

**DISEÑO Y MONTAJE DE UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA  
LA CLASIFICACIÓN DE MATERIALES RECICLABLES CON FINES  
DIDÁCTICOS EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**

**ARMIN JOSÉ GUERRA SUÁREZ  
CARLOS JAVIER SIERRA HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2021**

**DISEÑO Y MONTAJE DE UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA  
LA CLASIFICACIÓN DE MATERIALES RECICLABLES CON FINES  
DIDÁCTICOS EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**

**ARMIN JOSÉ GUERRA SUÁREZ  
CARLOS JAVIER SIERRA HERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:  
ING. CARLOS DÍAZ SÁENZ, MSc.  
ING. JEAN PIERRE COLL, MSc.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este triunfo a mis padres, agradecerles por su voto de confianza depositado en mí y por su constante apoyo a lo largo de la carrera. A mis guías de la universidad autónoma del caribe quienes proporcionaron los conocimientos a mi vida y carrera que hoy hacen esto posible y a todas las personas que me acompañaron en este proceso extendiendo una mano amiga que me permitieron alcanzar satisfactoriamente mi meta.

Armin José Guerra Suárez

Esta tesis se la dedico primeramente a Dios y luego a toda mi familia, Mi Padre Javier Sierra, mi Madre Yasmin Hernández, mis Abuelos y mis tíos por ayudarme de todas las maneras existentes a ser un mejor ser humano y darme su apoyo a lo largo de mis estudios. A cada una de las personas que he conocido en el transcurso de mi vida, Profesores, amigos, vecinos, los cuales han contribuido positivamente ayudándome a mejorar y fortalecer mis valores como ser humano. Gracias a todos.

Carlos Javier Sierra Hernández

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	16
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
2.1	ANTECEDENTES.....	18
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
2.3	JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	22
2.3.1	Importancia general.....	22
3	OBJETIVOS.....	23
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4	MARCO DE REFERENCIA.....	24
4.1	ESTADO DEL ARTE.....	24
4.2	MARCO TEÓRICO.....	31
4.2.1	Sistemas flexibles de manufactura.....	31
4.2.2	Controlador lógico programable (PLC).....	31
4.2.3	Fuente de poder SIMATIC S7-1200 PM1207.....	33
4.2.4	Modulo extensión SM 1223 AC/RLY.....	33
4.2.5	Motor paso a paso.....	34
4.2.6	Actuador lineal.....	35
4.2.7	SENSORES INDUSTRIALES.....	35
4.2.8	Sensor inductivo.....	36
4.2.9	Sensor inductivo NPN referencia SN04-N.....	37
4.2.10	Sensor capacitivo.....	37
4.2.11	Sensor Magnético modelo RCI-4C.....	38
4.2.12	Actuadores neumáticos.....	38

4.2.13	Cilindro neumático.....	39
4.2.14	Cilindro Neumático compacto Referencia MCJI2580 .....	40
4.2.15	Ventosa Referencia OV10115 en NBR .....	40
4.2.16	Válvula Solenoide Referencia DPD01012.....	41
4.2.17	Eyector de vacío con silenciador.....	41
4.2.18	Controlador Driver TB6600.....	42
4.2.19	Manguera para uso Neumático .....	42
4.2.20	Relé OMRON G2RV-SL700.....	43
4.2.21	Unidad de mantenimiento referencia UM1021 .....	43
4.2.22	Electroválvula .....	44
4.2.23	Racores y silenciador cónico.....	44
4.2.24	Breaker.....	45
4.2.25	Selector 3 posiciones .....	46
4.2.26	Pulsador STECK .....	46
4.2.27	Pulsador de emergencia.....	47
4.2.28	Mesa Móvil .....	47
4.2.29	Lenguaje de programación.....	48
4.2.30	Tipos de lenguaje de programación .....	48
4.2.31	Sistemas didácticos modulares .....	49
4.3	MARCO CONCEPTUAL .....	51
5	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	53
5.1	METODOLOGÍA .....	54
5.2	SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y NEUMÁTICOS.....	54
5.2.1	Actuador eléctrico y neumático.....	54
5.2.2	Detección de final de carrera y detección de objetos .....	55

5.2.3	Controladores de la celda.....	57
5.2.4	Alimentación eléctrica del dispositivo .....	59
5.2.5	Sistema de alimentación neumática .....	60
5.2.6	Criterios de diseño.....	63
5.2.7	Software .....	64
5.2.8	Diseño eléctrico .....	68
5.3	TIPO DE ESTUDIO .....	70
5.4	CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO .....	71
6	PRESUPUESTO.....	72
6.1	PRESUPUESTO GENERAL .....	72
6.2	PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO .....	73
6.3	CONSULTORIA ESPECIALIZADA .....	74
6.4	MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS .....	74
7	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
7.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	76
7.2	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL .....	78
7.3	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	78
7.3.1	Muestra poblacional.....	78
7.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	79
7.4.1	Análisis de las pruebas realizadas por el prototipo.....	79
7.4.2	Primera prueba prototipo .....	80
7.4.3	Segunda prueba prototipo .....	81
7.4.4	Análisis de las pruebas realizadas por el dispositivo final .....	84
7.4.5	Prueba final modo Automático.....	86
7.4.6	Prueba final modo manual.....	88

8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
9	BIBLIOGRAFÍA.....	95
10	ANEXOS .....	101



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Controladores lógicos programables [29].....	32
Figura 2. Controlador lógico programable (propia autoría).....	33
Figura 3. Fuente de alimentación para PLC. Tomado de <a href="http://www.automation24.com">www.automation24.com</a> . .....	33
Figura 4. Modulo extensión S7-1200 (propia autoría). ....	34
Figura 5. Motor paso a paso [30].....	34
Figura 6. Actuador lineal [31].....	35
Figura 7. Transductor [32]. ....	36
Figura 8. Sensor inductivo [33].....	36
Figura 9. Sensor Inductivo NPN. Tomado de <a href="http://www.didacticaselectronicas.com">www.didacticaselectronicas.com</a> ....	37
Figura 10. Sensor capacitivo [34]. ....	38
Figura 11. Sensor magnético. Tomado de <a href="http://www.mindman.com">www.mindman.com</a> . ....	38
Figura 12. Cilindro Neumático [36]. ....	39
Figura 13. Cilindro doble efecto [37].....	39
Figura 14. Cilindro neumático compacto. Tomado de <a href="http://www.mindman.com">www.mindman.com</a> . ....	40
Figura 15. Ventosa en goma de nitrilo Butadieno ó NBR (propia autoría).....	40
Figura 16. Válvula solenoide. Tomado de <a href="http://www.airmatic-art.com">www.airmatic-art.com</a> .....	41
Figura 17. Eyector de vacío con silenciador. Tomado de <a href="http://www.airmatic-art.com">www.airmatic-art.com</a> . .	41
Figura 18. Controlador motor paso a paso. (propia autoría). ....	42
Figura 19. Manguera para uso neumático. (Propia autoría).....	42
Figura 20. Relé Omron. (Propia autoría). ....	43
Figura 21. Unidad de mantenimiento. Tomado de <a href="http://www.airmatic-art.com">www.airmatic-art.com</a> . ....	43
Figura 22. Electroválvula 24VDc. (propia autoría).....	44
Figura 23. Racores y Silenciador cónico en Bronce. (propia autoría). ....	45
Figura 24. Breaker CHINT. (propia autoría). ....	45
Figura 25. Selector STECK. (propia autoría).....	46
Figura 26. Pulsador Verde STECK. (propia autoría). ....	46
Figura 27. Pulsador emergencia STECK. (propia autoría). ....	47
Figura 28. Mesa móvil. (propia autoría).....	47

Figura 29. Estación sistema producción modular [39].	50
Figura 30. Celda combinada con varias estaciones [40].	50
Figura 31. Procedimiento metodológico (Fuente propia).	53
Figura 32. Cilindro neumático con ventosa (Fuente propia).	55
Figura 33. Sensor réflex npn. Tomado de <a href="http://www.mercadolibre.com.co">www.mercadolibre.com.co</a> .	56
Figura 34. Sensor inductivo de posición home. (Fuente propia).	57
Figura 35. Interruptores finales de carrera. (Fuente propia).	57
Figura 36. Conexión entradas y salidas driver TB6600. (Fuente propia).	58
Figura 37. Botonera para control manual. (Fuente propia).	59
Figura 38. Fuente PM1207, PLC, Modulo SM1223. (Fuente propia).	59
Figura 39. Relés, Borneras y Breaker. (Fuente propia).	60
Figura 40. Unidad de mantenimiento. (Fuente propia).	61
Figura 41. Conexiones principales sistema neumático. (Fuente propia).	62
Figura 42. Vetosa conectada al cilindro. (Fuente propia).	62
Figura 43. Prototipo mesa, prototipo mesa móvil. (Fuente propia).	63
Figura 44. Ensamble mesa móvil. (Fuente propia).	63
Figura 45. Herramienta calibración del motor. (Fuente propia).	64
Figura 46. Segmentos principales código fuente. (Fuente propia).	65
Figura 47. Etiquetas de segmentos de programación modo manual. (Fuente propia).	66
Figura 48. Etiquetas de segmentos de programación modo manual. (Fuente propia).	67
Figura 49. Plano eléctrico circuito de potencia. (Fuente propia).	68
Figura 50. Plano eléctrico circuito Driver controlador motor. (Fuente propia).	69
Figura 51. Plano eléctrico conexión PLC. (Fuente propia).	69
Figura 52. Diseño celda de manufactura flexible, vista Isométrica (propia autoría).	76
Figura 53. Diseño celda de manufactura flexible, Vista frontal (propia autoría).	77
Figura 54. Diseño celda de manufactura flexible, vista superior (propia autoría).	77
Figura 55. Celda de manufactura flexible, vista superior. (Fuente propia).	78
Figura 56. Prueba y calibración del motor. (propia autoría).	80

Figura 57. Prueba de sensor inductivo para detección material metálico. (propia autoría).....	81
Figura 58. Prueba de sensor réflex para detección material empack. (propia autoría). .....	82
Figura 59. Prueba de sensor réflex para pieza de polipropileno. (propia autoría).	82
Figura 60. Prueba sensor magnético para detección de vástago posición inicial. (propia autoría).....	83
Figura 61. Prueba sensor magnético para detección de vástago posición final. (propia autoría).....	83
Figura 62. Prueba final con material empack. (propia autoría).....	84
Figura 63. Clasificación del material empak. (propia autoría).....	87
Figura 64. Clasificación del material metálico. (propia autoría).....	87
Figura 65. Clasificación de material polipropileno. (propia autoría).....	88
Figura 66. Movimiento izquierda modo manual. (propia autoría). ....	89
Figura 67. Referenciar actuador modo manual. (propia autoría).....	89
Figura 68. Activación sistema neumático modo manual. (propia autoría). ....	90

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes. ....	20
Tabla 2. Plan de trabajo (Fuente propia).....	71
Tabla 3. Presupuesto general. ....	72
Tabla 4. Costo personal científico. ....	73
Tabla 5. Costo personal de apoyo.....	73
Tabla 6. Costo consultoría especializada.....	74
Tabla 7. Costo materiales e insumos. ....	74
Tabla 8. Costo trabajo de campo. ....	75
Tabla 9. Costo equipos usados.....	75
Tabla 10. Especificaciones y condiciones de operación componentes eléctricos. ....	84
Tabla 11. Especificaciones y condiciones de operación componentes neumáticos. .....	85
Tabla 12. Validación de orden programada vs resultado final.....	90

## GLOSARIO

**Actuador:** Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica.

**Manufactura:** Una manufactura es un producto industrial, es decir, es la transformación de las materias primas en un producto totalmente terminado que ya está en condiciones de ser destinado a la venta en algún mercado, o se cotiza en el mercado correspondiente.

**Motor eléctrico:** Un motor eléctrico es una máquina que para producir el movimiento deseado resulta capaz de transformar la energía eléctrica propiamente dicha en energía mecánica, todo logrado a través de diferentes interacciones electromagnéticas.

**Neumática:** La neumática es la tecnología que emplea un gas (normalmente aire comprimido) como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

**Plc:** Controlador lógico programable. Así se denomina al dispositivo que permite la automatización de un proceso electromecánico. Se trata de una computadora que se encarga de controlar el funcionamiento de las máquinas empleadas en la producción o en el montaje.

**Sensor:** un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud

## RESUMEN

El presente proyecto de grado surge de la necesidad que tienen los estudiantes de la Universidad Autónoma del Caribe en aprender a automatizar controladores lógicos programables (PLC) e implementar sistemas flexibles de manufactura en dicha automatización de procesos. Dicho esto, el objetivo se centra en desarrollar un dispositivo mecatrónico el cual solucione la problemática antes mencionada.

El dispositivo consta de una mesa móvil de 80x60 Cm en material de aluminio y base de acero inoxidable calibre 16. Sobre la mesa, se encontrarán ensamblados los sensores magnéticos, réflex e inductivos junto a los actuadores electroneumáticos tales como cilindro neumático, electroválvulas, válvula de vacío, válvulas reguladoras de flujo y la ventosa que van a conformar la parte neumática del dispositivo final.

La función principal de la celda es la de clasificar tres tipos de materiales y llevarlos a su zona de clasificación por medio de los sensores y actuadores. Esto se logra gracias a la programación establecida en el controlador lógico programable y gracias a los dos modos de operación en automático o manual, el usuario puede llevarse una impresión de una celda de manufactura flexible en el entorno industrial. Cada uno de los componentes diseñados y ensamblados en el dispositivo fueron de gran utilidad para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto y se ajustan a las necesidades de los estudiantes con el fin de aprender a utilizar estos dispositivos. Se determina que el sistema didáctico diseñado cumplió con satisfacción las tareas asignadas. Con este proyecto de ingeniería se buscó ocasionar un gran impacto social positivo en los estudiantes de ingeniería mecatrónica de la universidad autónoma del caribe, para que puedan dar las prácticas de laboratorio con los controladores lógicos programables.

**Palabras claves:** PLC, Sistemas flexibles de manufactura, Automatización, Sensores, Actuadores.

## ABSTRACT

This degree project arises from the need for students from the Autonomous University of the Caribbean to learn to automate programmable logic controllers (PLC) and implement flexible manufacturing systems in said process automation. That said, the objective is focused on developing a mechatronic device which solves the aforementioned problem.

The device consists of a mobile table of 80x60 Cm in aluminum material and a 16-gauge stainless steel base. On the table, the magnetic, reflex and inductive sensors will be assembled together with the electro-pneumatic actuators such as pneumatic cylinder, solenoid valves, valve of vacuum, flow regulating valves and the suction cup that will make up the pneumatic part of the final device.

The main function of the cell is to classify three types of materials and bring them to their classification area by means of sensors and actuators. This is achieved thanks to the programming established in the programmable logic controller and thanks to the two modes of operation in automatic or manual, the user can take an impression of a flexible manufacturing cell in the industrial environment.

Each of the components designed and assembled in the device were very useful to meet the objectives set in the project and are adjusted to the needs of the students in order to learn to use these devices. It is determined that the designed didactic system satisfactorily fulfilled the assigned tasks. With this engineering project it was sought to cause a great positive social impact in the mechatronics engineering students of the Autonomous University of the Caribbean, so that they can give the laboratory practices with the programmable logic controllers.

**Keyword:** PLC, Flexible Manufacturing Systems, Automation, Sensors, Actuators.

## 1 INTRODUCCIÓN

Un sistema de Manufactura Flexible es una celda de maquinado altamente automatizada que consiste en un grupo de estaciones de procesamiento, que generalmente son máquinas herramientas cnc, interconectadas entre sí mediante un sistema automatizado de manejo y almacenamiento de materiales en donde son controlados por un sistema integrado de computadoras [1].

La manipulación y clasificación forma parte fundamental en un proceso productivo. Generalmente se encuentra al principio y final de este, convirtiéndose en un limitante de la capacidad productiva. Se intenta reemplazar la manipulación manual por la automatización en un proceso industrial de clasificación de materiales reciclables a manera didáctica.

Los procesos productivos consisten en tomar elementos de entrada denominados factores o recursos y transformarlos en elementos de salida que pueden ser productos o servicios de valor agregado. Es importante tener control sobre cada uno de los componentes de entrada para que el resultado final sea el deseado, evitando derroche de energía, mano de obra e insatisfacción del cliente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha propuesto desarrollar un dispositivo didáctico que simule una celda de manufactura flexible basado en la clasificación de material reciclable para llevar a cabo las prácticas de laboratorio del curso flexible de manufactura de la Universidad Autónoma Del Caribe.

Analizando el problema en conjunto con el deseo de aumentar las competencias en los estudiantes, donde el alumno pondrá en ejecución las bases teóricas adquiridas en controladores lógicos programables y los sistemas modulares para tener una visión real de las posibles aplicaciones de lo que va a ser la industria en el campo laboral.

El Dispositivo ofrecerá a la comunidad educativa una herramienta, para que puedan aplicar los conocimientos y desarrollar destrezas en los cursos de sistemas flexibles de manufactura y automatización.



## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas flexibles de manufactura representan una actividad de suma importancia para el sector industrial, porque brinda flexibilidad, control y monitoreo en los sistemas. Actualmente la aplicación de sistemas flexibles de manufactura ha ido en constante crecimiento debido al aumento de calidad, velocidad y eficiencia que estos sistemas generan en las empresas. El objetivo de una planta con este tipo sistema, es que responda rápida y eficientemente. Estos son veloces y trabajan en volúmenes, variedades y masas distintas, Y también se adaptan bien a los cambios en su ambiente operativo.

El problema de los sistemas automatizados en la industria es que se necesita un nivel óptimo de conocimiento en el personal de ingeniería para poder manipular y controlar dichos sistemas. Se requiere que el control refleje una respuesta eficiente en donde necesariamente debe coincidir con el fin el cual ha sido creado.

Igualmente, para los controles de calidad y seguridad de la ejecución en el desarrollo de manufactura de los sistemas de automatización se necesita una buena programación en los sistemas de control para una correcta clasificación, supervisión del consumo de materiales y energía. Todos estos van de la mano con el rendimiento económico de la empresa.

Se conoce que los sistemas automatizados al momento de mantener control en ellos, se vuelve complejo para el personal de la planta. Es una de las muchas razones por la cual parte de las estaciones de trabajo de una planta industrial tiene problemas en su rendimiento.

Es de vital importancia aprender automatismos con estos sistemas flexibles de manufactura para la salida al mundo laboral e industrial de los futuros profesionales en Ingeniería Mecatrónica, es por eso por lo que se analizó y estableció que hay un déficit en equipos de los laboratorios de automatización y robótica de la Universidad Autónoma del Caribe.

Dicho análisis se realizó inspeccionando los laboratorios mencionados anteriormente junto con una encuesta a estudiantes activos. Se comprueba que algunas de las herramientas encontradas en estos laboratorios presentan averías por falta de mantenimiento, entre otros. Al encontrarse en mal estado estás

herramientas de aprendizaje; se hace imposible realizar prácticas en sistemas flexibles de manufactura y automatización industrial.

Es por esto, que existe la necesidad de diseñar e implementar una celda de manufactura flexible con fines didácticos para desarrollar entrenamientos en sistemas flexibles de manufactura y obtener capacitaciones en dichas celdas desde la academia universitaria, para que los alumnos tengan conocimiento práctico del funcionamiento de un proceso industrial real; en este caso la clasificación de materiales de forma automatizada.

## 2.1 ANTECEDENTES

A raíz de la problemática planteada, se ha establecido de que existe un déficit de herramientas en los laboratorios de control y automatización de la Universidad Autónoma del Caribe, por consiguiente, se realizó la investigación con respecto a trabajos pertinentes en el tema, para darle una solución la cual nos conduce a adquirir importantes aportes para la conclusión a esta problemática las cuales mostraremos a continuación:

En el laboratorio de fabricación flexible de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil Ecuador se realizó, **“diseño e implemento un sistema de supervisión didáctico”**. El proyecto se enfoca en modificar y diseñar una aplicación en winCC Scada para poder realizar la interfaz humano-maquina, que supervise y controle el proceso de fabricación flexible de todos los módulos que tienen comunicación con los PLC's. Se diseñaron diferentes pantallas para que el docente de la universidad pueda usar como instrumento de cátedra y el estudiante posea una herramienta avanzada de entrenamiento y que permita obtener una visión más amplia de lo que se puede encontrar en el área industrial [2].

En el laboratorio de control numérico computarizado y robótica de la Universidad distrital Francisco José de Caldas. Se desarrolló una alternativa para la educación en manufactura altamente industrializada de título, **“Sistemas flexibles de manufactura para entornos académicos como respuesta al desarrollo tecnológico de las pymes en Colombia”**, bajo entornos reales de trabajo, a través

del diagnóstico de los principales componentes tecnológicos de un Sistema flexible de manufactura, la selección de las principales estaciones de trabajo de una fábrica y la relación de ese entorno de trabajo con el hombre dentro de un área determinada, con el propósito de preparar profesionales que den soluciones a las preguntas, variabilidades y retos que se presentan en los procesos productivos de las industrias emergentes desde un enfoque investigativo, innovador, competitivo, amigable y rentable para todos los actores de la cadena de producción y consumo [3].

