas del PLC mejoró considerablemente con respecto al anterior, esto dio como resultado una reducción de módulos de expansión para el mismo.

Por otra parte, se tiene que la implementación de un único sensor en el eje Z minimizó en un porcentaje de hasta un 95% la cantidad de entradas y salidas del PLC y al mismo tiempo una mejora absoluta en cuanto a seguridad de la estación.

$$x = \left(\left(\frac{Si * 1}{Sa} \right) - |1| \right) * 100$$

Donde

X = Porcentaje optimizado

Si = Cantidad de sensores que se utilizan actualmente

Sa = Cantidad de sensores que tenía la estación en el sistema de almacenamiento

Si,

Si = 1

Sa = 21

Entonces:

$$x = \left(\left(\frac{1 * 1}{21} \right) - |1| \right) * 100$$

$x = 95.24\%$

Por última instancia la implementación de un sensor infrarrojo mejora el reconocimiento de pieza para la zona de alimentación y asimismo se disminuye el riesgo de problemas que podrían causar este problema con respecto al peso.

Tabla 25. Tabla Porcentaje de detección sensor antiguo según peso de la pieza

Peso de pieza (g)	DETECCIÓN
PIEZA DE 135 gr	19%
PIEZA DE 134 gr	19%
PIEZA DE 130 gr	0%
PIEZA DE 131 gr	44%
PIEZA DE 132 gr	0%
PIEZA DE 133 gr	31%
PIEZA DE 134 gr	6%
PIEZA DE 135 gr	25%
PIEZA DE 136 gr	31%
PIEZA DE 137 gr	69%
PIEZA DE 138 gr	31%
PIEZA DE 139 gr	69%
PIEZA DE 140 gr	6%
PIEZA DE 141 gr	0%
PIEZA DE 142 gr	0%
PIEZA DE 143 gr	81%

Fuente: Propia del autor

Tabla 26. Tabla Porcentaje de detección sensor implementado según peso de la pieza.

Peso de pieza (g)	DETECCIÓN
PIEZA DE 135 gr	100%
PIEZA DE 134 gr	100%
PIEZA DE 130 gr	100%
PIEZA DE 131 gr	100%
PIEZA DE 132 gr	100%
PIEZA DE 133 gr	100%
PIEZA DE 134 gr	100%
PIEZA DE 135 gr	100%
PIEZA DE 136 gr	100%
PIEZA DE 137 gr	100%
PIEZA DE 138 gr	100%
PIEZA DE 139 gr	100%
PIEZA DE 140 gr	100%
PIEZA DE 141 gr	100%
PIEZA DE 142 gr	100%
PIEZA DE 143 gr	100%

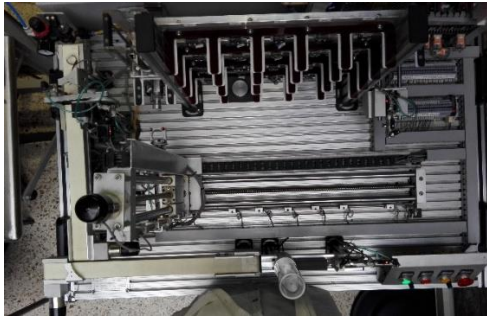
Fuente: Propia del autor

Porcentaje promedio de detección sensor antiguo 26,93%

Porcentaje de detección sensor implementado 100%

Se obtiene una mejora de hasta 73% por ciento con respecto al sensor anterior, lo cual representa una seguridad optima para el proceso de la máquina y disminuye fallos.

Ilustración 79. Estación mecatrónica antes.



Fuente: Propia del autor

Ilustración 80. Estación mecatrónica ahora.



Fuente: Propia del autor

4. CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto se identificó que mediante la caracterización de la estación mecatrónica y el desglosamiento se pudo determinar el funcionamiento de cada una de las partes que componen el sistema, adicionalmente se logró identificar las fallencias con mayor criticidad a los cuales se pudo encontrar la solución teórica y práctica.

Mediante la investigación de diferentes dispositivos se logró adaptar dentro de la máquina unos mecanismos suficientemente eficientes que permitieron el correcto funcionamiento, hasta tal punto de corregir todas las inconsistencias y mejorar significativamente la precisión de la máquina y el tiempo de ejecución del proceso, adicionalmente los dispositivos adquiridos tienen la versatilidad de cambiar factores como velocidad, aceleración, fuerza, etc., que permiten dejar abierta la posibilidad optimizar aún más el sistema de la estación y adicionalmente el de trabajar en futuros proyectos.