El proyecto realizado buscó un proceso de reingeniería adecuado que al implementarse obtuviera la correcta y funcional puesta en marcha de, **“celda flexible de manufactura didáctica de automatización de la Fundación Universidad de América”**, El proceso de reingeniería inició con la evaluación del estado actual de la celda flexible y con los requerimientos específicos del docente investigador. Posteriormente, se realizó el diseño correspondiente de cada uno de los sistemas con los que se contaría en este proyecto, tales como: dosificación de envases vacíos, dosificación del material, sistema de tapado, control de calidad, sistemas de transporte y por último la clasificación y almacenamiento. También se realizó la simulación de los sistemas críticos que permitieron visualizar el comportamiento y la programación general de los elementos que componen la celda flexible. Por último, se realizaron las guías de los laboratorios de las asignaturas del programa de Ingeniería Mecánica que harán uso de esta celda y se realizaron los manuales. Adicionalmente se hizo el análisis de costos del proyecto [4].

En el laboratorio del departamento de control de producción de la Universidad Técnica de Hamburgo se implementó el proyecto, **“Integración de una celda de manufactura computarizada integrada en un ambiente dae”**, El objetivo del proyecto es la realización de un acoplamiento físico y de información entre los componentes de la planta de una celda de manufactura. Dentro del proyecto objeto de estudio se incluyen la configuración, tanto de software como de hardware de la celda de manufactura, con productos de la compañía IBM Deutschland, GmbH. Los conceptos desarrollados deben ser implementados tan independientemente como

sea posible, del equipo físico que se maneje. Sin embargo, deben ser definidas la funcionalidad y las características de la celda [5].

Este proyecto ejecuto el diseño de, **“propuesta de transición de proceso manual a proceso automatizado implementando industrias 4.0”**, Para mejorar los procesos de producción de la empresa Cilindros de la Universidad Cooperativa de Colombia mediante la implementación de herramientas y filosofías de la Casa Lean e Industria 4.0. Para llevar a cabo la producción de cilindros se simularon varios tipos de procesos cada uno por ciclos manuales para luego de realizar el respectivo estudio, proceder a automatizar los procesos diseñando las estaciones de trabajo modular e implementando la respectiva programación de ellas de manera virtual. Se concluye en que es importante dar solución a las eventualidades presentadas durante las jornadas de práctica en las simulaciones de producción de cilindros, para contribuir a la mejora de los procesos [6].

El desarrollo del proyecto, **“Diseño e implementación de un sistema de clasificación didáctico para supervisar un proceso industrial”**, en el laboratorio de hidrónica y neutrónica de la universidad de las fuerzas armadas de Ecuador, permitirá manipular piezas didácticas cilíndricas de características como color y metal por medio de sensores y actuadores. El diseño del módulo de clasificación didáctico se caracteriza por tener un sistema de transporte por medio de una banda y de un sistema de almacenamiento donde se clasifica el material [7].

*Tabla 1. Antecedentes.*

TITULO	AUTOR	AÑO EJECUCION	RESULTADO
Diseño y puesta en marcha de una estación de montaje de una línea de producción [8].	CARLOS ALVAREZ MERINO	2018	Diseño y configuración de dos de las estaciones que forman parte de la línea de montaje que se ha construido en el departamento de tecnología mecánica de la escuela, así como la puesta en marcha de una de ellas.

Diseño de modulo para celda de manufactura flexible con tecnología lego [9].	DIEGO ALEJANDRO RAMIREZ GAVIRIA, ANDRES FELIPE RAMIREZ GIRALDO	COLOMBIA-2013	Diseñar con los robots, dos módulos que cumplen con la función de determinar si un producto es de un color u otro.
Diseño y construcción de una maquina didáctica clasificadora de objetos mediante visión artificial para el laboratorio de automatización industrial de procesos mecánicos [10].	ALEX EDUARDO DE LA CRUZ RODRIGUEZ, JUAN FRANCISCO DONOSO QUIMBITA	COLOMBIA-2016	Construcción de una maquina didáctica clasificadora de objetos mediante visión artificial para el laboratorio de automatización industrial de procesos mecánicos.
Diseño e implementación de un sistema de producción modular didáctico para el laboratorio de automatización industrial mecatrónica [11].	LUIS ALBERTO ZAPATA JIJON, DANIEL ANDRES RIVERA NARANJO	2013	Diseño e implementación de un sistema de producción modular mecatrónico para el laboratorio de aim que permitirá manipular y clasificar piezas cilíndricas de diferentes características a través de sensores y actuadores.

## 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Ante la problemática mencionada existe la necesidad de implementar una celda Flexible de manufactura (FMS), para llevar a cabo buenas prácticas que permitan facilitar la enseñanza en séptimo Semestre del curso FMS de la Universidad Autónoma Del Caribe y así abordar las necesidades del entorno. A raíz de esto surge la siguiente pregunta problema:

¿Cómo implementar estrategias didácticas para las prácticas de sistemas flexibles de manufactura en los estudiantes de ingeniería Mecatrónica?

## **2.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

### **2.3.1 Importancia general**

A nivel mundial el sector de automatización industrial ha aumentado considerablemente. Se han mejorado las tecnologías y componentes robóticos para dichos sistemas, en Colombia al finalizar el periodo 2020 se estima que el nivel de automatización a nivel industrial será entre 25% al 30% lo cual implica un gran reto en materia de apropiación tecnológica y mejoramiento de las competencias en los empleados [12].

Al mejorar las instalaciones de manufactura a nivel nacional y todos los conocimientos necesarios en los empleados se puede estimar que los sistemas de manufactura van a crecer tal cual como se viene empleando en Europa [13].

Los sistemas flexibles modulares y de posicionamiento son cada vez más utilizados en la industria y por ende se hace indispensable que los ingenieros conozcan y sean capaces de dirigir proyectos incluyendo dichos sistemas. El conocer su funcionamiento y experimentar profesionalmente con ellos generaría competencias significativas en profesores y alumnos.

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de darle a los estudiantes de la universidad Autónoma del Caribe la oportunidad de desarrollar habilidades y competencias en base a estos sistemas realizando el diseño y montaje de una celda de automatización modular que simule un proceso de manufactura flexible para la clasificación de materiales reciclables basado en un motor paso a paso y un PLC S7-1200 de Siemens para realizar control de posición y velocidad en las clases de la facultad de ingeniería.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un dispositivo didáctico que simule una celda de manufactura flexible basado en la clasificación de material reciclable para llevar a cabo las prácticas de laboratorio del curso flexible de manufactura de la Universidad Autónoma Del Caribe.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar los módulos de fabricación flexible para llevar a cabo los procesos de manufactura.
- Desarrollar un software de comunicación que permita llevar a cabo las órdenes de cada componente dentro de la celda de manufactura flexible.
- Desarrollar el manual de usuario y prácticas de laboratorio para llevar a cabo el correcto uso del dispositivo.

## 4 MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 ESTADO DEL ARTE

Los trabajos e investigaciones que se plasmaran a continuación son de gran ayuda al momento de diseñar e implementar la celda flexible de manufactura didáctica.

El siguiente proyecto evidencia, “**Propuesta de modelamiento de un sistema de manufactura flexible mediante instrumentos virtuales y software hmi/Scada como herramienta de supervisión y control**”, donde afirma que existe un problema evidente en los sistemas flexibles de manufactura en cuanto a capacidades de modificación estructural por las aplicaciones desarrolladas, para su control de manera específica. Teniendo en cuenta lo anterior se propone una solución de supervisión y control de proceso mediante características reconfigurables, obteniendo así, una arquitectura con la cual fue posible controlar un sistema de manufactura [14].

Este proyecto contribuyo al desarrollo de una solución de supervisión y control de procesos industriales mediante el desarrollo de una aplicación HMI/SCADA e instrumentos virtuales para sistemas de manufactura con herramientas de control específicas y opciones limitadas para cambios estructurales, un caso de análisis y desarrollo en el laboratorio de automatización industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, nos brinda un método para modelar un sistema flexible de manufactura de manera virtual.

Por otro lado, lo que expone el trabajo, “**Diseño y desarrollo de un prototipo de un sistema de manufactura ejecutable para la estación de flujo continuo caso específico centro tecnológico de automatización industrial**”, muestra el uso de herramientas de la Universidad Javeriana, específicamente el laboratorio de automatización industrial, el cual cuenta con todos los mecanismos y herramientas para crear un ambiente real y controlado de lo que sería un proceso industrial. Se trabajó con la estación de flujo MPS (Sistema de Producción Modular), que simula una planta de procesamiento de líquidos en sus diferentes etapas. Este equipo es modular lo cual dividió el proceso en etapas. En este caso se cuentan con los



subprocesos de filtrado, mezcla, un reactor y la última que hace las veces de embotelladora.

Contando con estos equipos se tiene una oportunidad importante para desarrollar nuevas metodologías de trabajo que sean compatibles con tecnologías de punta. Es así como este trabajo tiene por objetivo tomar provecho de dichas oportunidades y generar un aplicativo que permita traer información valiosa de la máquina para su procesamiento y administración con la meta de plantear una solución al problema de flujo de información que existe en las empresas productivas.

Esto a su vez es una oportunidad que promueve la investigación y el desarrollo de soluciones a diferentes tipos de problemáticas desde distintos escenarios, todo esto proyectado desde los campos académicos como desde los prácticos [15].

Este artículo nos describe el diseño y puesta en marcha de un sistema de manufactura (prototipo), para los laboratorios de automatización industrial de la Universidad Javeriana.

Igualmente encontramos en, **“Diseño e implementación de una celda flexible de manufactura de orden aleatorio y distribución en línea mediante robot articulado para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC”**, cuyo objetivo es resolver la problemática de los estudiantes, los cuales no tienen la posibilidad de interactuar con los sistemas integrados de producción que les permitan generar una idea de los procesos de fabricación que poseen las industrias manufactureras del país y facilitar el aprendizaje, para la cual se va implementar una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea, para contribuir al desarrollo tecnológico y conocimiento práctico [16].

Un gran aporte es que al final se obtiene una celda de manufactura que combina técnicas de distribución de material y ciencias afines a máquinas de control numérico (CNC), con lo cual logra una visión más amplia del aporte de la Ingeniería Mecatrónica, logrando beneficios que pueden ser alcanzados a nivel industrial de manera óptima.

En cuanto a, **“Programación y puesta en marcha de estación de procesamiento de imagen y de almacenamiento en celda flexible mps-500, Festo”**, El trabajo redacta que en la actualidad los sistemas de manufactura automatizados han

generado un gran impacto en la producción mundial gracias a la rapidez y flexibilidad que caracterizan sus procesos. Estos sistemas contienen diversos tipos de módulos como CNC, robots, transporte, visión y almacenaje. Además, estos cuentan con sistemas SCADA, los cuales facilitan la supervisión y control de los procesos en tiempo real mediante los HMI, por lo cual se ha planteado un trabajo de título de dichos sistemas automatizados que dan una mejora óptima en la productividad [17].

Para la ejecución del proyecto se programó un sistema de visión, de transporte y de almacenaje de forma integrada, que guarden piezas por separado dependiendo de su color. También se implementó uno para la supervisión e interacción con el sistema de almacenaje mediante conexión Ethernet.

Por otra parte, el Artículo, “**Rediseño de la estación mecatrónica del laboratorio de automatización industrial de la Universidad Piloto de Colombia**”, 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 inició con la caracterización e identificación del funcionamiento de la máquina y de sus respectivas falencias. Posteriormente se realizó 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 [18].

Teniendo en cuenta que es una máquina didáctica, se diseñó un manual de operación donde se evidencian la manipulación de control de los motores paso a paso. Por último, se brinda un manual de instrucciones de uso y mantenimiento dando como lugar un ciclo de vida útil y satisfacer nuestra investigación con los resultados obtenidos a raíz de este proyecto.

En relación con lo anterior, se presenta “**Puesta en marcha de una célula de fabricación: robot, almacén y comunicaciones mediante profibus**”, Donde se logra la automatización del proceso de fabricación en el transporte, identificación, y verificación de las piezas. Además de proporcionar una fiabilidad del proceso gracias al mantenimiento preventivo y el control de condiciones de mecanizado. Se

consiguió una reducción de los costos de fabricación y también se logró flexibilidad. De igual manera se redujo considerablemente la cantidad de desechos. Debido al estricto control se consiguió un grado significativo de eficacia del proceso realizado por la célula; logrando así una elevada calidad del producto. Mediante la red Profibus establecida se proporcionó el perfecto sistema de comunicación para la FMC, ya que permitió que cada puesto manipule una pieza de manera simultánea y así conseguir una velocidad de fabricación mayor [19].

Los resultados obtenidos son buenos ya que suponen una ventaja competitiva para la empresa, porque podrá proporcionar al cliente un producto de alta calidad en un tiempo mínimo y esto es de mucha importancia en nuestro proyecto porque en las industrias debemos integrar eficiencia en cada proceso productivo e integrar un sistema de control eficiente.

Por otra parte, la “**Implementación de sistemas distribuidos de bajo costo bajo norma IEC-61499, en la estación de clasificación y manipulación de un sistema flexible de producción modular (mps-500)**”, tiene como propósito la implantación de un sistema distribuido de bajo costo, usando la norma IEC-61499 en la estación de clasificación y manipulación del MPS-500. En estos módulos se pueden dar problemas de aplicaciones industriales reales. IEC-61499 estandariza un entorno de programación para sistemas distribuidos y tiene un alto nivel de versatilidad para el diseño de sistemas, pues combina software y hardware de manera independiente. Se utilizó el software 4DIAC y se crearon nuevos bloques de función para el control del proceso.

La norma IEC-61499 permite al diseñador del sistema crear un modelo de ejecución de bloques de función conducido por eventos, de esta manera, puede dar prioridad a la orden de ejecución y modificar fácilmente algún parámetro de la planta [20].

De igual manera, el trabajo, “**Sistema de control y supervisión de las estaciones de distribución y clasificación modular Festo**”, expone una actualización realizada en el Laboratorio de Investigación en Robótica y Automatización ubicado dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería en Electrónica en Costa Rica. Estaba equipado con tres estaciones modulares, destinados a la enseñanza y aprendizaje de técnicas, basadas en el área de la automatización. Dos de ellos

Sistemas de Producción Modular (MPS) de Distribución y otro de Clasificación, todos utilizan Controladores Lógico Programables (PLC) para su control manual o automático.

La interfaz HMI sirvió como punto de partida para integrar dos nuevas estaciones con PLC sobre las cuales se desarrolló el proyecto, esta nueva actualización que se implementó permitió al sistema de control y monitorización; activar o desactivar cada uno de los actuadores electro-neumáticos de las tres estaciones modulares de forma individual, esto puede realizarse dentro del laboratorio e inclusive remotamente desde algún otro punto de la red local [21].

Se hace necesario recalcar el, **“Diseño y construcción de un sistema flexible modular de clasificación de piezas con PLC’s SIMATIC (SIEMENS), para el aprendizaje de automatización industrial”**, donde diseña y construye un sistema flexible modular de clasificación de piezas, para el aprendizaje de automatización industrial. Este sistema se realizó con el fin didáctico el cual ejecuto un programa de clasificación de piezas en base a sensores y actuadores, donde el módulo es aplicable a los requerimientos de un entorno industrial real como por ejemplo procesos de producción de alimentos, líneas de fabricación de automóviles etc. La implementación del módulo contribuye al aprendizaje de automatización y control industrial, esto permite a los estudiantes involucrarse con la programación y manejo de equipos industriales [22].

Este prototipo permite manejar señales digitales y análogas las cuales hacen al módulo más flexible y dinámico tanto en su programación como aplicación de este y nos brinda un gran aporte a la hora de aplicar una técnica de programación para la celda flexible en donde la aplicación de esta red industrial exige al estudiante ampliar los conocimientos en lo referente a comunicaciones entre automatismos lógicos programables.

Por otro lado, el **“Diseño del programa de control para una celda flexible de manufactura didáctica”**, Este trabajo redacta una manera alternativa de programar el controlador de una Celda de Manufactura Flexible, utilizando el enfoque propuesto en Huang, Pastravanu y Gurel, con la teoría de Aproximación Basada en Matrices ABM para sistemas de eventos discretos. Esta teoría se diseñó para su

implementación en computadores industriales en las cuales la ejecución de operaciones matriciales binarias en tiempo real no representa problema alguno, sin embargo, la implementación de dichas operaciones PLC's comerciales no se puede realizar en forma directa ya que la mayoría de PLC se programan mediante lenguajes gráficos, como el ladder. Dicha restricción provoca que este poderoso enfoque de programación de escalera excluya la mayoría de autómatas programables de uso comercial.

El programa de control diseñado se probó con tres políticas de producción, en una celda de manufactura flexible ubicada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica; el objeto de las pruebas fue observar el rendimiento de la celda de manufactura ante distintas políticas de despacho en la producción [23].

Por otra parte el, **“Modelamiento en un entorno virtual de la celda de manufactura smc-fms-200”**, pone a disposición la celda de manufactura que se encuentra en la facultad Tecnológica en un ambiente virtual, donde se identifiquen cada una de las estaciones de trabajo con sus respectivos subconjuntos, con el fin ofrecer a los docentes y estudiantes de una herramienta para el desarrollo de la clase impartida, adicionalmente con el modelamiento de la estación se entrega a la facultad una base para el desarrollo de proyectos relacionados con celda de manufactura [24].

Con el desarrollo del proyecto se logró el modelamiento de la celda y cada una de sus estaciones en el virtual; el cual puede ser consultado para identificación de sus componentes por los estudiantes y docentes que ofrecen cátedra con la celda como herramienta de trabajo, adicionalmente se dispone de una base de información adecuada para el desarrollo de futuros proyectos relacionados con la celda de manufactura.

Con respecto a, **“Diseño y construcción del equipo celda de manufactura didáctica, como medio para alcanzar objetivos de aprendizaje”**, El objetivo de este artículo es dar a conocer los esfuerzos realizados en el Instituto Tecnológico en la carrera de Ingeniería Industrial, para dotar a la Institución de una celda de manufactura didáctica que propicie el aprendizaje por descubrimiento en el estudiante, otorgándole facilidades para la realización de prácticas y hacerse de las

destrezas necesarias que contribuyan mediante el análisis y siguiendo un proceso metodológico a la optimización de recursos y minimización de costos dentro de la empresa.

La metodología de trabajo consistió en identificar la necesidad, ejecutar la gestión necesaria para el financiamiento, realizar el diseño de la celda de manufactura didáctica y conjuntar el trabajo de docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial, para desarrollar el Proyecto [25].

Dando como resultado que en un corto plazo el Instituto Tecnológico Superior de San Martín cuente con un elemento de utilidad para formar profesionistas mejor preparados para el entorno laboral.

Se debe agregar que, el **“Diseño y ensamble de una celda de manufactura didáctica, para el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional abierta y a distancia en el CEAD Valledupar”**, redacta la manera en que se realizó una investigación acerca de la falencia en componentes prácticos en los laboratorios de la Universidad Nacional Abierta y a distancia en las sedes distantes de la ciudad de Cartagena ya que los demás estudiantes no tienen la oportunidad de interactuar de una manera más frecuente con los elementos y componentes que permiten emular los procesos de automatización, industrial, calidad y logísticos [26].

La necesidad de los estudiantes de realizar prácticas de laboratorio, llevo a implementar este proyecto en donde se realizó el diseño y ensamble de un prototipo de celda de manufactura flexible didáctica para simular procesos de automatización, mantenimiento, control de calidad y logística, que permitan una interacción mucho más frecuente de los estudiantes con este tipo de tecnologías para brindar el conocimiento previo palpable a todos los estudiantes de cómo funciona la celda de manufactura.

Para finalizar, con la implementación del trabajo **“Celda de manufactura automatizada mediante lego mindstorms en la Universidad Autónoma de Occidente”**, busca reforzar procesos de enseñanza aprendizaje en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Occidente, mediante el diseño e implementación de una celda de manufactura bajo el concepto de “micromundo” el cual se va a implementar haciendo uso de la tecnología Lego Mindstorms, que

sirva como herramienta didáctica para el desarrollo de habilidades y competencias necesarias para la vida laboral.

Se realizó el diseño mecánico y de control para luego asociar la tecnología Lego con el sistema de control y poder proceder a la construcción e implementación de la celda de manufactura. Se obtuvo como resultado el modelo físico totalmente funcional [27].

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

Se procede a indicar las bases teóricas que comprenden la investigación y el fundamento del presente proyecto, Se trataran temas específicos, sus orígenes, explicación científica, tecnológica y puntual para el desarrollo de este trabajo.

### **4.2.1 Sistemas flexibles de manufactura**

Los procesos de fabricación pueden clasificarse, según el grado de automatización y sofisticación de los sistemas de control, en niveles que van desde la producción manual hasta el máximo paradigma de la Manufactura Integrada por Computador (CIM), con las llamadas fábricas de luces apagadas. En éstas, el operario que conocemos desaparece para dar paso a las máquinas, que se encargan totalmente de la producción. El hombre sólo realiza las operaciones de programación y supervisión del sistema.

En general, se da el nombre de fabricación o manufactura flexible a un sistema de fabricación conformado por máquinas y subsistemas enlazados por un sistema de transporte y control común, con la posibilidad de realizar diversas tareas, dentro de un margen razonable, correspondientes a diferentes piezas o productos, sin necesidad de cambiar los equipos del sistema (flexibilidad) [28].

### **4.2.2 Controlador lógico programable (PLC)**

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos

electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos” [29].



*Figura 1. Controladores lógicos programables [29]*

Este dispositivo electrónico se responsabilizará del procesamiento de datos. Toma información del sensor magnético y del sensor inductivo NPN por medio del cableado procesando la información. Como resultado de la programación guardada en el PLC, que se encuentra en la sección de anexos, este va a producir gran variedad de órdenes con el fin de activar el cilindro neumático y el actuador lineal.





Figura 2. Controlador lógico programable (propia autoría).