Al rediseñar el sistema de posicionamiento y almacenamiento se obtuvieron los resultados satisfactorios ya que con esto se pudo eliminar cualquier tipo de error en la máquina en caso de una mala manipulación por parte de los estudiantes, el sensado se cambió de tal manera que se redujeron significativamente la cantidad de entradas al PLC y los posibles errores ya que al hacer continuamente un barrido de la máquina determina si es posible el almacenamiento en la matriz de posiciones definida y no de manera secuencial como se encontraba anteriormente.

Se observó que mediante la implementación del esquema eléctrico se puede establecer un orden y facilita la ubicación de cada uno de los cables de comunicación debidamente marquillados, en caso de algún ajuste o modificación.

Implementando y describiendo el sistema integrado de seguridad para la prevención de fallas, se identificó que la estación es lo suficientemente segura para los ejercicios de laboratorio que realizarán los estudiantes garantizando así su integridad y seguridad, adicionalmente previene las fallas internas de los dispositivos dando una vida útil mayor a la máquina.

Mediante un segundo algoritmo de programación de muestra se evidencia que la interactividad y versatilidad de la estación con el estudiante permite un aprendizaje práctico que entornará sus conocimientos hacia la automatización industrial, debido a que los equipos instalados son semejantes a los utilizados por las compañías actualmente.

Se diseñó un manual de operación con el fin de brindar y dar a conocer los aspectos fundamentales de la estación mecatrónica, para comprender el funcionamiento mediante una guía breve y concisa, con el fin de que las instrucciones dadas dentro del manual permitan manipular la máquina correctamente teniendo en cuenta las recomendaciones de seguridad y operativas.

5. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la evolución que se ha llevado a través de todo el proceso se espera que el proyecto siga aportando oportunidades de aprendizaje al estudiante y al mismo tiempo siga creciendo tecnológicamente junto con elementos que se puedan implementar a futuro para sacar el máximo rendimiento exprimiendo al máximo el potencial de la estación, esto quiere decir, que aparte de la evolución del proyecto sea crear o agregar nuevas herramientas que permitan integrar nuevos conocimientos e implementar ideas innovadoras con el fin de brindar un sistema mucho más completo y tecnológico.

Partiendo de la idea principal del proyecto como la implementación de una estación mecatrónica que ayude al estudiante a mejorar sus conocimientos de programación acercándolo a la industria, se espera que las guías y el manual desarrollados sirvan como una herramienta y un incentivo para ayudar al estudiante a tener una idea mucho más clara de la manera más sencilla sobre programación de PLC y motores industriales y con esto contribuir al desarrollo ingenieril de la universidad.

El estudiante antes de manipular la estación debe leer las guías y manuales de operación de la máquina para familiarizarse a los diferentes dispositivos que componen la estación con los cuales va a interactuar para generar una mayor seguridad al operar de la estación y un mayor entendimiento del proceso que debe llevar a cabo a la hora de reprogramar.

Se plantea como meta a corto plazo la implementación de una pantalla táctil y un sistema SCADA para el desarrollo tecnológico de la estación y así brindar una mejor interacción máquina-estudiante con el fin de facilitar la operación y manipulación de la misma.

ANEXOS

ANEXO 1. Costos



PROPUESTA ECONÓMICA DETALLADA:
E3605CM52U1-76

Descripción	Referencia	Imágenes	Código	Unidad	Precio
Cilindro Eje Z	DRM-12-100-P-A-KF		170906	1	\$ 1.727.161,00
Sensores eje z	SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D		543861	2	\$ 119.697,00
Cables eje z	NEBU-M8G3-P-10-LE3		339052	1	\$ 90.273,00
Conjunto Eje Y	ELGR-T8-45-500-0H-5T-ES-AT-FR-1E-C3D10P		560506	1	\$ 6.866.057,00
Controlador eje X	CMMO-ST-CS-1-D10P		1512316	1	\$ 1.478.919,00
Motor Eje X	EMMS-ST-87-M-SEB-62		1370489	1	\$ 2.737.430,00
Acoples Eje X	EAMM-A-L18-S7A		560680	1	\$ 537.511,00
Eje X	BGC-70-500-T8-ET-0H-GK		3012094	1	\$ 6.171.477,00
Cable Encoder	NEBM-WL2W8-E-10-LEB		1451678	1	\$ 698.366,00
Cable Motor	NEBM-S1W15-E-10-Q7-LE6		1450967	1	\$ 726.428,00
Fuente de Alimentación	CACH-34-1-10		2247482	1	\$ 872.052,00