#### 4.2.3 Fuente de poder SIMATIC S7-1200 PM1207

La fuente de poder PM1207 será la responsable del suministro de energía a nuestro controlador lógico programable (PLC). Entrega una tensión de 24VDC y 2,5A, perfecto para la alimentación de este.



Figura 3. Fuente de alimentación para PLC. Tomado de [www.automation24.com](http://www.automation24.com).

#### 4.2.4 Modulo extensión SM 1223 AC/RLY

Este dispositivo ayudara a ampliar las entradas y salidas del plc. Consta de 8 entradas digitales y 8 salidas digitales tipo relé útiles para circuitos que necesiten más potencia a la hora de su funcionamiento.



Figura 4. Modulo extensión S7-1200 (propia autoría).

#### 4.2.5 Motor paso a paso

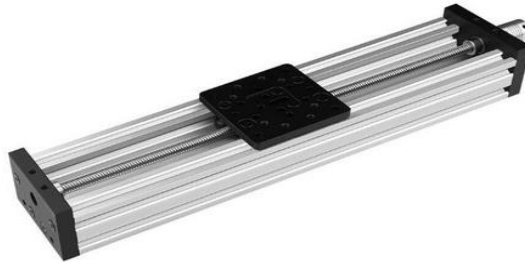
El motor paso a paso es el convertidor electromecánico que permite la conversión de una información en forma de energía eléctrica, en una energía mecánica y una información de posición. Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos. Su funcionamiento es síncrono y la alimentación cíclica de sus fases debe originar en cambio de configuración un giro elemental del rotor, constante, llamado paso. Existe una gran diversidad de modelos de estos motores dependiendo del número de fases de su estator, de si la alimentación de estas es unipolar o bipolar, del número de paso por vuelta y de si su rotor es de reluctancia variable, imanes permanentes o híbridos. En cuanto al control, existen tres modos de realizarlos, paso entero, medio paso y micropaso [30].



Figura 5. Motor paso a paso [30].

#### 4.2.6 Actuador lineal

Un actuador lineal es un actuador que crea movimiento en línea recta, en contraste con el movimiento circular de un motor eléctrico convencional. Los actuadores lineales se utilizan en máquinas herramienta y maquinaria industrial, en periféricos de computadora tales como unidades de disco e impresoras, en válvulas y amortiguadores, y en muchos otros lugares donde se requiere movimiento lineal. Los cilindros hidráulicos o neumáticos producen inherentemente un movimiento lineal. Muchos otros mecanismos se utilizan para generar movimiento lineal desde un motor giratorio [31].

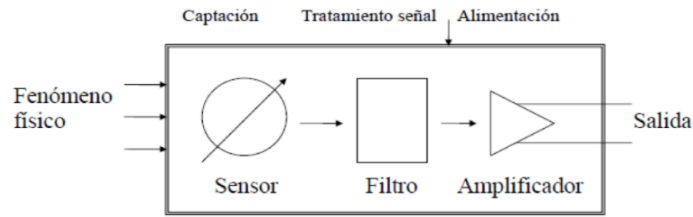


*Figura 6. Actuador lineal [31].*

Este dispositivo está integrado por un motor pasó a paso nema 17, el cual produce movimiento a una varilla trapezoidal y el movimiento se transmite a una base ensamblada, dicha base es la encargada de llevar de un lugar a otro al cilindro neumático, esta funciona a una tensión máxima de 12VDC.

#### 4.2.7 sensores industriales

Para poder controlar automáticamente un proceso de fabricación es necesario disponer de información sobre el estado del proceso. Esto se puede hacer midiendo diferentes magnitudes físicas que intervienen en el mismo. Pese a poder recibir diferentes nombres (detector, transductor, sonda), el sensor es el nombre más utilizado en control de autómatas para referirse al dispositivo que mide una magnitud física. En general estas magnitudes físicas no tienen por qué ser eléctricas, por lo que se utilizan transductores para convertir a señales eléctricas.



*Figura 7. Transductor [32].*

Un transductor convierte una señal no eléctrica en eléctrica, en la cual alguno de sus parámetros (nivel de tensión, corriente, frecuencia) contiene información sobre la magnitud medida. Puesto que es necesario acoplar la salida de este dispositivo transductor al sistema de control, puede ser necesario efectuar filtrado y amplificación de la señal eléctrica en el llamado circuito acondicionador o de acondicionamiento [32].

#### **4.2.8 Sensor inductivo**

Los sensores electrónicos de proximidad son ampliamente utilizados en todos los lugares donde las condiciones de trabajo son extremas, tales como: aceites lubricantes, aceites solubles, aceites de corte, vibraciones, donde son exigidos altos niveles de sellado y robustez.

Las aplicaciones principales de este tipo de sensores son en máquinas operatrices, inyectoras de plástico, máquinas para madera, máquinas de empaquetar, líneas transportadoras, industria automovilística, industria de frascos de vidrio, industria de medicamentos, etc.; así como para la solución de problemas generales de automatización [33].



*Figura 8. Sensor inductivo [33].*

#### 4.2.9 Sensor inductivo NPN referencia SN04-N

Sensor inductivo NPN con un voltaje de funcionamiento de 10 a 30VDC, con consumo de corriente de 12 mA. Este sensor será el encargado de la detección de la posición del cilindro neumático cuando se encuentre en el punto de home.



Figura 9. Sensor Inductivo NPN. Tomado de [www.didacticaselectronicas.com](http://www.didacticaselectronicas.com).

#### 4.2.10 Sensor capacitivo

Son sensores semejantes a los de proximidad inductivos, no obstante, su diferencia radica exactamente en el principio de funcionamiento, el cual se basa en el cambio de la capacitancia de la placa detectora localizada en la región denominada cara sensible. Estos sensores electrónicos son accionados cuando cualquier objeto (vidrio, granos y hasta líquidos) invade su área sensible, promoviendo el cambio de su estado lógico.

Son ampliamente utilizados para la detección de objetos de naturaleza metálica o no, tales como: madera, cartón, cerámica, vidrio, plástico, aluminio, laminados o granulados, polvos de naturaleza mineral como talco, cemento, arcilla, etc.

Los líquidos, de manera general, son excelentes actuadores para los sensores capacitivos, no importando si son conductivos o no, así como su viscosidad o color. De esta forma, con la instalación de uno o dos sensores, son obtenidos excelentes sistemas para control de niveles máximos y mínimos de líquidos o sólidos, incluso sumergidos totalmente en el producto [34].



Figura 10. Sensor capacitivo [34].

#### 4.2.11 Sensor Magnético modelo RCI-4C

Este componente eléctrico será utilizado como sensor final de carrera del cilindro neumático, para detectar la posición de un elemento móvil, en cuyo caso es el vástago del cilindro. Estos sensores están especialmente adaptados a los actuadores para un fácil montaje. dicho componente detecta el campo magnético de los imanes permanentes integrados al émbolo del cilindro y así indican también indirectamente la posición del vástago. El sensor magnético modelo RCI-4C maneja un rango de tensión de 5 a 240VDC.



Figura 11. Sensor magnético. Tomado de [www.mindman.com](http://www.mindman.com).

#### 4.2.12 Actuadores neumáticos

Los cilindros neumáticos o actuadores neumáticos son dispositivos mecánicos cuyo accionamiento depende de gas comprimido, generalmente de aire. Los cilindros neumáticos tienen como principal función mover piezas en una máquina mediante la fuerza que ejerce el aire (o gas) en el pistón del cilindro; es decir, estos dispositivos transforman la energía potencial del aire comprimido en energía

cinética (movimiento). Los actuadores neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico generando un movimiento lineal mediante los servomotores de diafragma o cilíndricos, o bien un movimiento giratorio con motores neumáticos [35].

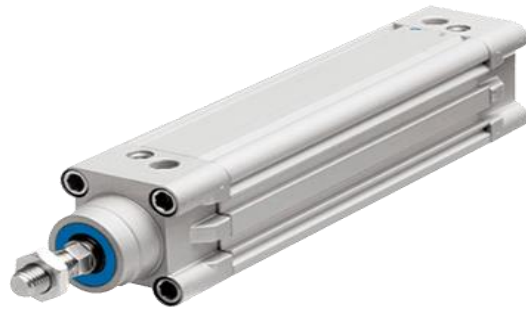


Figura 12. Cilindro Neumático [36].

#### 4.2.13 Cilindro neumático

El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Se compone de las tapas trasera y delantera, de la camisa donde se mueve el pistón, del propio pistón, de las juntas estáticas y dinámicas del pistón y del anillo rascador que limpia el vástago de suciedad.

Cilindro doble efecto: En el cilindro neumático de doble efecto, el aire a presión entra por el orificio de la cámara trasera y, al llenarla, hace avanzar el vástago, que en su carrera comprime el aire de la cámara delantera que se escapa al exterior a través del correspondiente orificio. En la carrera inversa del vástago se invierte el proceso, penetrando ahora el aire por la cámara delantera y siendo evacuado al exterior por el orificio de la cámara trasera [37].

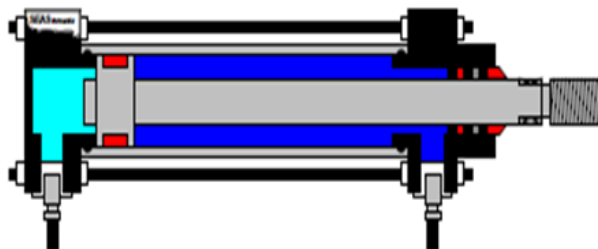


Figura 13. Cilindro doble efecto [37].

#### 4.2.14 Cilindro Neumático compacto Referencia MCJI2580

El cilindro neumático será el encargado de llevar la pieza de clasificación de un sitio a otro con ayuda del actuador lineal. El sensor al detectar una pieza enviara la información al PLC y este activara el cilindro para que descienda el vástago y al encontrarse debajo de este succionara la pieza por medio de una ventosa aplicándole vacío. Este proceso es continuo, se repite las veces que coloquen una pieza en el sensor para ser clasificada.



Figura 14. Cilindro neumático compacto. Tomado de [www.mindman.com](http://www.mindman.com).

#### 4.2.15 Ventosa Referencia OV10115 en NBR

La manipulación mediante ventosas constituye un sistema eficaz, económico y simple de transporte para cualquier tipo de piezas, pueden ser lisas, grande o pequeñas. Por medio de la aplicación de vacío esta succionará la pieza y podrá ser transportada desde la posición inicial hasta la posición final asignada por medio de la programación.



Figura 15. Ventosa en goma de nitrilo Butadieno ó NBR (propia autoría).



#### 4.2.16 Válvula Solenoide Referencia DPD01012

La Válvula solenoide elimina la necesidad de control manual o neumático de un circuito y sólo requiere una entrada eléctrica o presión de aire para las válvulas piloto para funcionar correctamente. Actúa a una Presión máxima de trabajo de hasta 100 psi y no necesitan mantenimiento, ideal para el proyecto.



Figura 16. Válvula solenoide. Tomado de [www.airmatic-art.com](http://www.airmatic-art.com).

#### 4.2.17 Eyector de vacío con silenciador

Los eyectores de vacío son equipos neumáticos que funcionan con el principio de Venturi. Generan el vacío centralizado de un sistema y se utilizan para mejorar la activación de las señales. Los eyectores destacan por ser muy rápidos en la generación del vacío. Este eyector se escogió con silenciador para reducir el impacto acústico producto de los escapes. Este sistema de vacío es compacto, y debe usarse generalmente uno por cada ventosa en el sistema. Tiene fijaciones para facilitar su montaje y es liviano para un fácil manejo. Tiene una máxima presión de trabajo de 6Bar a 87 Psi y máxima presión de vacío de -88 bar a -12.76 psi y una temperatura de trabajo de 5° a 60° Celsius.



Figura 17. Eyector de vacío con silenciador. Tomado de [www.airmatic-art.com](http://www.airmatic-art.com).

#### 4.2.18 Controlador Driver TB6600

Este dispositivo electrónico se encarga de controlar los movimientos del motor del actuador lineal. Tiene una alimentación de entrada de 9VDC hasta 42VDC y una corriente máxima de salida de 0,2 a 4A.



Figura 18. Controlador motor paso a paso. (propia autoría).

#### 4.2.19 Manguera para uso Neumático

Manguera en poliuretano de color azul, ideal para transporte de fluidos y aire. Su flexibilidad excepcional permite obtener radios de curvatura más pequeños perfectos en aplicaciones a baja temperatura ambiental. Durable, ligera, resistente a la abrasión y químicos. Se encargará del transporte de aire a presión para alimentar la parte neumática de la celda.



Figura 19. Manguera para uso neumático. (Propia autoría).

#### 4.2.20 Relé OMRON G2RV-SL700

El Relé será encargado de brindar protección a la salida del PLC debido a que el controlador lógico programable contiene unos relés internos, pero en caso fortuito de sufrir algún daño el relé, es más rentable cambiar un relé adicional que el interno del dispositivo. Este componente es marca Omron y funciona a una tensión de 24VDC ideal para la salida del PLC.



Figura 20. Relé Omron. (Propia autoría).

#### 4.2.21 Unidad de mantenimiento referencia UM1021

La unidad de mantenimiento se implementa para purificar el aire comprimido y ajustar una presión constante del aire, y para añadir una fina neblina de aceite al aire comprimido para lubricar al actuador que en este caso es el cilindro neumático. Esta unidad de mantenimiento es de drenaje manual con vaso transparente, consta de filtro/regulador, lubricador, manómetro y su respectivo soporte.



Figura 21. Unidad de mantenimiento. Tomado de [www.airmatic-art.com](http://www.airmatic-art.com).

#### 4.2.22 Electroválvula

Este dispositivo electroneumático responde a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide va a ser posible abrir o cerrar la válvula controlando de esta forma el flujo de aire. A circular corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición. Esta electroválvula marca MINDMAN; funciona a un voltaje de 24VDC, y consume una potencia de 4,8W.



Figura 22. Electroválvula 24VDC. (propia autoría).

#### 4.2.23 Racores y silenciador cónico

Para la Conexión neumática, se hizo utilidad del racor neumático. Este es un componente que se utilizó para la interconexión de cilindro, válvulas, unidades de mantenimiento. Su uso principal en este caso será para el flujo de aire comprimido, pero en algunas ocasiones se pueden utilizar con algunos otros fluidos. Estos se conectarán con las mangueras de poliuretano presentadas anteriormente debido a sus excelentes características físicas para obtener un sistema más eficiente y seguro a la hora de implementar aire a presión. En total se utilizaron 13 racores de diferentes tipos como: racor recto, racor codo de diferentes dimensiones y unión T.



Figura 23. Racores y Silenciador cónico en Bronce. (propia autoría).

#### 4.2.24 Breaker

Este componente eléctrico será esencial e importante en nuestro proyecto debido a la seguridad que nos brindará. Dicho componente cortara el flujo de corriente eléctrica en caso de un altibajo de tensión eléctrica. Este disyuntor es de un polo marca CHINT y funciona a una tensión máxima de 230V y corriente de 1 a 4A con frecuencia de 50 a 60HZ.



Figura 24. Breaker CHINT. (propia autoría).

#### 4.2.25 Selector 3 posiciones

El selector de 3 posiciones marca Steck será el encargado de realizar la activación o desactivación de los dos modos de funcionamiento de la celda. Se encuentra el modo automático y el modo manual, este funciona a un voltaje máximo de 230VAc y corriente de 6A.



Figura 25. Selector STECK. (propia autoría).

#### 4.2.26 Pulsador STECK

Los pulsadores Steck, serán los encargados de la manipulación manual del dispositivo. Los dos pulsadores negros llevaran a cabo el movimiento de los actuadores. El pulsador piloto azul hará la referencia del actuador lineal y el pulsador verde se encargará de dar inicio al proceso. Cada uno de ellos funciona a un voltaje máximo de 220VAc y 6 A.



Figura 26. Pulsador Verde STECK. (propia autoría).

#### 4.2.27 Pulsador de emergencia

Este pulsador es el encargado de hacer la parada de emergencia o stop a la celda flexible de manufactura. Funciona a un voltaje máximo de 230VAc y corriente de 6 A.



Figura 27. Pulsador emergencia STECK. (propia autoría).

#### 4.2.28 Mesa Móvil

La mesa fue diseñada en el software SolidWorks y ensamblada con perfiles de aluminio junto con una base en acero calibre 16 para darle mayor resistencia. La mesa se realizó teniendo en cuenta una medida aceptable para que los estudiantes que vayan a usarla tengan comodidad y de este modo el dispositivo se encontrara a una altura tolerable del cuerpo del estudiante, de igual manera para que el dispositivo pueda ser transportado de un laboratorio a otro por motivos personales, se le ensamblaron 4 ruedas con un peso máximo de 20Kg por rueda dando un total de 80Kg. Lo anterior es más que suficiente para soportar el peso de la celda.



Figura 28. Mesa móvil. (propia autoría).

#### **4.2.29 Lenguaje de programación**

Los lenguajes de programación para controladores autómatas sirven como canal de comunicación entre el sistema operativo que interpreta el lenguaje, y el usuario que tiene acceso a la configuración del programa.

La finalidad es crear instrucciones secuenciales (comandos) que el CPU del PLC traduce en salidas digitales que energizan y controlan máquinas específicas o procesos complejos.

#### **4.2.30 Tipos de lenguaje de programación**

Entendamos que actualmente existen dos tipos de lenguajes que se dividen en visuales y escritos o también conocidos como gráficos y textuales. Los lenguajes gráficos a su vez se catalogan de nivel alto mientras los textuales son considerados nivel bajo.

Se conocen como nivel bajo a los lenguajes estándar que compilan directamente con el microprocesador, son lenguajes más antiguos y complejos que describen todas las instrucciones que se desean ejecutar.

Los de nivel alto son la evolución de los anteriores, están dotados de una interfaz gráfica que facilita su programación pero que también la limita a sus parámetros preestablecidos.

- Lenguajes de Texto o nivel bajo:
  - Lista de Instrucciones (IL o STL)

Este lenguaje se suele utilizar para pequeñas aplicaciones debido a la complejidad de su estructura, es muy parecido al viejo lenguaje ensamblador. Emplea instrucciones de mando que el procesador obedece siempre y cuando exista la parte operacional (lo que va a hacer) y el operando que da respuesta a la operación.

- Texto Estructurado (ST)

Es un lenguaje con una sintaxis parecida a PASCAL, se utiliza para codificar expresiones aritméticas complejas con valores analógicos y digitales, dispone de estructuras para bucles, funciones y condicionales, soporta ciclos de interacción y particularmente alterna letras mayúsculas y minúsculas en su código. En



comparación con el listado de instrucciones, este incluye la formulación de las tareas del programa.

- Lenguajes gráficos o de alto nivel:

- Diagrama Escalera, Ladder o de Contacto (LD)

Este es el lenguaje de interfaz gráfica más utilizado en campo, su nombre se debe a su forma estructural semejante a una escalera por donde corren dos relés verticales llamados Lógica 1 y 2.

El riel izquierdo (L1) es el que recibe el flujo de energía (entrada) que representa el voltaje y deja pasar la energía al riel derecho que representa la tierra (salida). Su parecido con los antiguos controladores de relés es innegable y su lectura obedece siempre la misma instrucción; de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Su naturaleza es ser simple y fácil de utilizar lo que representa ahorro de tiempo y costos.

- Diagrama de Bloques (SFD)

Es utilizado para la representación gráfica de un proceso mediante símbolos lógicos, su elemento más característico son los bloques de función que albergan las variables que transformarán la secuencia.

Las señales de salida son el producto de la señal de entrada y la operación del bloque que representa una variable asignada las cuales nunca se conectan entre sí.

- Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC)

Es una representación diagramática de secuencias de control en un programa en el que se pueden organizar subrutinas o etapas que van afectando el producto de las funciones posteriores.

La energía fluye de un punto a otro siempre y cuando se haya cumplido una condición. Este lenguaje proviene del estándar francés GRAFCET que también utiliza etapas, transiciones y acciones para su funcionamiento [38].

#### **4.2.31 Sistemas didácticos modulares**

El sistema de producción modular MPS plantea los desafíos correctos y ofrece entornos de aprendizaje adecuados para las exigencias más variadas como rigor

en las funciones, Unidades individuales y combinadas al igual que diferentes técnicas de accionamiento, Flujos de materiales y de informaciones, Conceptos de controles modernos y variables.

El sistema de transferencia MPS cabe en el armario, pero puede combinarse también con líneas de fabricación en red. las estaciones MPS se suministran con mesa móvil, dejan espacio para el control, están montadas por completo y pueden constituir la base de instalaciones de formación más complejas [39].



*Figura 29. Estación sistema producción modular [39].*

Esta estación es un sistema modular que brinda especial importancia a la formación realista en Mecatrónica. Desde 1991 es el sistema empleado en los campeonatos internacionales para técnicos de Mecatrónica, las estaciones representan los subprocesos más comunes de todo tipo de fabricación automatizada. También brinda una plataforma para la clase práctica basada en problemas para tener un mayor realismo industrial en técnica de automatización y sistemas de manipulación.



*Figura 30. Celda combinada con varias estaciones [40].*

Esta es una celda completa ya que combina varias estaciones. Esta celda ofrece soluciones completas para temas específicos, incluidos el control, la integración en red y el software de aplicación y didáctico para programas formativos orientados a procesos y la enseñanza de un amplio espectro tecnológico en escuelas y universidades técnicas. Son ampliables y de utilización inmediata [40].

### 4.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se mostrará una lista de conceptos básicos que apoyan los elementos que sostienen el sentido de los elementos que intervienen en el proyecto.