Fuente: FESTO

ANEXO 2. Características motores

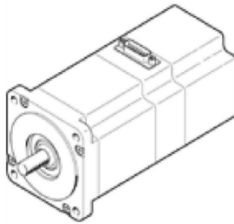
motor paso a paso EMMS-ST-87-M-SB-G2

Número de artículo: 1370488

☆ Gama básica

sin engranaje, con freno.

FESTO



Hoja de datos

Característica	Propiedades
Ángulo de paso a paso completo	1,8 deg
Tolerancia del ángulo de paso a paso	±5%
Cantidad máxima de giros en función del tiempo	550 1/min
Tensión de funcionamiento DC del freno	24 V
Clase de protección por aislamiento	B
Consumo del freno	11 W
Tensión nominal de funcionamiento DC	48 V
Corriente nominal del motor	9,5 A
Resistencia de la bobina, fase	0,23 Ohm
Inducción de la bobina, fase	2,6 mH
Constante de tensión, fase	68,6 mVmin
Clase de medición según la norma EN 60034-1	S1
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre EMC
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1 - riesgo de corrosión bajo
Temperatura de almacenamiento	-20 ... 70 °C
Humedad relativa del aire	0 - 85 %
Tipo de protección	IP54
Temperatura ambiente	-10 ... 50 °C
Clase térmica según la norma EN 60034-1	B
Homologación	RCM Mark c UL us - Recognized (OL)
Momento de inercia de la masa global en la toma de fuerza	1,97 kgcm ²
Momento de retención del freno	2 Nm
Momento de retención del motor	5,9 Nm
Momento de inercia de la masa del freno	0,07 kgcm ²
Momento de inercia de la masa del rotor	1,9 kgcm ²
Esfuerzo axial admisible del eje	65 N
Esfuerzo radial admisible del eje	200 N
Peso del producto	3.450 g
Técnica de conexiones eléctricas	Conector
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Corresponde a la norma	IEC 60034

Fuente: FESTO

ANEXO 3. Características Eje X

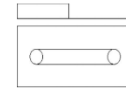
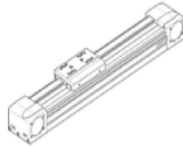
eje accionado por correa dentada EGC-70-600-TB-KF-0H-GK

Número de artículo: 3012495

★ Gama básica

Con guía de rodamiento de bolas

FESTO



Hoja de datos

Característica	Propiedades
Diámetro efectivo del piñón	24,83 mm
Carrera útil	600 mm
Tamaño	70
Reserva de carrera	0 mm
Dilatación de la correa dentada	0,08 %
División de la correa dentada	3 mm
Posición de montaje	indistinto
Guía	guía con rodamiento de bolas
Construcción	Eje lineal electromecánico con correa dentada
Tipo de motor	motor paso a paso Servomotor
Aceleración máxima	50 m/s ²
Velocidad máxima	5 m/s
Precisión de repetición	±0,08 mm
Factor de utilización	100%
Tipo de protección	IP40
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Momento de superficie de 2º grado lx	395E+03 mm ⁴
Momento de superficie de 2º grado ly	577E+03 mm ⁴
Fuerza Fy máxima	1.850 N
Fuerza Fz máxima	1.850 N
Máx. resistencia de desplazamiento sin carga	14,5 N
Momento Mx máximo	16 Nm
Máx. fuerza de avance Fx	100 N
Momento de inercia de torsión It	240.000 mm ⁴
Momento de inercia de la masa JH por metro de carrera	0,11 kgcm ²
Momento de inercia de la masa JL por kg de carga útil	1,54 kgcm ²
Constante de avance	78 mm/U
información sobre material culata	Aleación forjable de aluminio anodizado
información sobre material perfil	Aleación forjable de aluminio anodizado
Indicación sobre el material	contiene sustancias perjudiciales para la pintura Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa del actuador	Aleación forjable de aluminio anodizado
Información sobre el material del carro guía	Acero
Información sobre material perfil de guía	Acero
Información sobre el material de los discos de las correas	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material del carro	Aleación forjable de aluminio anodizado
Información sobre material cuerpo de fijación de la correa dentada	niquelado
Información sobre el material de la correa dentada	Policloropreno con fibra de vidrio y recubrimiento de nilón

Fuente: FESTO

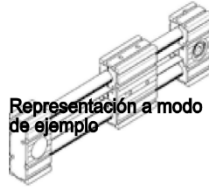
ANEXO 4. Características Eje Y

eje accionado por correa dentada

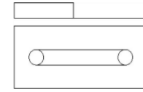
ELGR-TB-...-45- -

Número de artículo: 560506

FESTO



Representación a modo de ejemplo



Hoja de datos

Ficha de datos técnicos completa: los valores parciales dependen de su configuración.

Característica	Propiedades
Diámetro efectivo del piñón	24,83 mm
Carrera útil	50 ... 1.000 mm
Tamaño	45
Dilatación de la correa dentada	0,08 %
División de la correa dentada	3 mm
Posición de montaje	indistinto
Guía	Guía deslizante guía con rodamiento de bolas
Construcción	Eje lineal electromecánico con correa dentada
Tipo de motor	motor paso a paso Servomotor
Aceleración máxima	50 m/s ²
Velocidad máxima	1 ... 3 m/s
Precisión de repetición	±0,1 mm
Factor de utilización	100%
Tipo de protección	IP20
Temperatura ambiente	-10 ... 50 °C
Momento de superficie de 2º grado ly	15,7E+03 mm ⁴
Momento de superficie de 2º grado lz	808E+03 mm ⁴
Momento de impulsión máximo	1,24 Nm
Fuerza Fy máxima	100 N
Fuerza Fz máxima	100 N
Máx. resistencia de desplazamiento sin carga	16,1 N
Máx. fuerza de avance Fx	100 N
Par motor sin carga	0,2 Nm
Momento de inercia de la masa JH por metro de carrera	0,11 kgcm ²
Momento de inercia de la masa JL por kg de carga útil	1,54 kgcm ²
Constante de avance	78 mm/U
Valor de referenica de movimientos	5.000 km
Peso adicional por 10 mm de carrera	50 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	0,69 g
información sobre material perfil	Aleación forjable de aluminio anodizado
Indicación sobre el material	contiene sustancias perjudiciales para la pintura Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa del actuador	Aleación forjable de aluminio anodizado
Información sobre el material de los discos de las correas	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material del carro	Aleación forjable de aluminio anodizado
Información sobre material cuerpo de fijación de la correa dentada	Bronce al berilio
Información sobre el material de la correa dentada	Policloropreno con fibra de vidrio y recubrimiento de nilón

Fuente: FESTO

ANEXO 4. Características Controlador

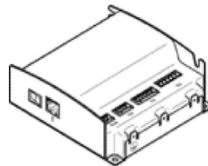
controlador del motor CMMO-ST-C5-1-DIOP

Número de artículo: 1512316

★ Gama básica

[Sirve como regulación de movimiento y de posición.](#)

FESTO



Hoja de datos

Característica	Propiedades
Modo de funcionamiento del controlador	etapa final de potencia PWM-MOSFET Regulador en cascada con Regulador de posiciones P Regulador de velocidad PI Regulador proporcional e integral de corriente
Modo de funcionamiento	Micropaso, >4000 pasos/giro
Reducción de corriente ajustable	mediante software
Indicador de posición	Encoder
Filtro de red	integrado
Ajuste por pasos	mediante software
Función de protección	Control Pt control de temperatura control de corriente detección de interrupción de la tensión control de error de persecución detección de posición final por software
Transmisor de la posición del rotor	Encoder
Función de seguridad	Momento desconectado seguro (STO)
Safety Integrity Level (SIL)	Par seguro desconectado (STO) / SIL 3
Performance Level (PL)	Safe Torque off (par seguro desconectado) / categoría 3, nivel de prestaciones requerido d
Display	Indicación de siete segmentos
Ajuste de intensidad nominal	mediante software
Resistencia de frenado	15 Ohm
Características de la salida lógica digital	configuración parcialmente libre sin separación galvánica
Potencia de impulso de la resistencia de frenado	0,1 kVA
Intensidad máxima, salidas lógicas digitales	100 mA
Tensión máxima del circuito intermedio, DC	28 V
Corriente de salida nominal	5,7 A
Tensión nominal DC, alimentación a la lógica	24 V
Tensión nominal alimentación de carga DC	24 V
Corriente nominal alimentación de carga	6 A
Corriente nominal alimentación de la lógica	0,3 A
Interfaz de configuración de parámetros	Ethernet
Ethernet, protocolos compatibles	TCP/IP
Corriente máxima, alimentación de carga	8 A
Margen permisible, tensión de la lógica	± 15 %
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre EMC según la normativa UE sobre maquinaria
Temperatura de almacenamiento	-25 ... 75 °C
Humedad relativa del aire	0 - 90 % sin condensación
Tipo de protección	IP40