**MANUFACTURA:** Una manufactura es un producto industrial, es decir, es la transformación de las materias primas en un producto totalmente terminado que ya está en condiciones de ser destinado a la venta en algún mercado, o se cotiza en el mercado correspondiente [41].

**SENSOR:** un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud [42].

**MOTOR ELECTRICO:** Un motor eléctrico es una máquina que para producir el movimiento deseado resulta capaz de transformar la energía eléctrica propiamente dicha en energía mecánica, todo logrado a través de diferentes interacciones electromagnéticas [43].

**ACTUADOR:** Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” [44].

**NEUMÁTICA:** La neumática es la tecnología que emplea un gas (normalmente aire comprimido) como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. Los procesos consisten en incrementar la presión de aire y a través de la energía acumulada sobre los elementos del circuito neumático (por ejemplo, los cilindros) efectuar un trabajo útil. Por lo general el gas utilizado es el aire comprimido, pero para aplicaciones especiales puede usarse el nitrógeno u otros gases inertes [45].

**PROGRAMAR:** Programar es el proceso por medio del cual se diseña, codifica, limpia y protege el código fuente de programas computacionales. A través de la programación se dictan los pasos a seguir para la creación del código fuente de programas informáticos. De acuerdo con ellos el código se escribe, se prueba y se perfecciona. El objetivo de la programación es la de crear software, que después será ejecutado de manera directa por el hardware de la computadora, o a través de otro programa. [46].

**PLC:** La sigla PLC tiene varios usos. El más habitual se vincula a la expresión inglesa programmable logic controller, que puede traducirse como controlador lógico programable. Así se denomina al dispositivo que permite la automatización de un proceso electromecánico. Se trata de una computadora que se encarga de controlar el funcionamiento de las máquinas empleadas en la producción o en el montaje [47].

## 5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

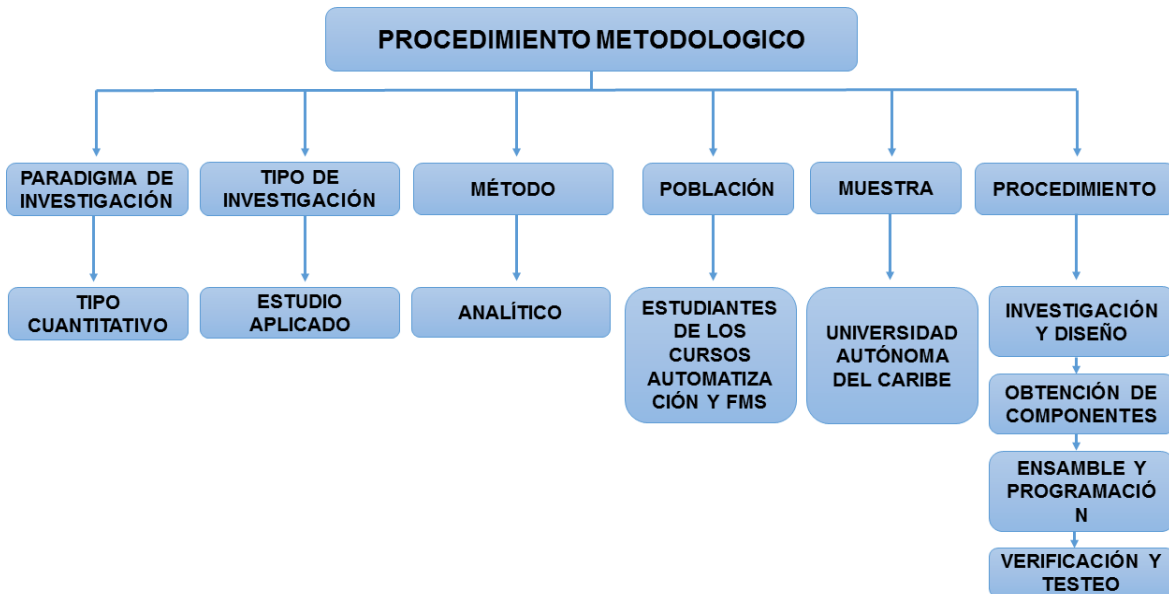


Figura 31. Procedimiento metodológico (Fuente propia).

En base al estudio previamente realizado, se opta por plantear el paradigma de investigación de tipo cuantitativo. El método y tipo de investigación está basado en la experimentación directa y lógica empírica. El procedimiento de investigación aplicado para el desarrollo de este proyecto es de tipo secundario debido a que se basa en investigaciones y proyectos similares ejecutados con anticipación, fuentes independientes, artículos científicos, base de datos.

Para culminar con éxito el desarrollo del proyecto de grado, se fragmenta en 4 partes que son las siguientes:

1. Investigación y diseño
2. Obtención de componentes
3. Ensamble y programación
4. Verificación y testeo

## **5.1 METODOLOGÍA**

Se empleará una metodología mixta, la cual ha sido definida por “Marcelo Gómez”, como un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, en una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema, o para responder a preguntas de investigación de un planteamiento del problema [48]. Se usan métodos de los enfoques cuantitativo y cualitativo y pueden involucrar la conversión de datos cualitativos en cuantitativos y viceversa por medio del cual se podrá evidenciar el progreso del proyecto de grado de título Diseño y Montaje de una Celda de Manufactura para la Clasificación de Materiales, que permita identificar y clasificar el material según su composición, comprendido por el diseño, programación y ensamble de la celda.

En primera instancia se contempló realizar la programación y pruebas con los dispositivos de la Universidad Autónoma del Caribe, pero debido a la circunstancia que se vive a nivel mundial como secuela de la pandemia suscitada por la acción del virus Covid 19, ha ocasionado múltiples restricciones para aplanar la curva de contagios lo que conduce al cierre de este tipo de actividades en la Universidad.

Se optó por adquirir los dispositivos que nos facilitarían en la entidad Educativa para poder realizar las pruebas. con la obtención de estos dispositivos podremos entregar una celda más completa que se podrá programar directamente.

## **5.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y NEUMÁTICOS**

### **5.2.1 Actuador eléctrico y neumático**

Para la selección del componente encargado de transportar el cilindro neumático, se optó por el dispositivo cuya información se encuentra en la sección 3.2.4. Este actuador es accionado por un motor paso a paso NEMA 17 alimentado por la fuente PM1207; del controlador lógico programable (PLC). Este motor es bipolar porque tiene dos bobinas. Una bobina está conformada por los cables negro y verde, la otra bobina por el cable rojo y azul. Este actuador lineal cuenta con 50 cm de ancho, ideal para el dispositivo al ser una celda didáctica a tamaño escala.

El actuador neumático es un cilindro de 25mm de diámetro x 80mm de carrera. Mas específicamente un cilindro neumático compacto de referencia MCJI2580, marca MINDMAN®. Este cilindro es el encargado de llevar enroscada en la punta del vástago la ventosa, para lograr con el objetivo que es el de tomar la pieza y transportarla de un lugar a otro.



Figura 32. Cilindro neumático con ventosa (Fuente propia).

### 5.2.2 Detección de final de carrera y detección de objetos

Para la selección de los sensores encargados de la detección de materiales se tuvo en cuenta la información de la sección 3.2.6 y 3.2.7. Esto debido a la necesidad de cada sensor, de manera que estos no sean afectados por las condiciones lumínicas, por el tipo de material, la longitud de onda del color del material y contara con un rango de medición acorde a las necesidades del proyecto. Adicional a esto, también se hizo uso de otros sensores de tipo magnético el cual se detallará a continuación. En la celda existen dos sensores para la detección de objetos. El primero es un sensor réflex o reflectivo NPN de 6 a 24VDC, el cual emite un haz de luz, por un lado; y por el otro lo recibe. Cuando la luz choca con el obstáculo o en este caso el material a detectar se reflejará y será detectada por el sensor. En caso dado que se coloque una pieza demasiado oscura como el color negro, el haz de luz será absorbido y no podrá ser detectado. Este sensor réflex cuenta con una corriente de

salida de 300 mA y una distancia máxima de detección de hasta 30 cm con referencia E3f-ds30c4.



*Figura 33. Sensor réflex npn. Tomado de [www.mercadolibre.com.co](http://www.mercadolibre.com.co).*

El segundo sensor implementado para la detección de objetos es el inductivo, cuya información pertinente, la encontraremos en la sección 3.2.6. Este sensor Inductivo NPN, será el encargado de la detección de piezas metálicas con una distancia de detección de 4mm, rango de voltaje de 6 a 36 VDC y corriente de salida de 300mA. De igual manera existe otro sensor inductivo NPN que se encuentra en la parte superior del actuador lineal y este es el encargado de realizar la posición de home o posición inicial. Dicho sensor, detecta la pieza metálica que esta ensamblada al cilindro y establece la posición de referencia de la máquina, la cual se encuentra ubicada en el centro del actuador lineal. Si se mueve positivamente 20 mm se mueve a la izquierda o si se mueve -20mm se moverá a la derecha y al finalizar el proceso debe retroceder a la posición inicial asignada. Todos estos movimientos los referenciamos mediante la programación calibrando correctamente el motor mediante la programación compilada en el PLC para que los movimientos sean precisos.





Figura 34. Sensor inductivo de posición home. (Fuente propia).

Para la culminación del recorrido se utilizaron dos interruptores finales de carrera de contacto, los cuales enviarán una señal al PLC cuando el carrito que transporta el cilindro neumático llegue a cualquiera de ambos extremos del actuador lineal; ya sea la posición de carga de clasificación o posición final de objeto clasificado.



Figura 35. Interruptores finales de carrera. (Fuente propia).

### 5.2.3 Controladores de la celda

El controlador principal de la celda es el PLC cuya información se evidencia en la sección 3.2.2. Este dispositivo permitirá controlar y programar hardware/software. Para la programación se utilizará el software Totally Integrated Automation (Tía portal). Ver programación en sección 4.1.3 y anexos.

La importancia de usar este tipo de controlador lógico programable en el proyecto es debido a la necesidad de aprender a automatizar procesos de manufactura

básicos de manera practica en la universidad y también por su eficiencia en el control de dispositivos como los que se han mostrado anteriormente.

Para controlar el motor Nema 17 se utiliza el driver TB6600, el cual tiene un voltaje de entrada 9VDC A 42VDC, 4A. El motor paso a paso al ser bipolar, consta de dos bobinas las cuales se deben conectar de manera individual en la parte baja del controlador. La primera bobina formada por un cable verde que se conecta en la ranura (A+) y otro negro que se conecta en ranura (A-); de igual manera la segunda bobina se conecta el cable rojo en ranura (B+) y cable azul en (B-).



Figura 36. Conexión entradas y salidas driver TB6600. (Fuente propia).

La conexión Enable se utilizará para habilitar y deshabilitar el motor. Las entradas DIR, cumplen la función de controlar la dirección del movimiento del motor, teniendo en cuenta que si se requiere desplazar el motor a la derecha es necesario que la señal se encuentre en 0 o bajo digital y si se encuentra en 1 digital; el desplazamiento será hacia la izquierda. La entrada PUL del controlador permitirá girar el ángulo determinado por medio de la programación asignada al PLC. Estas tres entradas van conectadas directamente a las salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 del PLC, por consiguiente, las señales que envíe el PLC para movimiento de motor caen directamente al controlador TB6600. La salida 0.0 habilita ENABLE, 0.1 habilita DIR y 0.2 Habilita PUL.

Para generar un plus al proyecto, se procedió a realizar una botonera para poder utilizar el dispositivo de forma manual y también de forma automatizada, para simular un proceso industrial de manera didáctica como se plantea en el proyecto.

La botonera consta de 5 pulsadores para controlar la celda y 1 selector para cambiar de posición manual a automático o viceversa.



Figura 37. Botonera para control manual. (Fuente propia).

Para la conexión de la botonera se optó por adicionar al PLC un módulo de extensión SM1223 AC/RLY, con 8 entradas y 8 salidas tipo relé ideales para la botonera. A la ausencia de entradas en el PLC se hizo necesario adicionar el módulo y este controlador se maneja a 110VAC.

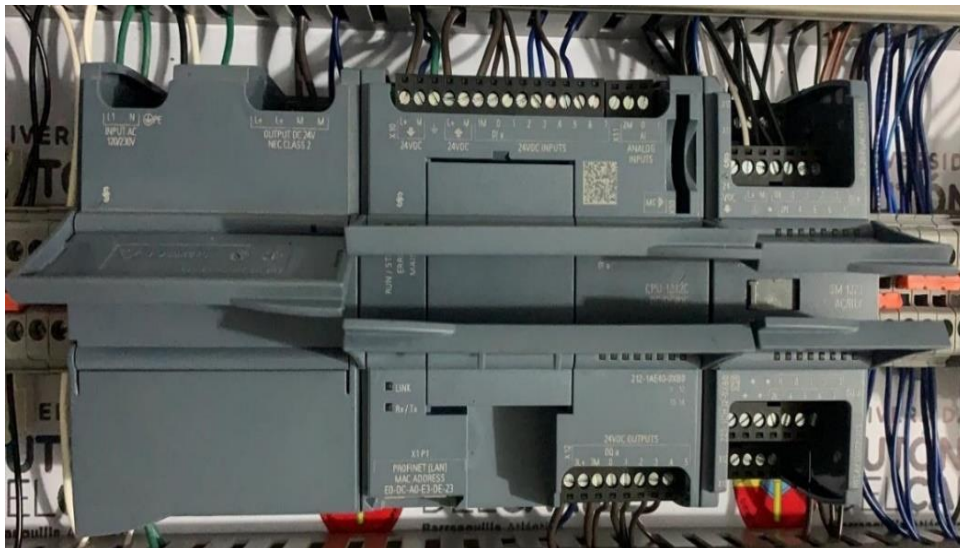


Figura 38. Fuente PM1207, PLC, Modulo SM1223. (Fuente propia).

#### 5.2.4 Alimentación eléctrica del dispositivo

Al momento de seleccionar una fuente para el dispositivo se determinó que la ideal es la que mejor se adapte a la necesidad requerida. Se opta por utilizar el módulo

PM1207 que abastece de energía el controlador lógico programable y el actuador lineal con 24VDC Y 2,5A. Ideal para el PLC y el Driver del motor nema 17.

Para mejorar la seguridad del dispositivo, se procedió a la instalación de dos breakeres marca CHINT de 4A, los cuales van conectados a la línea de entrada AC del módulo PM1207 y línea de entrada AC del módulo expansión SM1223.

Teniendo en cuenta la información suministrada por los proveedores de PLC, se instalaron relés marca OMRON de 24VDC, con referencia G2RV-SL700. Dichos relés serán conectados a las salidas del PLC para mejorar la protección y alargar la vida útil de estos, adicionalmente, se activarán las salidas y también se accionarán las electroválvulas para el sistema neumático. Cada relé por separado va conectado a una salida del PLC conectándolo a una carga baja que es la bobina del relé. Estos relés son ideales para la celda puesto que, en caso de una futura avería, se hace más fácil reemplazar un relé que reemplazar las salidas del PLC.

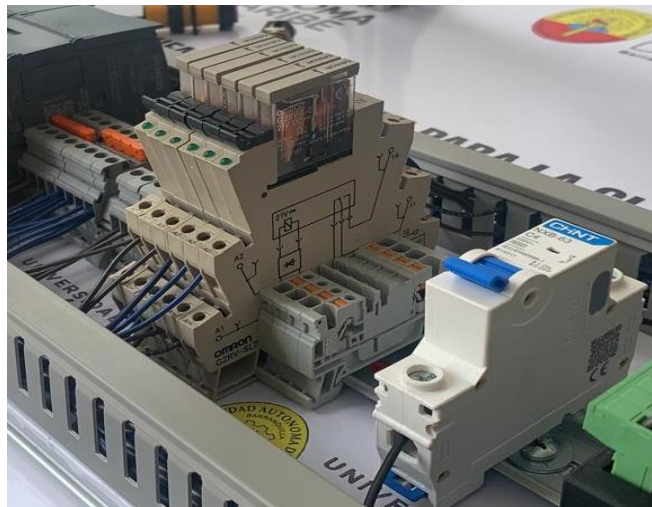


Figura 39. Relés, Borneras y Breaker. (Fuente propia).

### 5.2.5 Sistema de alimentación neumática

El componente principal para la alimentación de aire de toda la red neumática es un compresor de aire de 40 a 50 Psi como máximo para que el dispositivo funcione establemente. El aire circula por las mangueras haciendo el primer recorrido por la unidad de mantenimiento AIRMATIC que es la encargada de filtrar pequeñas partículas y mantener lubricado el sistema (ver figura 21).



Figura 40. Unidad de mantenimiento. (Fuente propia).

El segundo recorrido del aire se efectúa por medio de un racor en T el cual a través de mangueras distribuye el aire a la electroválvula MINDMAN monoestable 3/2 de 24VDC (Ver sección 6.3, figura 46). Tiene 3 conexiones y 2 posiciones monoestable para ahorrar salidas del PLC. Esta válvula siempre se encontrará enviando aire hacia dentro para mantener el vástago del cilindro en posición inicial, cuando ya sea necesario accionar el cilindro solo se debe activar la electroválvula para impulsar el vástago hacia afuera del cilindro.

Para no generar malestar auditivo debido al ruido que produce el sistema neumático se conectaron dos silenciadores cónicos en bronce para una mayor calidad de material y a las salidas que van directas a las dos conexiones del cilindro neumático, se le adicionaron dos reguladores de flujo para controlar manualmente la velocidad de entrada y salida del vástago como se observa en la siguiente imagen.





Figura 41. Conexiones principales sistema neumático. (Fuente propia).

También encontramos la válvula solenoide monoestable AIRMATIC 2/2 a 24VDC (Ver sección 6.3, figura 37). Esta válvula al ser activada permitirá la entrada de aire al Ejector de vacío (Ver sección 6.3, Figura 38). Este vacío se genera por el efecto Venturi, el cual consiste en una corriente de aire que fluye de un lado y al tener una configuración el eyector, el cual tiene un orificio encargado de aspirar aire para ir al mismo sitio de la corriente de aire ya en curso. Ese orificio que genera vacío es el que se conecta a la ventosa para que esta finalmente sea quien succione la pieza a clasificar. Se podrá visualizar a continuación la ventosa conectada al cilindro.



Figura 42. Ventosa conectada al cilindro. (Fuente propia).

### 5.2.6 Criterios de diseño

Para comodidad de los estudiantes que manipularan el dispositivo, se optó por el diseño y realización de una mesa exclusiva para la celda. Esta mesa tiene unas dimensiones de 80 cm de altura de los pies a el torso de las personas, 79.5 cm de largo y 49.5 de ancho. El diseño se puede observar en la figura presentada a continuación.



Figura 43. Prototipo mesa, prototipo mesa móvil. (Fuente propia).

Al final se procedió a ensamblar las ruedas con el fin de que los estudiantes y profesores puedan transportar la celda de un laboratorio a otro y también puedan transportarlo a sitios más lejanos como otras universidades para presentación de proyectos entre otros. Después de tener las medidas y diseño Cad se ejecuta el ensamble en físico de la mesa en perfiles de aluminio y base en acero Inoxidable.



Figura 44. Ensamble mesa móvil. (Fuente propia).

## 5.2.7 Software

El algoritmo del dispositivo fue diseñado en el software Tía Portal y compilado en el PLC S7-1200. El lenguaje utilizado para realizar la programación de la celda es el Ladder, puesto que contribuye a una fácil comprensión del mismo, y es el más usado en las academias universitarias para la enseñanza en los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica. En la figura 26 se puede observar la herramienta MOTION CONTROL del Tia Portal utilizada para hacer las pruebas y calibración de motor.

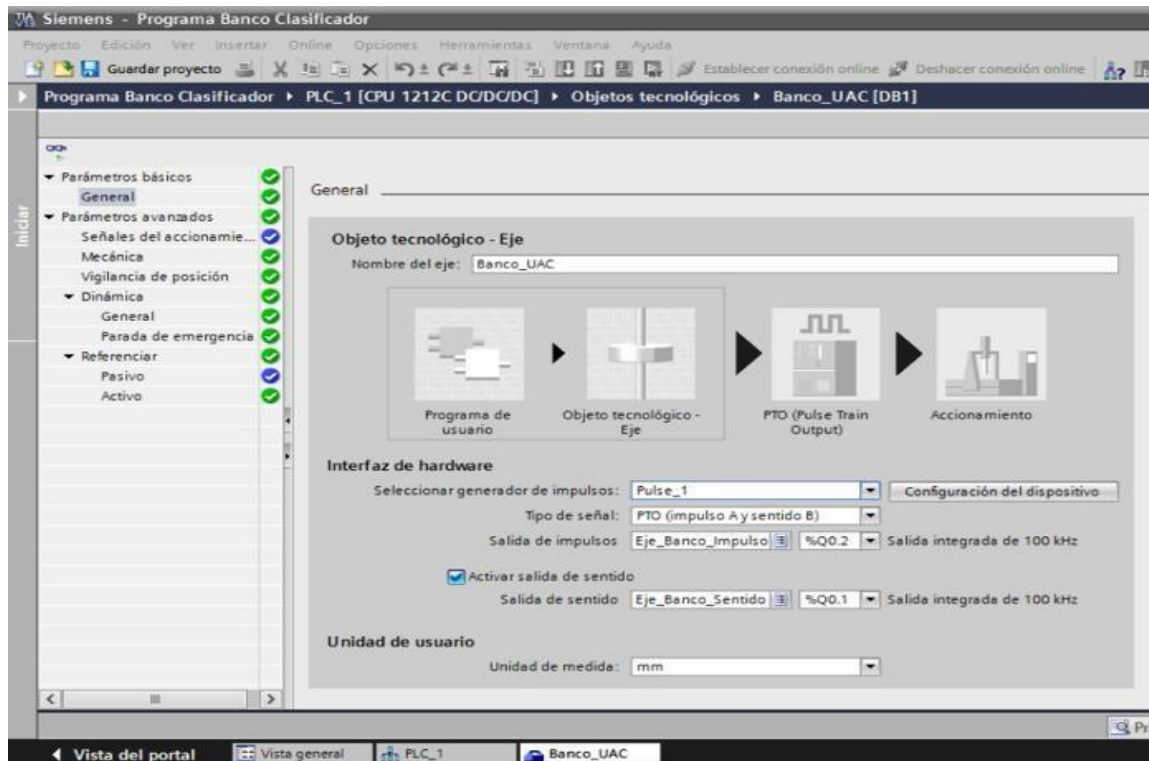


Figura 45. Herramienta calibración del motor. (Fuente propia).