Fuente: FESTO

Característica	Propiedades
Temperatura ambiente	0 ... 50 °C
Temperatura ambiente UL	0 ... 40 °C
Homologación	C-Tick c UL us - Listed (OL)
Peso del producto	290 g
Número de salidas lógicas digitales a 24 V DC	11
Número de entradas lógicas digitales	11
Interfaz del proceso	Acoplamiento E/S para 32 ciclos de movimientos
Especificación entrada lógica	Según IEC 61131-2
Margen de trabajo de las entradas lógicas	24 V
Entrada interfaz encoder, características	RS422
Características de la entrada lógica	Conectado galvánicamente con potencial de lógica
Lógica del circuito de entrada	PNP (conexión a positivo)
Lógica de conmutación de las salidas	PNP (conexión a positivo)
Tipo de fijación	En la placa base Fijado con tornillos con perfil DIN
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS

Fuente: FESTO

REFERENCIAS

Aguirre, José Alejandro Ocampo Aguirre y Luis Hernando Pulgarin. 2013. *Diseño y construcción de una estación didáctica para control de caudal y nivel.* Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2013.

Anónimo. 2010. Wikipedia. [En línea] 24 de May de 2010. [Citado el: 20 de Sep de 2015.] https://es.wikipedia.org/wiki/Revolución_Industrial.

Arias, Harold Villalobos. 2008. *Control y monitoreo de una Estación de Distribución MPS.* Cartago : Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Electrónica, 2008. Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura.

Balarta, José Luis Valentín. 2012. *Automatismos Industriales.* San Sebastián (España) : Donostiarra S.A, 2012. 978-84-7063-463-5.

Bellmunt, Oriol Gomis i. 2007. *Design, Modeling, Identification.* Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.

Cardena, Vicente Fransisco Perez. 2008. *Sistema Mecatrónico para ensamble de piezas.* Mexico DF : Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, 2008.

Dolang. 2014. Dolang Technology Equipment CO., LTD. [En línea] Worldidac Basel, 29 de Oct de 2014. [Citado el: 20 de septiembre de 2015.] <http://www.didactic-dolang.com>. F165.

Dorin Sendrescu, Monica Roman, Dan Selisteanu. 2005. *Interactive Teaching System for Simulation and Control of Electropneumatic and Electrohydraulic.* Romania : Department of Automatic Control, University of Craiova, 2005.

Drury, Bill. 2001. *The control techniques drives and control handbook.* Londrés : IEE power and energy series, the institution of electrical engineers, 2001. 0852967934.

Ferdinard P. Beer, E. Russell Jhonston, Jr., John T. DeWolf, David F. Mazurek. 1981. *Mecanica de materiales.* Obregon : Mc Graw Hill, 1981. 9786071502636.

Frigola, Joaquim Meléndez i. 2001. *Integration of knowledge-based, qualitative and numeric tools for real time dynamic systems supervision.* Girona : Universitat de Girona, 2001.

Gudiño-Lau Jorge, Ramírez-Chora Ricardo, Ríos-Cortez Felipe y Raúl Martínez Venegas. 2011. *Reingeniería Aplicada a una Estación Compacta de Procesos (ECP)*. Puerto Vallarta, : Universidad de Colima, 2011. 10º Congreso Nacional de Mecatrónica.