La herramienta que ofrece el software Tia Portal, funciona en conjunto con la programación Ladder. En el manual de usuario se podrá contemplar completamente cada una de las herramientas de Motion control para la correcta calibración del motor.



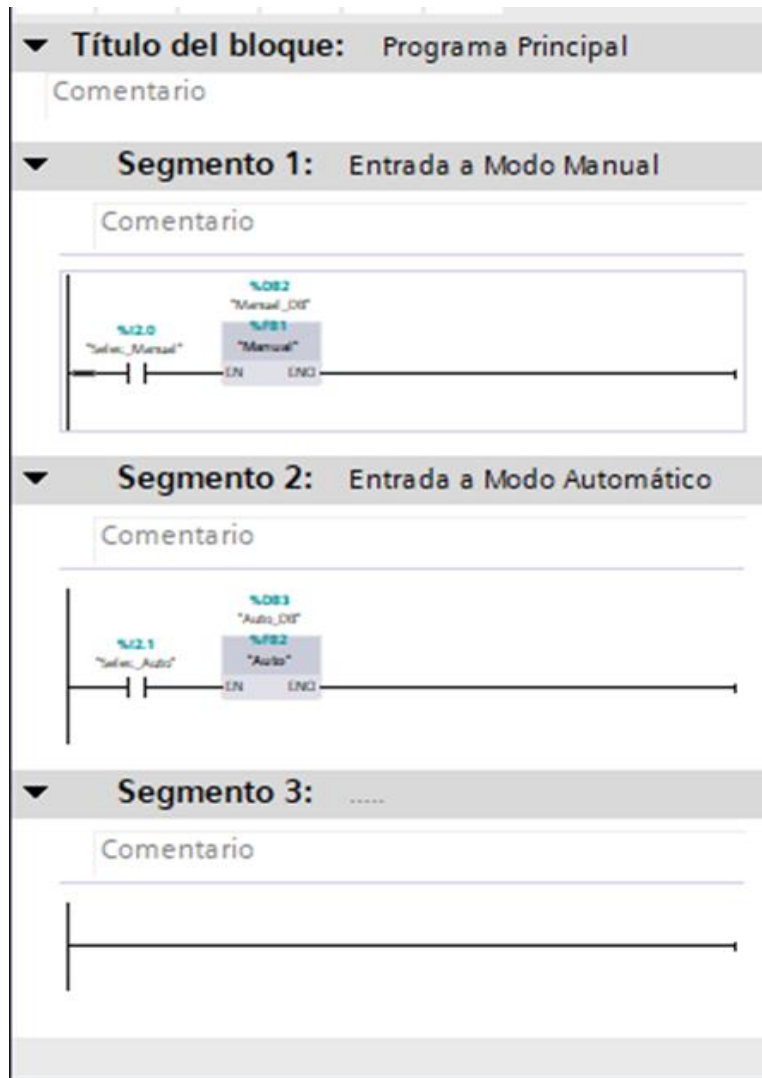


Figura 46. Segmentos principales código fuente. (Fuente propia).

En la figura anterior se observan 2 segmentos en diagrama de escalera. El primer segmento es para la programación en modo manual y el segundo para la programación modo automático.

Dentro de la herramienta motion control, del primer segmento existen 14 secciones para el correcto funcionamiento de la celda en modo manual y para contemplar el código fuente de la celda el cual se evidencia completo en los anexos de este documento. Para una visualización rápida de los segmentos se implementaron etiquetas con sus nombres, las cuales se evidencian en la figura que se mostrara a continuación.

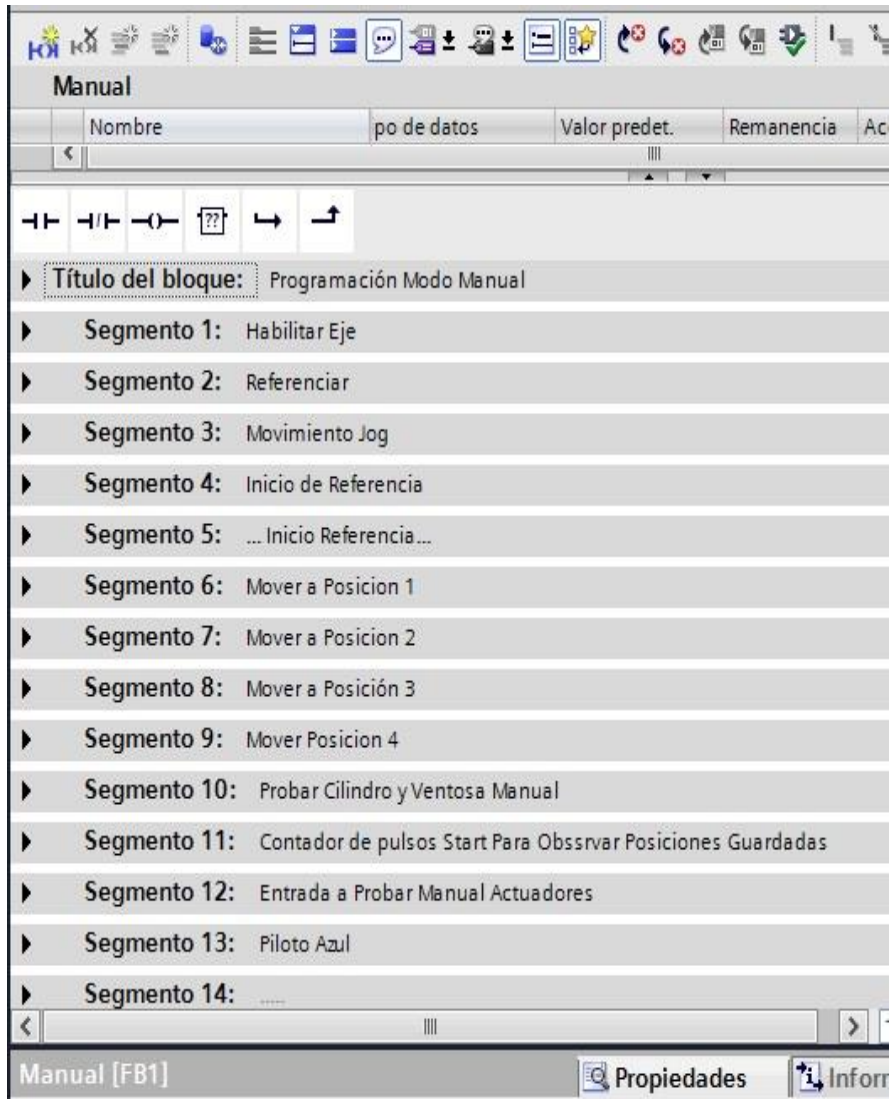


Figura 47. Etiquetas de segmentos de programación modo manual. (Fuente propia).

En el segundo segmento principal se encuentra la herramienta motion control la cual contempla las etiquetas de los 19 segmentos de programación para la puesta en marcha de la celda en modo automático. Esta programación se puede visualizar en su totalidad en el manual de usuario del dispositivo.

En la figura presentada a continuación se visualizarán las etiquetas que contiene la programación en modo automático.

La celda de manufactura flexible, llevo un total de 33 segmentos de programación en Ladder, al momento de compilar el programa al PLC se implantó el cable ethernet desde el computador hacia el controlador.

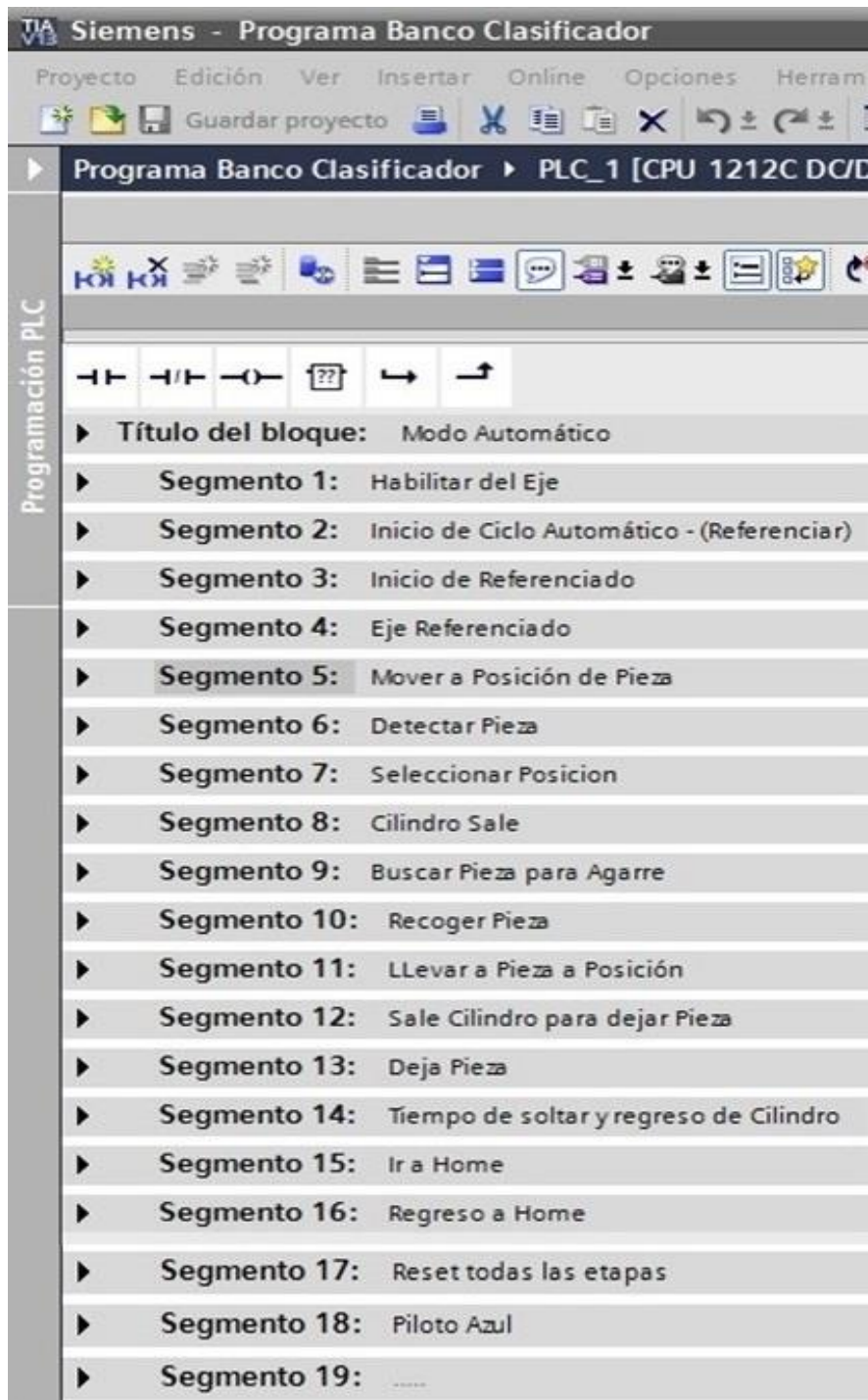


Figura 48. Etiquetas de segmentos de programación modo manual. (Fuente propia).

## 5.2.8 Diseño eléctrico

Para el diseño de los planos eléctricos se utilizó el software AutoCad Electrical®. A continuación, se presentan los planos mencionados anteriormente con sus respectivas etiquetas.

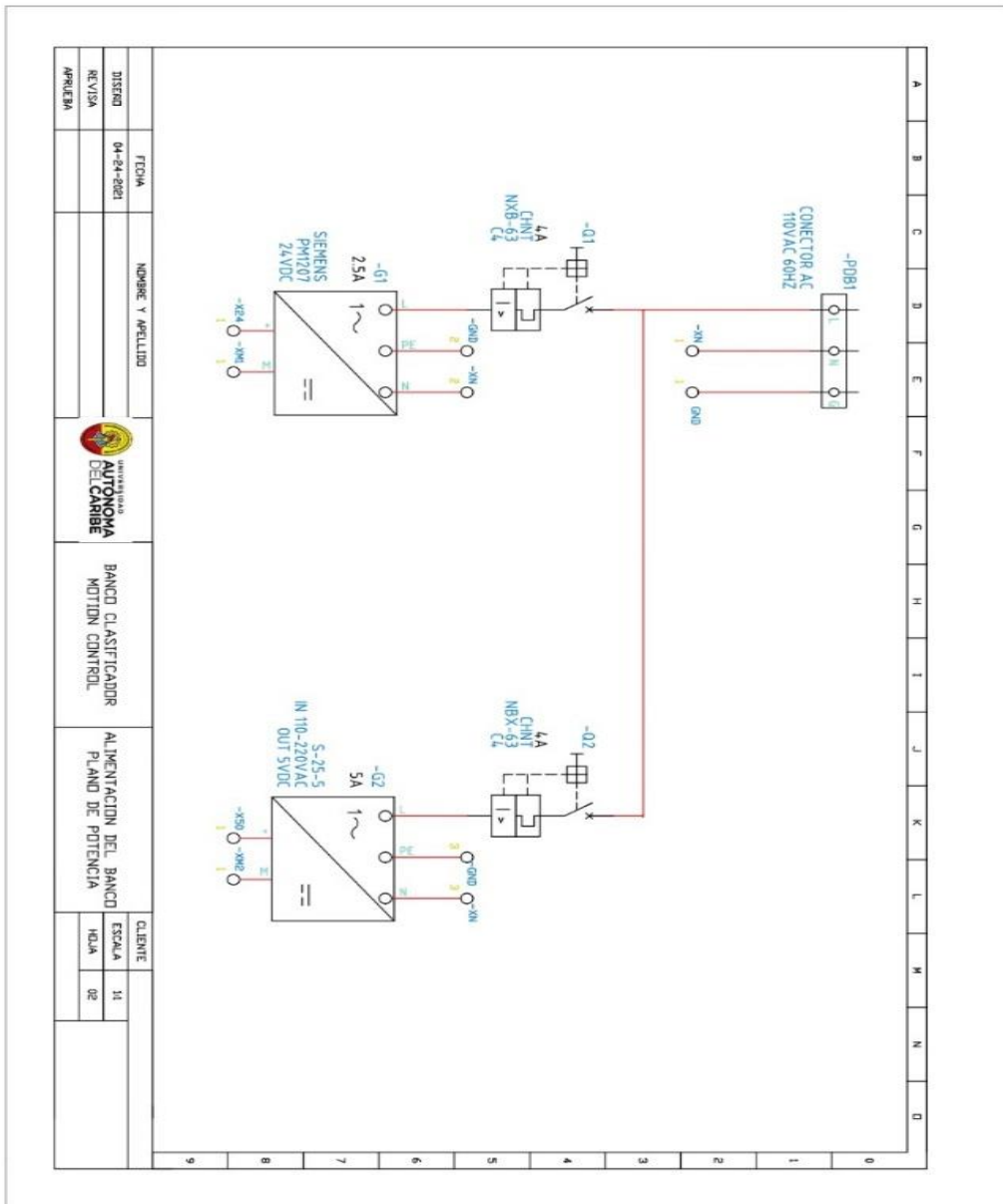


Figura 49. Plano eléctrico circuito de potencia. (Fuente propia).

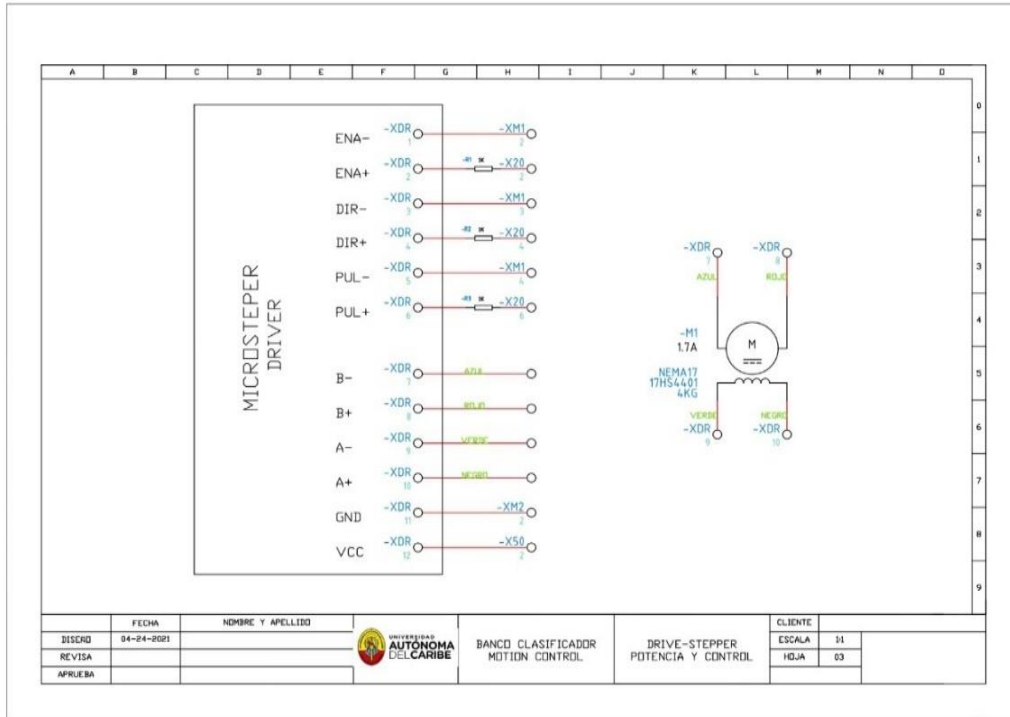


Figura 50. Plano eléctrico circuito Driver controlador motor. (Fuente propia).

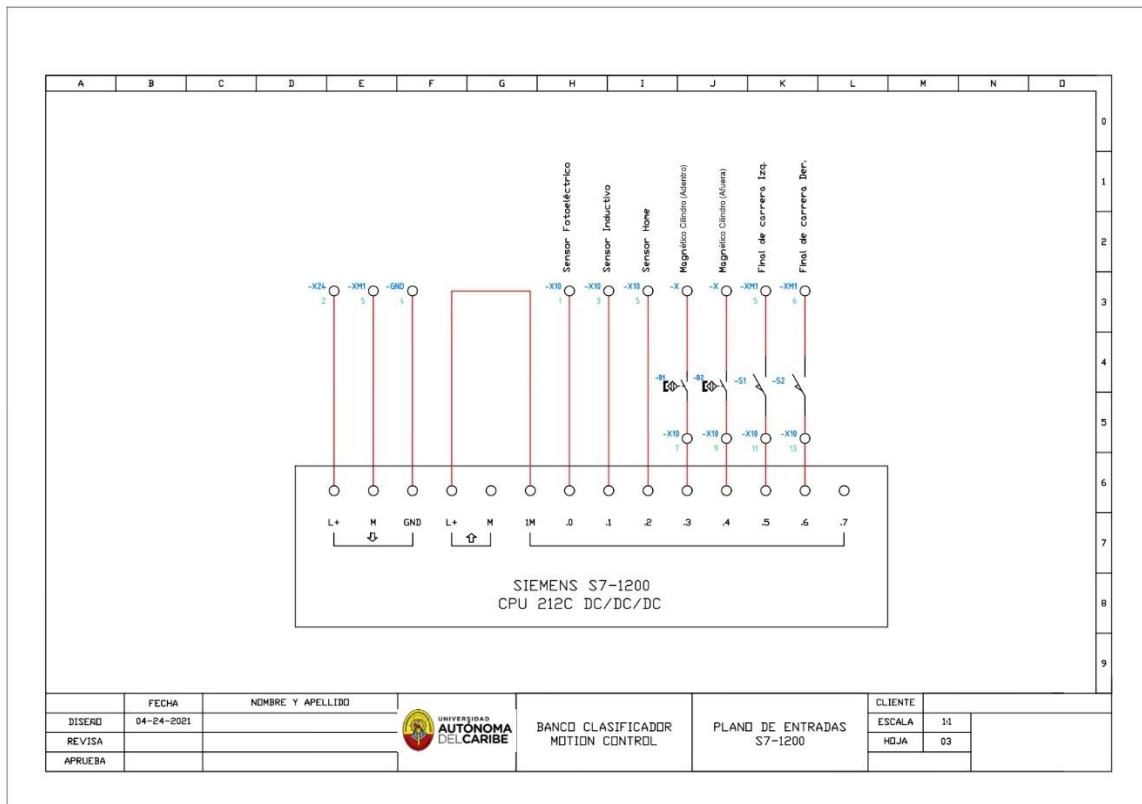


Figura 51. Plano eléctrico conexión PLC. (Fuente propia).

### **5.3 TIPO DE ESTUDIO**

El tipo de estudio aplicado a este proyecto es aplicado, por motivo de la toma de datos experimentales y los datos obtenidos mediante previos ensayos al momento de afinar los detalles para el dispositivo. Esta información se procesa, analiza y estudia para implementar los datos en un software y componentes del dispositivo para ejecutar variedad de acciones en la celda.

## 5.4 CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO

Tabla 2. Plan de trabajo (Fuente propia).

 <b>Universidad Autónoma del Caribe</b> <b>Proyecto de Grado - Ingeniería Mecatrónica</b> <b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> 				
Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración (Días)
Planeación del Proyecto	<b>DISEÑO Y MONTAJE DE UNA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA LA CLASIFICACIÓN DE MATERIALES RECICLABLES CON FINES DIDÁCTICOS EN LA</b>	<b>03/08/2020</b>	<b>04/12/2020</b>	<b>153</b>
Ingresar las fases de Opción de grado I	<b>ANEXOS EN EL LIBRO 1 DE FASES DE OPCION DE GRADO.</b>	<b>03/08/2020</b>	<b>04/12/2020</b>	<b>153</b>
<b>OBJETIVO 1</b>	<b>Diseñar módulos de fabricación flexible para llevar a cabo los procesos de manufactura</b>	<b>04/12/2020</b>	<b>31/12/2020</b>	
<b>Entregable # 1</b>	<b>Identificación de las tecnologías para detección de obstáculos</b>	<b>04/12/2020</b>	<b>20/12/2020</b>	
Actividad 1	Llevar a cabo un estudio de las diferentes tecnologías para la detección de obstáculos.	04/12/2020	10/12/2020	
Tarea1	Confrontar las diferentes tecnologías, para hacer una selección acertada.	10/12/2020	13/12/2020	
Tarea2	Determinar que tecnologías se adaptan a la necesidad del proyecto.	13/12/2020	15/12/2020	
Actividad 2	Identificación de tecnología para detectar materiales.	15/12/2020	17/12/2020	
Tarea1	Selección de dispositivos.	15/12/2020	17/12/2020	
<b>Entregable # 2:</b>	<b>Diseño de modulo</b>	<b>17/12/2020</b>	<b>27/12/2020</b>	
Actividad 3	Diseño del módulo para la clasificación de materiales.	17/12/2020	27/12/2020	
Tarea1	Diseño del banco para el módulo.	17/12/2020	20/12/2020	
Tarea2	Diseño de la celda de automatización.	20/12/2020	27/12/2020	
<b>OBJETIVO 2</b>	<b>Desarrollar un software de comunicación que permita llevar a cabo las ordenes de cada componente dentro de la celda flexible de manufactura</b>	<b>27/12/2020</b>	<b>15/01/2021</b>	
<b>Entregable # 3</b>	<b>Selección de tecnología a usar.</b>	<b>27/12/2020</b>	<b>30/12/2020</b>	
Actividad 5	Adquirir los dispositivos necesarios.	30/12/2020	30/02/2021	
Tarea1	Ejecutar pruebas individualmente a cada componente para detectar posibles fallos.	30/02/2021	15/03/2021	
Tarea2	Validar correcto funcionamiento.	30/02/2021	10/03/2021	
Tarea3	Elaborar la programación para los sensores.	30/02/2021	05/03/2021	
Tarea 4	Validar el correcto funcionamiento de la programación.	30/02/2021	07/03/2021	
Tarea5	Ejecutar pruebas para detectar posibles fallos en la programación.	07/03/2021	15/03/2021	
<b>Entregable # 4</b>	<b>Elección de la válvula de vacío</b>	<b>15/03/2021</b>	<b>30/03/2021</b>	
Actividad 6	Adquirir la válvula.	15/03/2021	18/03/2021	
Tarea1	Caracterizar la válvula de vacío.	18/03/2021	23/03/2021	
Tarea2	Calibrar la válvula según la necesidad.	18/03/2021	22/03/2021	
Tarea3	Examinar la respuesta de la válvula.	22/03/2021	25/03/2021	
Tarea4	Validar el correcto funcionamiento de la programación.	25/03/2021	30/03/2021	
<b>OBJETIVO 3</b>	<b>Evaluar el funcionamiento del dispositivo desarrollado para detectar posibles fallos</b>	<b>30/03/2021</b>	<b>30/04/2021</b>	
<b>Entregable # 5</b>	<b>Prueba y testeo</b>	<b>30/03/2021</b>	<b>15/04/2021</b>	
Actividad 7	Verificar la programación.	30/03/2021	03/04/2021	
Tarea1	Verificar el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores.	03/04/2021	05/04/2021	
Tarea2	Ensayar por separado cada componente.	05/04/2021	07/04/2021	
Tarea3	Efectuar la correcta caracterización de cada componente.	07/04/2021	09/04/2021	
Tarea4	Ratificar mediante pruebas con diferentes materiales el correcto funcionamiento.	09/04/2021	13/04/2021	
<b>Entregable # 6</b>	<b>Correcta sincronización</b>	<b>13/04/2021</b>	<b>30/04/2021</b>	
Actividad 8	Verificar el rango de trabajo del PLC.	13/04/2021	15/04/2021	
Tarea1	Caracterizar el PLC.	15/04/2021	18/04/2021	
Tarea2	Validar la correcta sincronización entre el PLC y los demás dispositivos.	18/04/2021	20/04/2021	
Tarea3	Finalización del dispositivo.	20/04/2021	30/04/2021	

## 6 PRESUPUESTO

### 6.1 PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 3. Presupuesto general.

	<b>PRESUPUESTO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN</b>				GC-IV-PR-05-03
					Versión 5
					21/05/2020
<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>					
	<b>Fuentes de Financiamiento</b>				
<b>RUBROS</b>	<b>Dirección de Investigación y Transferencia</b>	<b>Facultad / Programa</b>	<b>Otras fuentes Externas</b>	<b>Contrapartida UAC</b>	<b>Total</b>
1. Personal Científico	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 30.039.040	\$ 30.039.040
2. Personal de Apoyo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 3.200.000	\$ 3.200.000
3. Consultoría Especializada y Servicios Técnicos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
4. Materiales e Insumos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 3.944.201	\$ 3.944.201
5. Salidas de Campo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
6. Equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 4.550.000	\$ 4.550.000
7. Bibliografía	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
8. Difusión de Resultados	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
9. Viajes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
<b>TOTAL PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 41.733.241</b>	<b>\$ 41.733.241</b>



## 6.2 PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

El presupuesto invertido en este rubro consiste en el costo del tiempo empleado por el personal de investigación vinculados a este proyecto, que incluye a los directores y a los auxiliares de investigación.

Tabla 4. Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTIFICO										
Nombres y Apellidos	Función dentro del Proyecto	Escalafo n Docente	Valor Hora (\$)	Dedicaci ón Horas/s emana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externa s	Contrapartid a UAC	SUB-TOTAL
1. ING CARLOS DÍAZ SÁENZ	Invest. Principal	Asociado	\$ 100.421	5	32				\$ 16.067.360	\$ 16.067.360
2. ING JEAN PIERRE COLL	Co- Investigador	Asistente	\$ 87.323	5	32				\$ 13.971.680	\$ 13.971.680
3.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
4.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
5.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
6.			\$ 0						\$ 0	\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 30.039.040</b>	<b>\$ 30.039.040</b>

Tabla 5. Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO										
Nombres y Apellidos	Función dentro del Proyecto	Tipo de Vinculació n	Valor Hora (\$)	Dedicaci ón Horas/sem ana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Dirección de Investigación y Transferencia	Facult ad / Programa	Otras Fuentes Externa s	Contrapartid a UAC	SUB-TOTAL
1. ARMIN GUERRA SUAREZ	Aux. Investigación	Practicante	\$ 10.000	5	32				\$ 1.600.000	\$ 1.600.000
2. CARLOS SIERRA HERNANDEZ	Aux. Investigación	Practicante	\$ 10.000	5	32				\$ 1.600.000	\$ 1.600.000
3.									\$ 0	\$ 0
4.									\$ 0	\$ 0
5.									\$ 0	\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 3.200.000</b>	<b>\$ 3.200.000</b>

### 6.3 CONSULTORIA ESPECIALIZADA

Tabla 6. Costo consultoría especializada.

3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA Y SERVICIOS TECNICOS EXTERNOS						
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento				
		Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1.						\$ 0
2.						\$ 0
3.						\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>

### 6.4 MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

El presupuesto dedicado a esta sección incluye todos los costos de materiales e insumos utilizados para el desarrollo de la celda.

Tabla 7. Costo materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS						
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento				
		Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Actuadores y componentes neumáticos	Cilindro neumático, Mangueras, Eyector, Silenciador, Racores, Unión, Electroválvula.				\$ 1.292.313	\$ 1.292.313
2. Componentes de comunicación	Controlador lógico programable (PLC), Fuente a 24 VDC para PLC, Módulo Extensión para PLC.				\$ 1.425.700	\$ 1.425.700
3. Actuadores, Sensores, perfiles y tornillos para mesa	Actuador lineal, Controlador motor paso a paso, Relé estado sólido, Fuente suicheada 24VDC, Perfiles aluminio, Tornillos, Tuercas, Uniones, Arandelas, Base mesa, otros.				\$ 1.226.188	\$ 1.226.188
						\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 3.944.201</b>	<b>\$ 3.944.201</b>

Tabla 8. Costo trabajo de campo.

5. SALIDAS DE CAMPO									
Descripción	Lugar	No. de Días	No. de Personas	Costo/día por persona	Fuentes de Financiamiento				
					Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1.									\$ 0
2.									\$ 0
3.									\$ 0
4.									\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>

Tabla 9. Costo equipos usados

6. EQUIPOS							
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento				
			Dirección de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Computador	Diseño y programación	2				\$ 4.400.000	\$ 4.400.000
2. Herramientas	Pinzas, Cortafrio, Pelacables, Taladro, entre otros.	1				\$ 150.000	\$ 150.000
3.							\$ 0
4.							\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 4.550.000</b>	<b>\$ 4.550.000</b>

## 7 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente Celda de manufactura flexible cuenta con dos módulos los cuales cumplen las siguientes funciones. El primer módulo es el de los sensores que detectan el material de la pieza, los cuales trabajan independientemente ya que un sensor es inductivo y otro réflex.

El segundo módulo es el carril deslizante con el cilindro que se encarga de clasificar las piezas en el lugar que le corresponde.

### 7.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Esta sección incluye el diseño de la celda en el software de diseño SolidWorks.



Figura 52. Diseño celda de manufactura flexible, vista Isométrica (propia autoría).

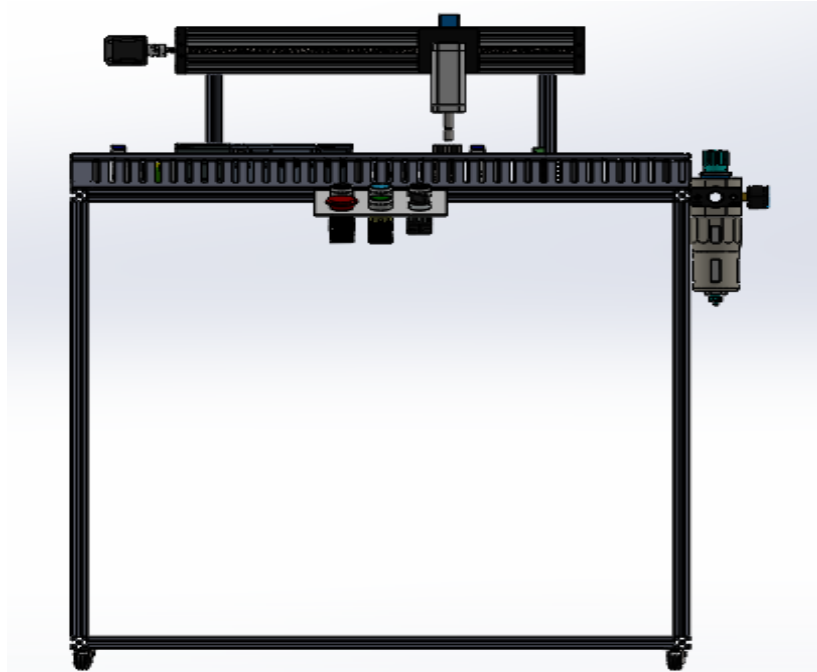


Figura 53. Diseño celda de manufactura flexible, Vista frontal (propia autoría).

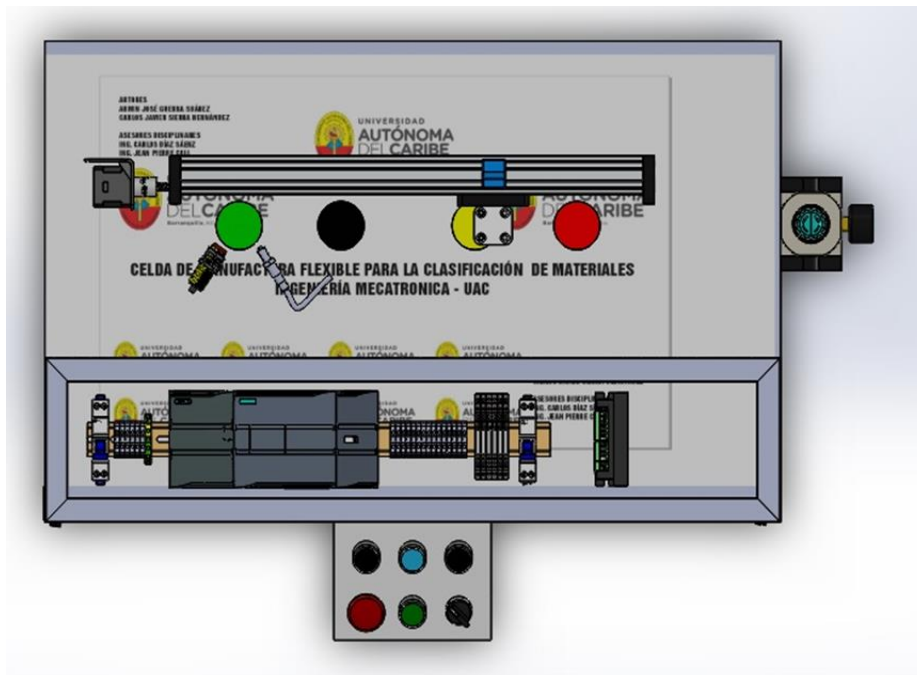


Figura 54. Diseño celda de manufactura flexible, vista superior (propia autoría).

En las figuras anteriores se contempla la celda de manufactura diseñada con ayuda del Software SolidWorks. Se observa la mesa móvil y sobre esta, los dispositivos

eléctricos y neumáticos ensamblados de la mejor manera para dar mayor adaptabilidad a los estudiantes que vayan a utilizar el dispositivo.

## 7.2 DISEÑO DISPOSITIVO FINAL

Se cumplió con éxito la elaboración física de la celda de manufactura flexible, y cada uno de los materiales utilizados para la creación de la esta serán descritos en la sección 6.2. A continuación, se mostrará el diseño final de la celda.

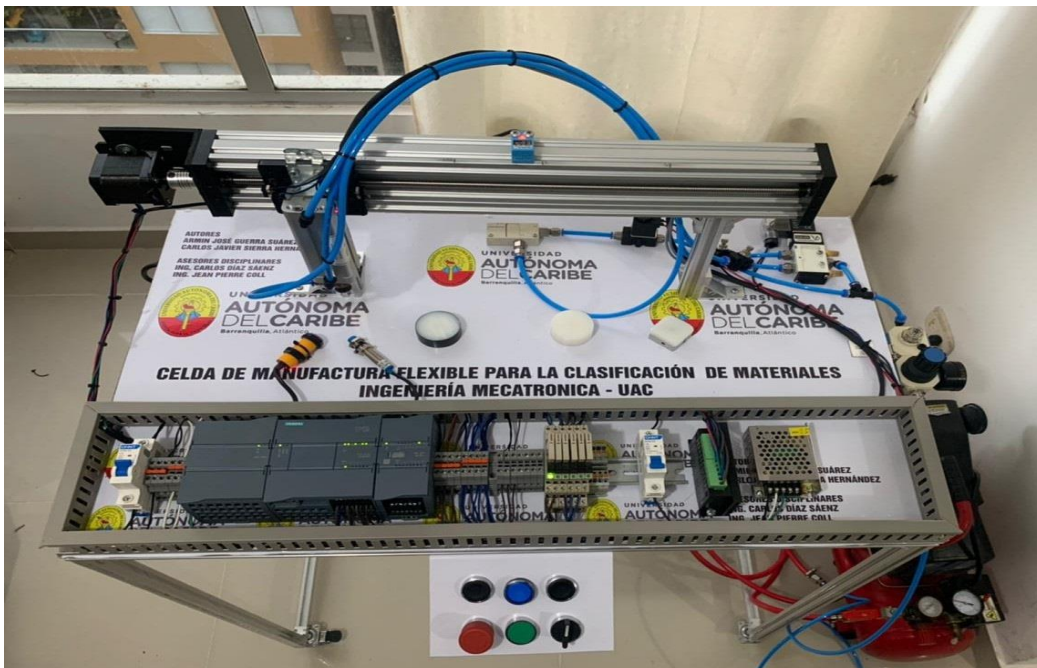


Figura 55. Celda de manufactura flexible, vista superior. (Fuente propia).

## 7.3 RECOLECCIÓN DE DATOS

### 7.3.1 Muestra poblacional

Debido a la emergencia sanitaria presentada a nivel mundial por el virus Covid-19, no se han podido hacer las pruebas con la población de estudiantes de la Universidad Autónoma del Caribe, por lo tanto, hemos realizado las pruebas en casa.

## **7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Al momento de llevar a cabo un análisis en el dispositivo, se comprueba que este cumple con uno de los requisitos principales para ser una celda flexible; el cual es tener un actuador principal para realizar todas las tareas que le sean asignadas, y realizar el trabajo de producción o en este caso de clasificación en línea desde su punto de partida hasta el punto final con variedad de piezas o materiales. Requisito que no cumple un módulo debido a que necesita de la unión de varios módulos para realizar un trabajo en específico desde su punto de partida hasta el punto final.

Otro criterio importante de la celda de manufactura flexible es su respuesta en el sistema aun cuando exista alguna avería en alguno de sus componentes de trabajo, por ejemplo, en caso fortuito que exista daño en alguno de los sensores y no detecte uno de los tres tipos de materiales la celda puede continuar trabajando sin problema alguno realizando clasificación en los otros dos materiales. Acción que no se puede realizar en un sistema modular debido a que, si existe avería en uno de los componentes, el trabajo se frena hasta que se arregle el daño y esto causa pérdida de tiempo, dinero y producción en una empresa.

Después de justificar anteriormente porque el dispositivo es una celda, se determina que esta fue capaz de detectar los materiales de las diferentes piezas y clasificarlas de manera oportuna en los lugares específicos asignados por medio de la programación en los dos modos de operación asignados; ya sea automática o manualmente. Cabe mencionar que una de las piezas utilizada en los experimentos no es la adecuada, pero cumple con el criterio para realizar las pruebas.

### **7.4.1 Análisis de las pruebas realizadas por el prototipo**

Para los ensayos del prototipo se ejecutaron con 3 piezas, las cuales para cada una de ellas se buscó que fueran de diferentes materiales. Los tres materiales fueron: Aluminio, Polipropileno y Empack, esto con el fin de comprobar el correcto funcionamiento y la adaptabilidad por parte de las piezas.

#### 7.4.2 Primera prueba prototipo

En la ejecución de las primeras pruebas para la celda, fueron realizadas programando la calibración del motor que mueve el carrito deslizante, estas consistieron en medir cuantos centímetros se movía el carrito por cada vuelta del motor, así fijamos según las medidas que tomamos cada punto de clasificación y también se fijó la velocidad del motor. Al igual que se calibro el sensor inductivo que va a referenciar su posición de inicio o Home que será en la parte central del actuador lineal.

Se puede observar claramente en la siguiente Figura el sensor ubicado en la parte central del actuador lineal quien es el encargado de mantener la posición de referencia.



Figura 56. Prueba y calibración del motor. (propia autoría).

Al llevar a cabo las primeras pruebas se encontraron defectos poco problemáticos en cuanto a la programación ya que en ocasiones el dispositivo recibía datos erróneos. Se realizaron las acciones pertinentes para modificar, corregir y solucionar este problema para obtener las metas del proyecto celda de manufactura flexible. La programación se podrá contemplar en el manual de usuario.



### 7.4.3 Segunda prueba prototipo

Después de ejecutar una revisión, se realizaron las modificaciones pertinentes, se arreglaron algunos de los fallos presentados por parte de la programación y más adelante se procederá a realizar nuevos ensayos experimentales.

Las segundas pruebas se tomaron como objetivo primordial la parte neumática de la celda y de sensores. para llevarlas a cabo se procedió por el préstamo de un compresor de aire debido a que por cuestiones de pandemia como se mencionó anteriormente no se logró trasladar el dispositivo a las instalaciones de la Universidad. Se opto por trabajar todo el dispositivo desde casa para lograr culminar con éxito las primeras pruebas experimentales de la celda flexible.

Para la realización de estas pruebas; se procedió a la programación y calibración de los sensores inductivos, Magnéticos y réflex para la clasificación de los materiales, la cual se pudieron realizar sin ninguna falla al momento de su desempeño. La programación se puede contemplar en Anexos.



Figura 57. Prueba de sensor inductivo para detección material metálico. (propia autoría).

En la figura anterior se observa un indicador led en la parte posterior del sensor inductivo indicando la detección de un objeto metálico y esta señal de salida que emite dicho sensor es conectada por medio del cable al plc para su respectivo procesamiento y activación de actuadores para trasladar pieza al puesto de materiales metálicos. Esta acción de culmina junto con la programación.