Guijarro, Guido Dawwin Vilema. 2011. *Propuesta metodológica para la programación de PLC en GRAFCET para las competencias de mecatrónica word skill, caso práctico laboratorio de mecatrónica EIS*. Riobamba : Esucela Superior Politécnica de Chimborazo, 2011.

Ibarz, Marta Alberti. 2010. *Contribución al desarrollo del proceso de selección de centros de mecanizado de alta velocidad, basado en parámetros tecnológicos y de productividad*. Cataluna, España : Univeristat de Girona, 2010. Proyectos de innovación tecnológica en ingeniería de producto y proceso.

Jay Heizer, Barry Render. 2004. *Principios de Administración de Operaciones*. Monterrey : Pearson Educación, 2004.

Joan Domingo Peña, Juan Gámiz Caro, Antoni Grau i Saldes, Herminio Martínez García. 2003. *Introducción a los autómatas programables*. Aragón : Editorial UOC, 2003. 182-08011.

Josep Balcells, José Luis Romeral. 1997. *Autómatas programables*. Barcelona : Marcombo boixareu editores, 1997. 84-267-1089-1.

Juan Carlos Martin Castillo, Maria Pilar Garcia Garcia. 2009. *Automatismos industriales*. Madrid : Editex, 2009.

Leiva, Luis Flower. *Controles y Automatismos electricos*.

López, Juan Carlos Henao. 2008. *AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA DE VERIFICACION PRÜFEN*. Risaralda : SENA, 2008. Entre Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367.

Rodríguez González Julio, Santiago Cruz Samuel, Mercado Aguilar Eduardo, Ramírez. 2009. *Prototipo Didáctico de un Proceso para la Enseñanza de la Mecatrónica*. Veracruz : Universidad Tecnológica de Huejotzingo, 2009. 8º Congreso Nacional de Mecatrónica.

St-Denis, Daniel Côté and Richard. 2013. *Component-Based Method for the Modeling and Control of Modular Production Systems*. s.l. : IEEE, 2013. TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 21, NO. 5.

Universidad de Valladolid. 2011. *Apuntes para una breve introducción a la resistencia de materiales y temas relacionados.* Valladolid : Escuela de ingenierías industriales, 2011.

Viloria, José Roldán. 2005. *Motores eléctricos: accionamiento de máquinas. 30 tipos de motores.* Madrid : S.A. EDICIONES PARANINFO, 2005. 9788428329019.

Zúñiga, Carlos Washington Logroño y William Oswaldo. 2012. *Realización de un sistema SCADA utilizando LabView y Pizarra Digital para el laboratorio de mecatrónica.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.

Casillas, A. L. 1981. *Máquinas Cálculos de Taller.* s.l. : Casillas, A. L., 1981. 9788440072160.

Devore, Jay L. 2008. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* Mexico DF : CENGAGE Learning, 2008. 970-686-381-3.

Dolang Technology Equipment Co., Ltd. DL-ASRS-A Advanced ASRS Trainer. China. Máquina didáctica.

FESTO. Controlador de motor CMMO-ST. [En línea] [Citado el: 10 de 05 de 2016.] https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/EMMS-ST_ES.PDF.

—. Ejes accionados por correa dentada EGC-TB-KF, con guía de rodamiento de bolas. [En línea] [Citado el: 18 de 5 de 2016.] https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/EGC-TB_ES.PDF.

—. Motores paso a paso EMMS-ST. [En línea] [Citado el: 29 de 04 de 2016.] https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/EMMS-ST_ES.PDF.

—. Manual GDGP-CMMO-ST-EA-S1-Z6: [En línea] [Citado el: 27 de 01 de 2017.] https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/407214/CMMO-ST-EA-S1_2015-06c_8042169z6.pdf

Nisbett, Richard G. Budynas y J. Keith. 2008. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* Mexico DF : Mc Graw Hill Interamericana, 2008. 970-10-6404-6.

SIEMENS. Guía de transición del S7-200 al S7-1200. [En línea] [Citado el: 9 de 10 de 2016.] <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20-%20Transicion%20S7200%20a%20S71200.pdf>.

—. Manual del sistema de Automatización S7-1200. . [En línea] [Citado el: 25 de 08 de 2016.] <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf>.

SIEMENS. SIMATIC S7-1200. [En línea] [Citado el: 5 de 11 de 2016.] https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf.

o