Figura 58. Prueba de sensor réflex para detección material Empack. (propia autoría).

Mediante la figura expuesta anteriormente se hace posible observar el indicador led del sensor réflex. Este componente emite un haz de luz, el cual al chocar con un objeto regresara a este. El material Empack al tener superficie de color negro, absorbe el haz de luz que emite el sensor y por ende se enciende el led puesto que es un sensor normalmente cerrado. Estas condiciones se programaron y se contemplan en los anexos.



Figura 59. Prueba de sensor réflex para pieza de polipropileno. (propia autoría).

En la figura anterior se observa que el indicador led del sensor réflex se apaga indicando que hay detección del objeto blanco; en este caso el material polipropileno. esta señal de salida se envía desde el sensor hacia el plc para su procesamiento y se programan las condiciones en el tia portal para que realice correctamente el proceso de clasificación y dirija la pieza de polipropileno a su puesto de llegada o posición final.

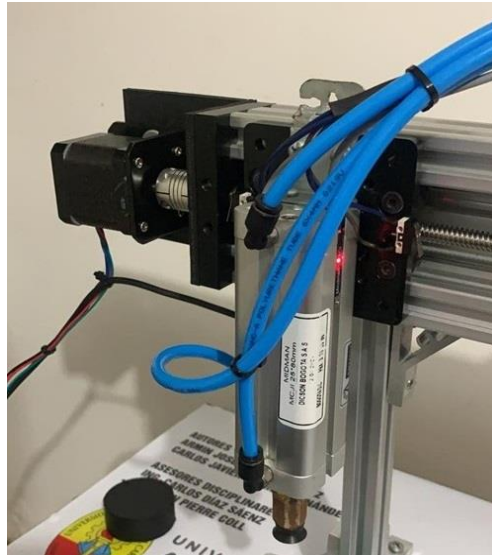


Figura 60. Prueba sensor magnético para detección de vástago posición inicial. (propia autoría).

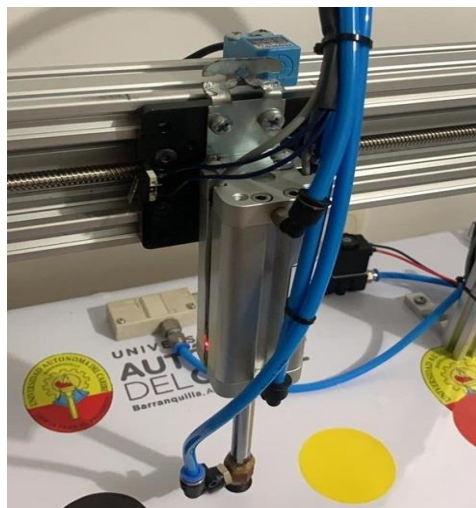


Figura 61. Prueba sensor magnético para detección de vástago posición final. (propia autoría).

Continuando con la prueba y calibración de sensores se puede apreciar en las dos figuras anteriores, el sensor magnético indica por medio de un led rojo cuando el

vástago se encuentra en su posición inicial y cuando este sale a la búsqueda de la pieza para hacer el trabajo de clasificación con ayuda de la ventosa.

Al tener el sistema de detección en funcionamiento se llevan a cabo los ensayos con las piezas a clasificar y se obtiene un resultado positivo de parte del dispositivo.

#### 7.4.4 Análisis de las pruebas realizadas por el dispositivo final

Al momento de realizar las pruebas finales se verifico el correcto funcionamiento de la celda. Posteriormente se procedió a activar el sistema neumático y a realizar los ensayos correspondientes. Se regula la presión que entra al sistema con la unidad de mantenimiento, siendo 40 a 60 Psi (Libra/Pulgada cuadrada) la presión ajustada para utilizar la celda en total estabilidad. También solo se regula la presión del cilindro para que su movimiento sea lento. Las electroválvulas permiten el flujo de aire activándose o desactivándose por medio de la programación establecida en el PLC.

La velocidad de la celda es de 5Cm por segundo. Se determino esta velocidad para que el motor funcione correctamente en las paradas, activación de final de carrera y al momento de arrancar para continuar con el proceso de clasificación. Al momento de las pruebas de calibración y velocidad, la velocidad establecida como predeterminada fue la que entrego mejor respuesta.

A continuación, se detallará cada uno de los procesos en funcionamiento del dispositivo; en modo automático y modo manual.

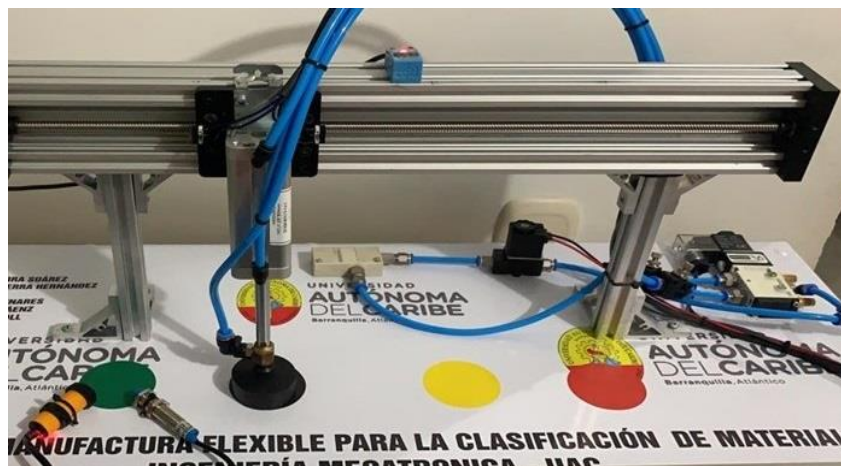


Figura 62. Prueba final con material empack. (propia autoría).

Tabla 10. Especificaciones y condiciones de operación componentes eléctricos.

ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES DE OPERACIÓN				
Componentes eléctricos	Voltaje	Corriente	Temperatura	Peso
Fuente PM 1207	In:110/230VAC. Out: 24VDC.	In: 1,15A/0,7A. Out: 2,5A.	60°C Max.	300g
PLC S7-1200	24 VDC.	1,2A	60°C Max.	370g
Breaker	110/230VAC.	1 ~ 10A	-5°C ~ 40°C	87g
Relés	24VDC.	0,0133A	-40°C ~ 55°C	35g
Driver TB6600	24VDC.	In: 5,0. Out: 0,5 ~ 4,0A	-10°C ~ 45°C	200g
Motor nema 17	24VDC.	1,2A	-10°C ~ 40°C	350g
Módulo expansión	110/230 VAC	2A	-20°C ~ 60°C	130g
Sensores magnéticos	5 ~ 240VDC/AC	0,1A	-40°C ~ 105°C	23g
Sensor Réflex	24VDC.	0,02A	-25°C ~ 70°C	42g
Sensor inductivo SN04	5 ~ 36VDC	0,005A	-25°C ~ 65°C	39g
Sensor inductivo LJ12A3	6 ~ 36VDC	0,3A	-25°C ~ 55°C	45g
Pulsadores	0 ~ 380VAC	6A Max.	-5°C ~ 40°C	64g
Selector	0 ~ 350VAC	6A Max.	-5°C ~ 40°C	64g

En la tabla plasmada anteriormente se pueden visualizar las especificaciones de cada componente eléctrico utilizado para la celda flexible de manufactura. Se determinan los voltajes máximos de operación; al igual que las corrientes, temperaturas de operación y el peso de cada uno de ellos.

La alimentación principal de la celda viene de la fuente SIMATIC PM1207 en donde alimenta a 24VDC el controlador lógico programable y controlador del motor, motor, sensores y relés. Se determina que para el control de la celda el voltaje es de 24V. Todas las conexiones se conectaron en paralelo; por lo que el voltaje para cada componente es el mismo y no cambia. La corriente total consumida por los componentes eléctricos es de 2,53 Amperios.

De igual manera se detallan los rangos de temperaturas de cada componente para que trabajen eficientemente sin ningún tipo de fallo.

Para el módulo expansión SIMATIC SM1223, la alimentación es de 110VAC para trabajarlo con la botonera. Las respuestas que entrega la celda al mantenerlo en modo manual salen directamente del PLC a 24V y la entrada es a 110VAc.

*Tabla 11. Especificaciones y condiciones de operación componentes neumáticos.*

<b>ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>			
<b>Componentes Neumáticos</b>	<b>Voltaje y corriente</b>	<b>Presión</b>	<b>Temperatura</b>
Cilindro Neumático		7,25 ~ 145 Psi	-5°C ~ 60°C
Mangueras		0 ~ 150 Psi	-20°C ~ 70°C
Válvula solenoide	24VDC/0,25A	0 ~ 100 Psi	-5°C ~ 80°C
Electroválvula	24VDC/0,2A	21 ~ 114 Psi	-5°C ~ 60°C
Unidad de mantenimiento		21 ~ 128 Psi	-20°C ~ 70°C
Eyector de vacío		0 ~ 87 Psi	5°C ~ 60°C
Ventosa		-13,05 ~ 0 Psi	0 ~ 55°C

En la parte neumática, se detalla en la tabla 11 presentada anteriormente sus especificaciones y condiciones de operación, desde el voltaje de las dos válvulas activadas eléctricamente hasta las presiones y temperaturas. para la alimentación total del sistema neumático se utilizó una presión de 40 a 60 Psi (lb/plg<sup>2</sup>) como referencia, esta presión es la que maneja y controla cada componente neumático de la celda flexible de manufactura. En el cilindro se implementó un regulador de flujo manual única y exclusivamente para que el movimiento del vástago sea lento y este puede variarse según las necesidades del usuario.

De igual manera de plasman los rangos de temperatura para un correcto funcionamiento; teniendo en cuenta que la celda será utilizada a temperatura ambiente. Y se referencian las presiones máximas que maneja cada componente.

#### **7.4.5 Prueba final modo Automático**

En esta prueba se procedió a encender la maquina y activarla en modo automático para realizar el proceso de clasificación. el estudiante autor de proyecto coloca la pieza de material EMPAK (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular) en la sección de sensores para su respectiva clasificación. al momento de tener la pieza en el rango de detección de los sensores; se acciona el pulsador de inicia e inicia el proceso clasificatorio llevando la pieza al puesto asignado mediante la respectiva programación.

Por consiguiente, se realiza una segunda prueba final colocando una pieza de aluminio en la sección de sensores para que sea detectada y mediante la



programación establecida, la pieza fue tomada por la ventosa y trasladada a su sección de piezas metálicas. Se aprueba un correcto funcionamiento en los dos primeros materiales antes mencionados y se procedió a realizar dos últimas pruebas adicionales para descartar errores al momento de clasificar todas las piezas en su totalidad.



Figura 63. Clasificación del material empak. (propia autoría).



Figura 64. Clasificación del material metálico. (propia autoría).

Para la última prueba final en modo automático, se procedió a montar en sección de sensores la pieza de material polipropileno para su respectiva clasificación y el

funcionamiento fue totalmente correcto. Gracias a el correcto funcionamiento de la celda en los cada uno de los ensayos ejecutados en modo automático, confirmamos su total puesta en marcha.



Figura 65. Clasificación de material polipropileno. (propia autoría).

Cada una de las pruebas se realizó de manera aleatoria para verificar que la celda responda a cada uno de los materiales correctamente y descartar posibles fallos en la parte de programación o algún falso contacto en las conexiones del circuito eléctrico.

#### **7.4.6 Prueba final modo manual**

Para la última prueba modo manual, se procede a la activación de este en la botonera. Como se puede apreciar en la (figura 68), el dispositivo realiza el movimiento del cilindro neumático a la izquierda y derecha con los pulsadores asignados mediante la programación. El ensayo es correcto al igual que la calibración de este, movilizándose el actuador lineal a cada uno de los extremos sin problema alguno.

Continuando con el último ensayo modo manual, se referencia el eje pulsando el piloto azul por 3 segundos y desde cualquier posición que se encuentre este va a dirigirse a una de las puntas del actuador lineal y va a regresar a la posición de



Home. Teniendo en cuenta que esta acción se realiza para mantener la calibración del dispositivo y funcione correctamente a la hora que realizar una acción. Este ensayo se puede ver en la (figura 70).



Figura 66. Movimiento izquierda modo manual. (propia autoría).



Figura 67. Referenciar actuador modo manual. (propia autoría).

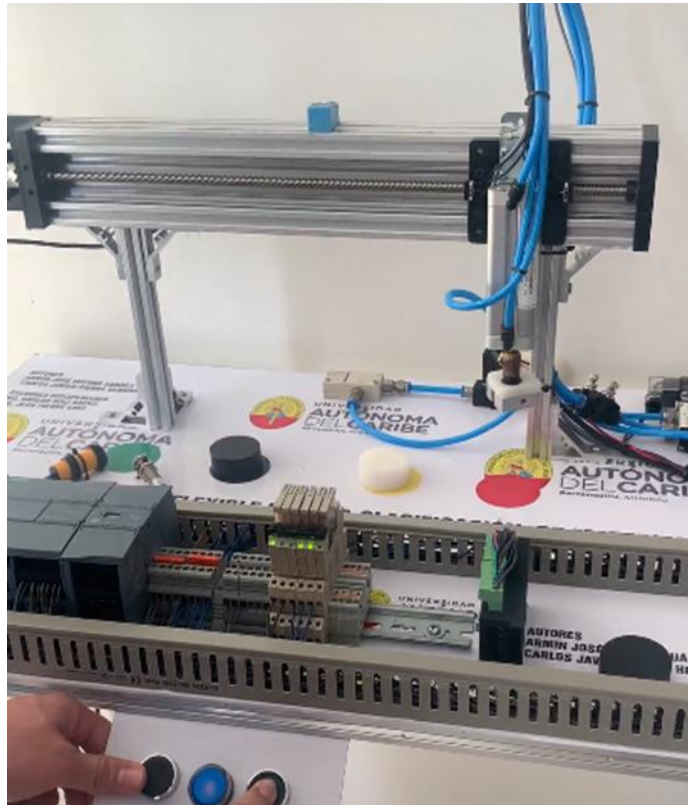


Figura 68. Activación sistema neumático modo manual. (propia autoría).

En la prueba para que el dispositivo se ubique en las posiciones de acción se hace necesario pulsar el botón verde(start), para que se ubique en posición inicial de trabajo, que es donde va a tomar la pieza a clasificar, luego al pulsar nuevamente pulsador start se dirige a la siguiente posición que es la de clasificación material empack y así continúa moviéndose el actuador lineal hasta la última posición de clasificación que es la de material metálico.

Finalmente se llega a la última configuración modo manual, en donde se activa el sistema neumático manteniendo pulsado ambos botones negros del sistema. Después de realizar dicha acción el sistema neumático queda activado y con pulsador izquierdo y derecho se acciona cilindro al igual que la ventosa y su funcionamiento es totalmente correcto con la calibración necesaria para mantener todo el sistema trabajando establemente.

Tabla 12. Validación de orden programada vs resultado final.

<b>Posición</b>	<b>Orden programada</b>	<b>Resultado final</b>
Inicio	0.0	0.0
Posición 1	-175 mm	-175mm
Posición 2	-70 mm	- 70 mm
Posición 3	70 mm	70 mm
Posición 4	175 mm	175 mm

En la tabla de validación anterior podemos observar los valores programados para el movimiento del carril deslizante y la respuesta, obteniendo una efectividad de del 99.9% ya que la velocidad de carrera del motor fue la apropiada, las posiciones referenciadas en negativo y positivo son el sentido de giro del motor partiendo del punto de inicio, siendo negativo a la izquierda y positivo a la derecha.

Al terminar cada uno de los ensayos finales para verificar total funcionamiento de la celda, se comprueba que cumple el objetivo principal el cual es la clasificación de materiales con fines didácticos.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Posterior al desarrollo del proyecto, se obtiene un dispositivo totalmente funcional dando como resultado la celda de manufactura flexible para la clasificación de materiales reciclables con fines didácticos, con el cual se logra satisfactoriamente que la maquina por medio de los sensores identifique y clasifique en un lugar específico las piezas a seleccionar, las cuales fueron posibles ordenar y trasladar con ayuda de la ventosa ensamblada en un cilindro neumático, y el cilindro montado en un carril deslizante.

Este proyecto cumple con los objetivos establecidos y va a tener contacto constante con los estudiantes para realizar prácticas de laboratorio. se hizo necesario obtener materiales de buena calidad para mayor durabilidad y con la correcta calibración de los actuadores y sensores obtenemos un resultado optimo positivo cumpliendo cada uno de los objetivos ya planteados anteriormente que es el de una celda de manufactura flexible para clasificación de materiales reciclables con fines didácticos en la universidad autónoma del Caribe.

Para el control de dicha celda fue necesario el uso de un controlador lógico programable debido que, para la simulación de procesos industriales; es de vital importancia emplear dichos controladores. En la parte de clasificación se optó por implementar piezas cilíndricas para mayor flexibilidad al momento de que los estudiantes puedan tomarla y satisfacer las necesidades del proyecto de forma didáctica.

Finalmente, con todos los ensayos realizados al dispositivo a lo largo del tiempo de desarrollo de este; se concluye que cada uno de los estudiantes que haga uso de la celda de manufactura flexible, les facilitara el aprendizaje en lo que respecta al uso de controladores lógicos programables y sistemas flexibles de manufactura para uso en la industria.

Posterior al desarrollo del presente proyecto, observación y análisis de resultados obtenidos, se plantean las siguientes conclusiones en función de los objetivos específicos, de tal modo que se conocerán de forma individual a continuación:

1. Respecto al primer objetivo específico concerniente al diseño de módulos de fabricación flexible para llevar a cabo los procesos de manufactura, permitió recolectar la información necesaria para determinar los componentes electrónicos y neumáticos que mejor se adaptaran a el dispositivo teniendo en cuenta en este caso que la celda es didáctica y tiene que ser lo más similar a un proceso real de la industria.
2. En cuanto al segundo objetivo específico cuyo fin es desarrollar un software de comunicación que permita llevar a cabo las ordenes de cada componente dentro de la celda de manufactura flexible, se hizo posible diseñar un algoritmo en lenguaje Ladder o escalera; ejecutado y compilado en el Software Tia Portal. Dicho algoritmo se testeó y modificó a medida que se ensambló cada componente. se determinó el correcto funcionamiento de la celda de manufactura flexible en sus dos modos, Manual para el uso del dispositivo con botones industriales y Automático para que la celda funcione autónomamente sin necesidad de darle instrucciones.
3. Como último objetivo específico, está dirigido al desarrollo del manual de usuario y prácticas de laboratorio para llevar a cabo el correcto uso del dispositivo, se hizo posible realizar un manual de usuario completo donde especifica con imágenes y en detalle el correcto uso del dispositivo, sus componentes, la manera correcta de utilizarlo desde su encendido, el proceso y finalmente la forma correcta de apagarlo. También se realizaron 3 guías de laboratorio para que los estudiantes puedan realizar prácticas de laboratorio y entiendan mejor el uso e importancia de estos sistemas manipulados con controladores lógico-programables (PLC).

Como recomendación teniendo en cuenta la retroalimentación. Para futura mejora se puede optar por implementar una pantalla HMI al sistema para tener una completa interfaz hombre-maquina. De igual manera otra mejora es la de que los

futuros estudiantes próximos a graduarse de ingeniería mecatrónica puedan realizar proyectos similares para el mejoramiento de los laboratorios de la universidad autónoma del caribe.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas flexibles de manufactura”, tesis [online]. Disponible: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7805/Capitulo2.pdf>. [Accessed: 28- Oct- 2020].
- [2] V. Ortega, U. Núñez. “Diseño e implementación de un sistema de supervisión y control didáctico para el laboratorio de fabricación flexible”, Título para obtener grado de Ingeniero electrónico, Universidad politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2013.
- [3] J. Ortega, “Sistemas flexibles de manufactura para entornos académicos como respuesta al desarrollo tecnológico de las pymes en Colombia”, Revista Tecnología, Vol. 2, No.1, pp. 81-88, 2016.
- [4] D. Álvarez. M. Chaquea, “Proceso de reingeniería de la celda flexible de manufactura didáctica del laboratorio de automatización”, trabajo para obtener título de ingeniero Mecánico, Fundación universidad de américa, Bogotá, Colombia, 2018.
- [5] L. G. Francisco, “integración de una celda de manufactura computarizada integrada en un ambiente dae”, Título para obtener grado de Maestro, Universidad Autónoma Nuevo León, México, Febrero 1994.
- [6] A. Martínez, F. Espinoza, “propuesta de transición de proceso de producción manual a proceso automatizado en la empresa cilindros ucc implementando las herramientas de lean e industria 4.0”, Título para obtener grado de Ingeniero Industrial, Universidad Cooperativa De Colombia, Neiva, Colombia, Junio 2019.
- [7] M. Jaramillo, “Diseño e implementación de un sistema de clasificación didáctico para supervisar un proceso industrial en el laboratorio de hidrónica y neutrónica”, Título para obtener grado de ingeniero electromecánico, universidad de las fuerzas armadas, Latacunga, Ecuador, 2015.
- [8] C. Álvarez, “Diseño y puesta en marcha de estaciones de montaje de una línea de producción”, trabajo para obtener título de ingeniero en tecnologías industriales, Universidad politécnica de Madrid, Madrid, España, 2018.

- [9] D. Ramírez. A. Ramírez, “Diseño de modulo para celda de manufactura flexible con tecnología Lego”, Trabajo para obtener título de tecnólogo en Mecatrónica, Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2013.
- [10] A. De la Cruz. J. Donoso, “Diseño y construcción de una máquina didáctica clasificadora de objetos mediante visión artificial para el Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos”, Trabajo para obtener título de ingeniero mecánico, Escuela politécnica nacional, Quito, Ecuador, 2016.
- [11] L. Zapata. D. Rivera, “Diseño e implementación de un sistema de producción modular didáctico para el laboratorio de automatización industrial Mecatrónica”, Trabajo para obtener título de ingeniero Mecatrónico, Universidad de las fuerzas armadas, Latacunga, Ecuador, 2013.
- [12] “Dinero. La automatización será una realidad”, [Online]. Disponible: <https://www.dinero.com/emprendimiento/articulo/automatizacion-en-las-empresas-colombianas-en-el-2020-segun-deloitte/242846>.
- [13] J. Soler, “ABC La actividad productiva de la industria” An application [Online]. Disponible: [https://www.abc.es/economia/abci-produccion-industrial-espana-continua-desaceleracion-y-crece-06-por-ciento-2019-202002070928\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/economia/abci-produccion-industrial-espana-continua-desaceleracion-y-crece-06-por-ciento-2019-202002070928_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F).
- [14] D. Quintana, “Propuesta de modelamiento de un sistema de manufactura flexible mediante instrumentos virtuales y software hmi/Scada”, M.S. tesis, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2013.
- [15] D. Quintana, “Diseño y desarrollo de un prototipo de un sistema de manufactura ejecutable”, trabajo optar título ingeniero industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2012.
- [16] G. Díaz, E. Mañay, “Diseño e implementación de una celda flexible de manufactura de orden aleatorio y distribución en línea”, trabajo para obtener título ingeniero mecatrónico, Universidad de las fuerzas armadas, Latacunga, Ecuador, 2017.
- [17] B. Monje, T. Moreno, “Programación y puesta en marcha de estación de procesamiento de imagen y de almacenamiento en celda flexible mps-500, Festo”,



trabajo para obtener título técnico en Robótica y Mecatrónica, Universidad técnica Federico santa maría, Hualpén, Chile, 2018.

[18] N. Sosa, M. Velandia, “Rediseño de la estación mecatrónica del laboratorio de automatización industrial”, trabajo para obtener título de ingeniero mecatrónico, Universidad piloto de Colombia, Bogotá, Colombia, 2017.

[19] R. Chamorro, “Puesta en marcha de una célula de fabricación: robot, almacén y comunicaciones mediante profibus”, trabajo para obtener título de ingeniero técnico industrial especialidad electrónica industrial, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España, 2009.

[20] M. García, G. Caiza, “Implementación de sistemas distribuidos de bajo costo bajo norma IEC-61499, en la estación de clasificación y manipulación del MPS 500”, Ingenius. No.18, pp. 40-46, Diciembre 2017.

[21] A. Banton, “Sistema de control y supervisión de las estaciones de distribución y clasificación modular Festo”, trabajo para obtener título de ingeniero electrónico, Instituto tecnológico de costa rica- escuela de ingeniería electrónica, Cartago, Costa Rica, 2008.

[22] R. López, “Diseño y construcción de un sistema flexible modular de clasificación de piezas con PLC’s SIMATIC (SIEMENS)”, trabajo para obtener título de ingeniero electrónico, Universidad politécnica salesiana sede Quito, Quito, Ecuador, 2013.

[23] L. Murillo, “Diseño del programa de control para una celda de manufactura flexible didáctica”, Tecnología en Marcha, Vol. 27, No.18, pp. 41-52, Septiembre 2014.

[24] G. Jheison, “Modelamiento en un entorno virtual de la celda de manufactura smc-fms-200”, trabajo para obtener título de ingeniero mecánico, Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2015.

[25] C. Romero. J. Méndez, “Diseño y construcción del equipo celda de manufactura didáctica, como medio para alcanzar objetivos de aprendizaje.”, Revista de políticas universitarias, Vol. 01, No.2, pp. 47-56, Diciembre 2017.

[26] L. Guerrero. M. Muñoz, “Diseño y ensamble de una celda de manufactura didáctica para el programa de ingeniería industrial”, trabajo para obtener título de

ingeniero Industrial, Universidad Nacional abierta y a distancia, Valledupar, Colombia, 2020.

[27] J. Ocampo. J. Perea, “Celda de manufactura automatizada mediante lego mindstorms en la universidad autónoma de occidente”, trabajo para obtener título de ingeniero Industrial, Universidad Autónoma de Occidente Cali, Colombia, 2019.

[28] V. R. Erick, Sistemas flexibles de manufactura, Artículo científico, Universidad Del Norte, Barranquilla, Colombia, 15 Septiembre 1995.

[29] (2011, Ene 01). Controladores industriales inteligentes. [Online]. Disponible: [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE6\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf).

[30] “Motores paso a paso, Control de un motor paso a paso”, Universidad pública de Navarra. [Online]. Disponible: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/3547/577435.pdf?sequence=1>. [Accessed: 15- Oct- 2020].

[31] “Actuadores lineales”, (2016, nov). Componente Ingeniería. [online]. Disponible: <https://www.hisour.com/es/linear-actuator-42835/>. [Accessed: 10- Mar- 2021].

[32] “Introducción a la automatización industrial”, Weg [online]. Disponible: [https://bookdown.org/alberto\\_brunete/intro\\_automatica/sensores-industriales.html](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sensores-industriales.html). [Accessed: 15- Oct- 2020].

[33] “Sensores Inductivos, Sensores industriales”, Weg [Online].Disponible: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas-y-Sensores-Industriales/Sensores-Industriales>. [Accessed: 15- Oct- 2020].

[34] “Seguridad de máquinas y sensores industriales”, Weg, [online]. Disponible: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas-y-Sensores-Industriales/Sensores-Industriales/Sensores-Capacitivos>. [Accessed: 15- Oct- 2020].

[35] A. Creu, “Neumática e Hidráulica “, Editorial AlfaOmega, Marcombo ediciones técnicas s.a, Vol. 03, No.1, pp. 15-18, 2007.

- [36] “Cilindros neumaticos”, Cilindros norma ISO 6431. [Online]. Disponible: <http://www.destacoingenieros.com/productos/neumatica/cilindros-neumaticos/cilindros-norma-iso-6431/>. [Accessed: 30- Jun- 2021].
- [37] “Neumática, Actuadores neumáticos, Unidad didáctica 3”, Artículo Centro de estudios superiores abiertos [Online]. Disponible: Pdf pp6-10.
- [38] “Lenguajes de programación”, 5 Lenguajes de programación para Plc. [Online]. Disponible: <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-plc/>. [Accessed: 11- Nov- 2020].
- [39] “Sistema modular didáctico de ensamble flexible”, FMS-200. [Online]. Disponible: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/293>. [Accessed: 11- Nov- 2020].
- [40] “Sistema de producción modular”, Festo. [Online]. Disponible: <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/mps-el-sistema-de-produccion-modular> Accessed: 11- Nov- 2020].
- [41] “Definición de Manufactura”, Definición ABC, 2020. [Online]. Disponible: <https://www.definicionabc.com/general/manufactura.php>. [Accessed: 27- Apr- 2020].
- [42] “Definición Sensores”, Sensores ISA, [Online]. Disponible: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>. [Accessed: 15- Oct-2020].
- [43] “Definición Motor Eléctrico”, Definición ABC, [Online]. Disponible: <https://www.definicionabc.com/motor/motor-electrico.php>. [Accessed: 15- Oct- 2020].
- [44] “Definición Actuator”, Definición Blog comites, [Online]. Disponible: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf> [Accessed: 15- Oct-2020].
- [45] “Definición Neumática”, Definición Blog Tecnología, [Online]. Disponible: <https://www.areatecnologia.com/que-es-la-neumatica.htm> [Accessed: 15- Oct- 2020].
- [46] “¿Qué es Programación Informática? Su Definición y Significado”. (2019). [Accessed: 15-Oct-2020]. Disponible: <https://conceptodefinicion.de/programacion-informatica/>

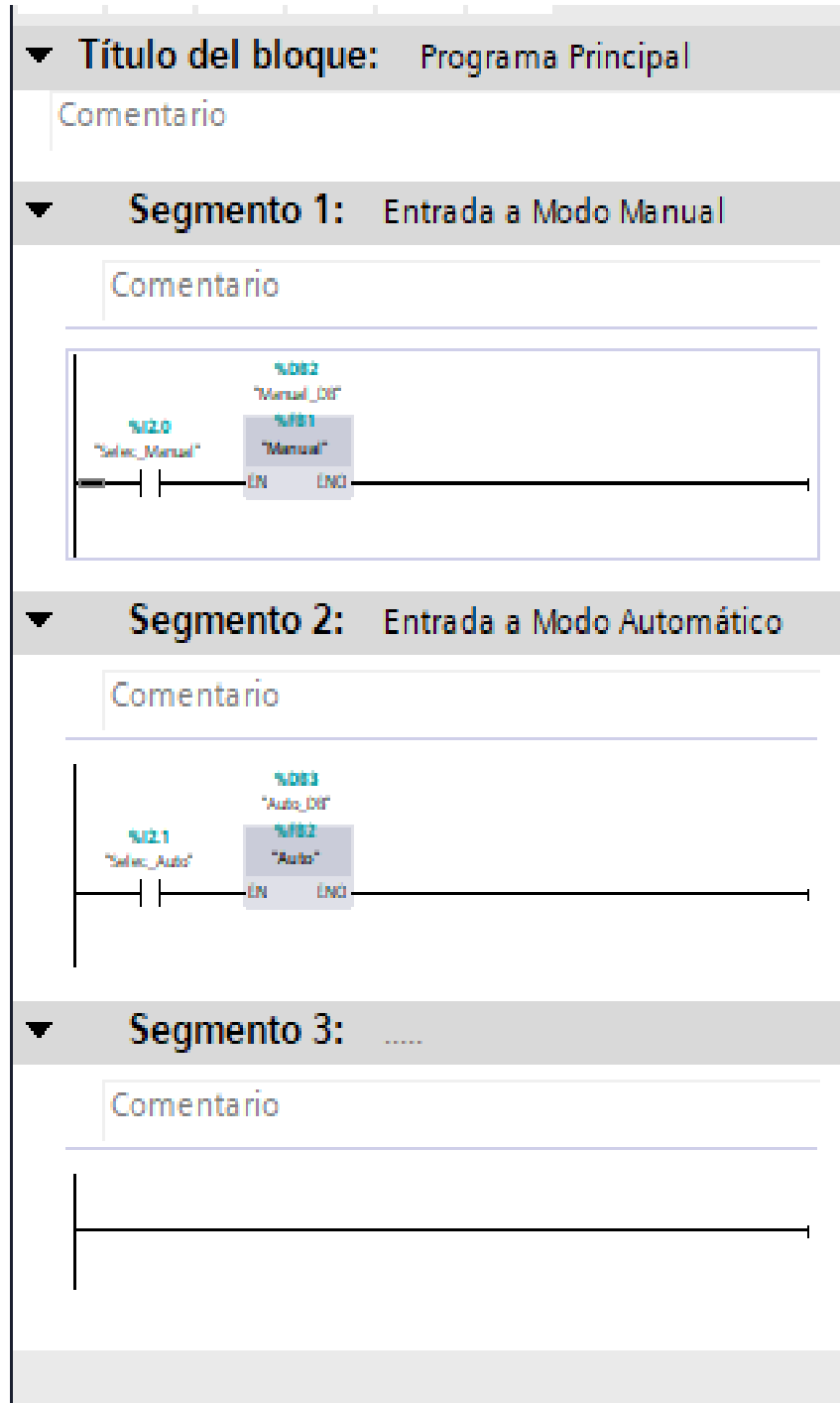
[47] “Definición De PLC”, , [Online]. (2019) Disponible: <https://definicion.de/plc/>  
[Accessed: 15- Oct-2020].

[48] “Metodologías Mixtas”, Introducción a la metodología de la investigación científica [Online]. (2018) Disponible: <http://cleuadistancia.cleu.edu.mx/cleu/flash/PAG/lecturas/metodologia/2/Enfoque>.  
[Accessed: 30- Jun-2021].

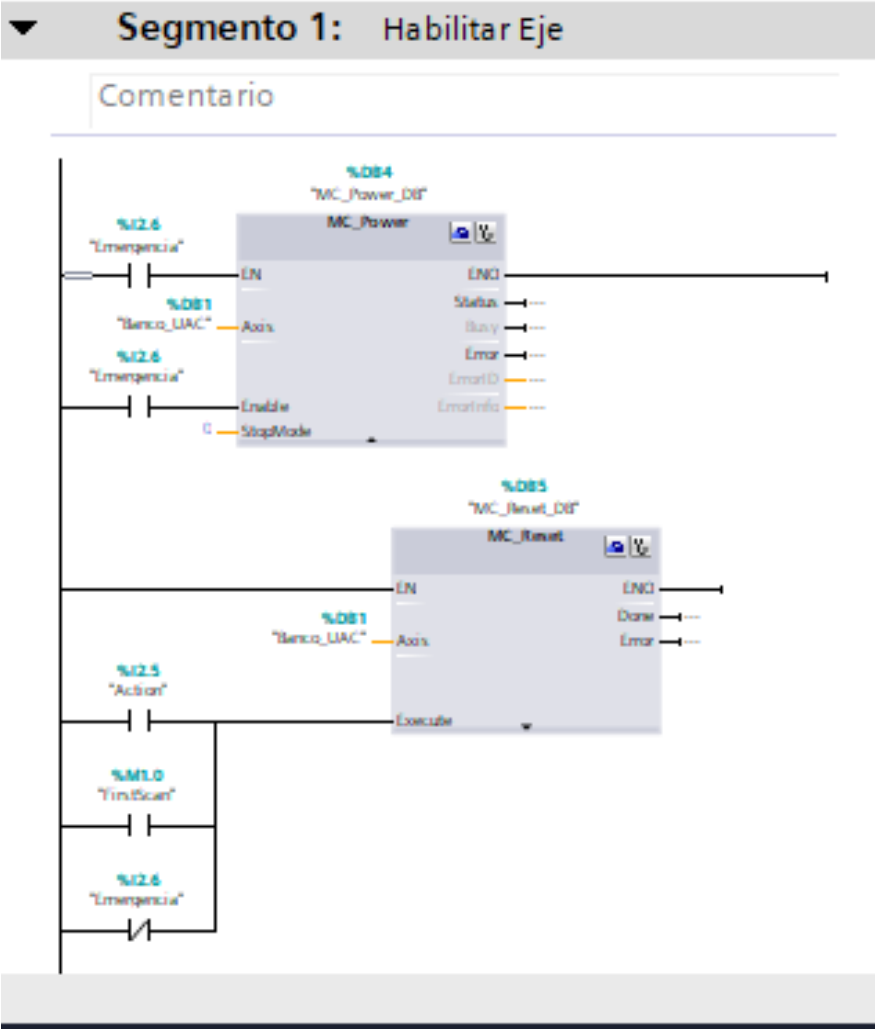
## 10 ANEXOS

### CODIGO FUENTE CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA PARA LA CLASIFICACION DE MATERIALES

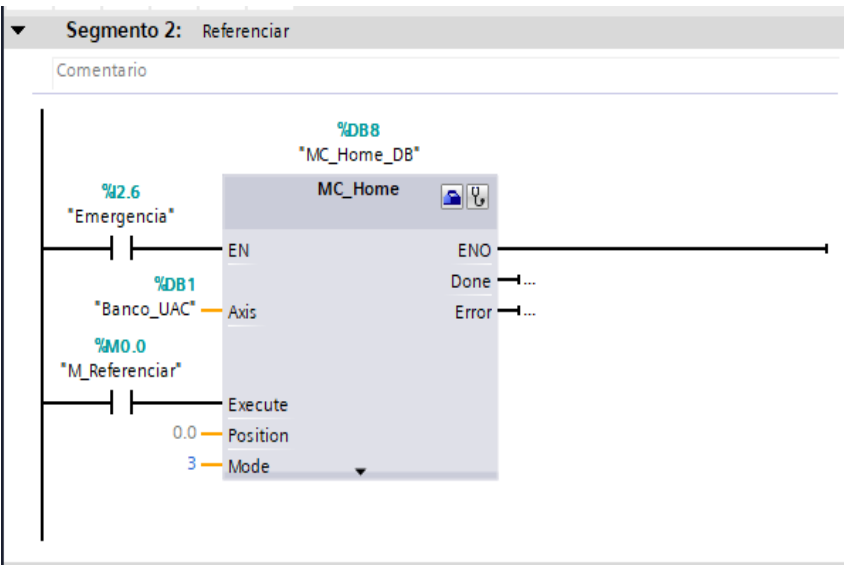
#### Main programa principal



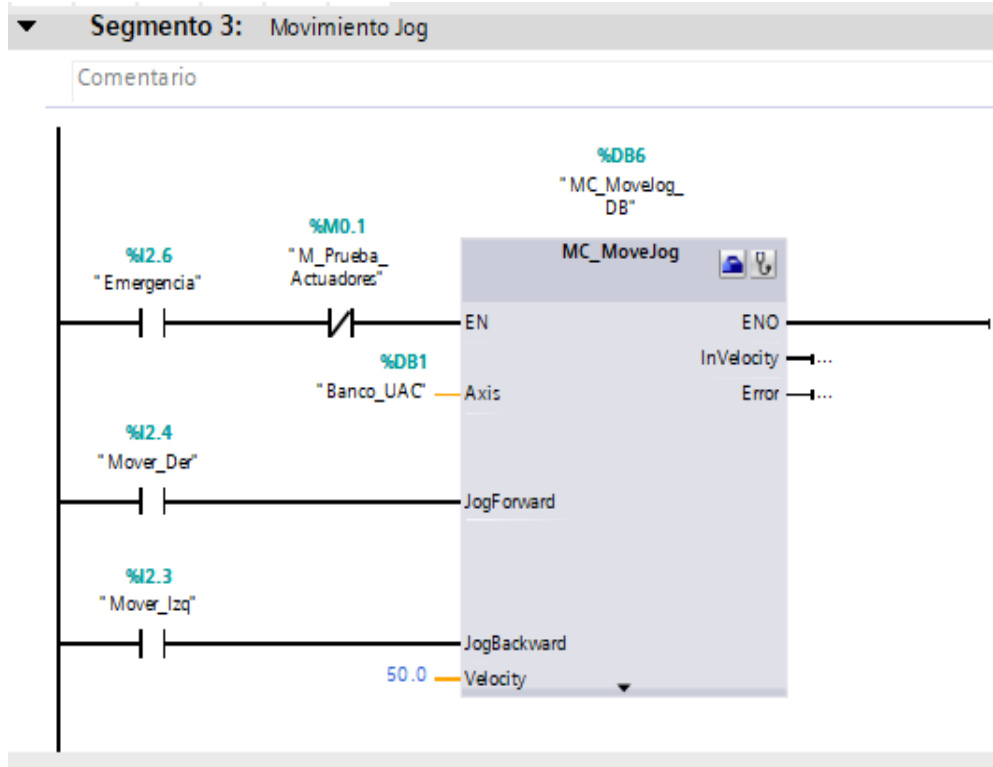
## Modo manual habilitar eje



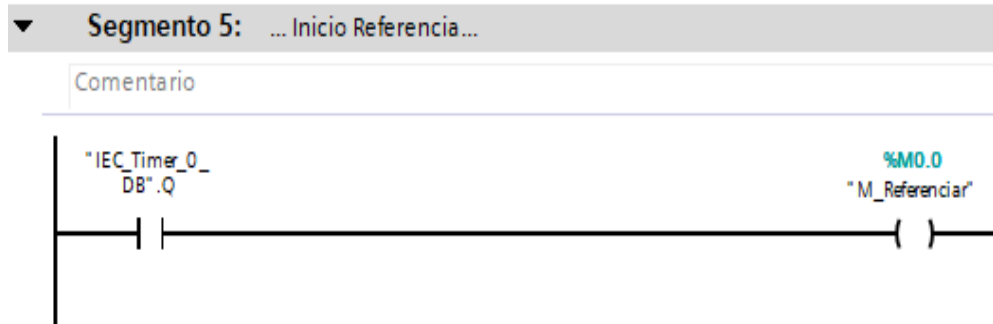
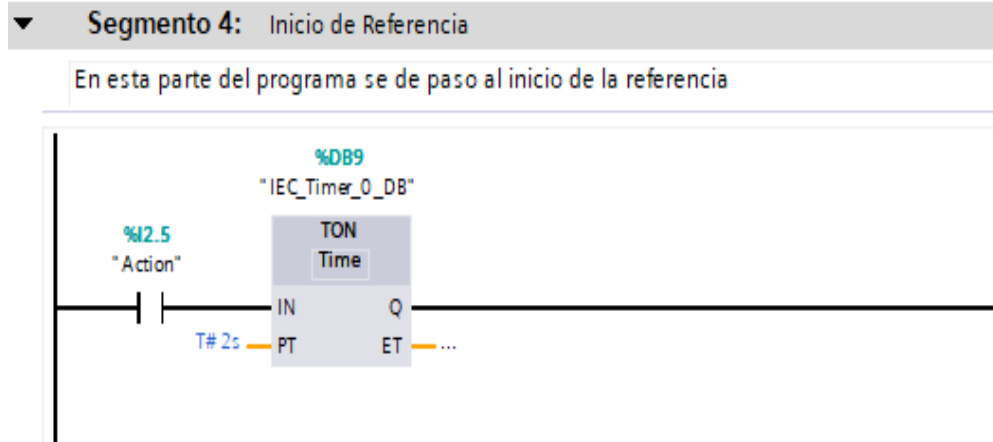
## Referenciar eje



## Movimiento absoluto



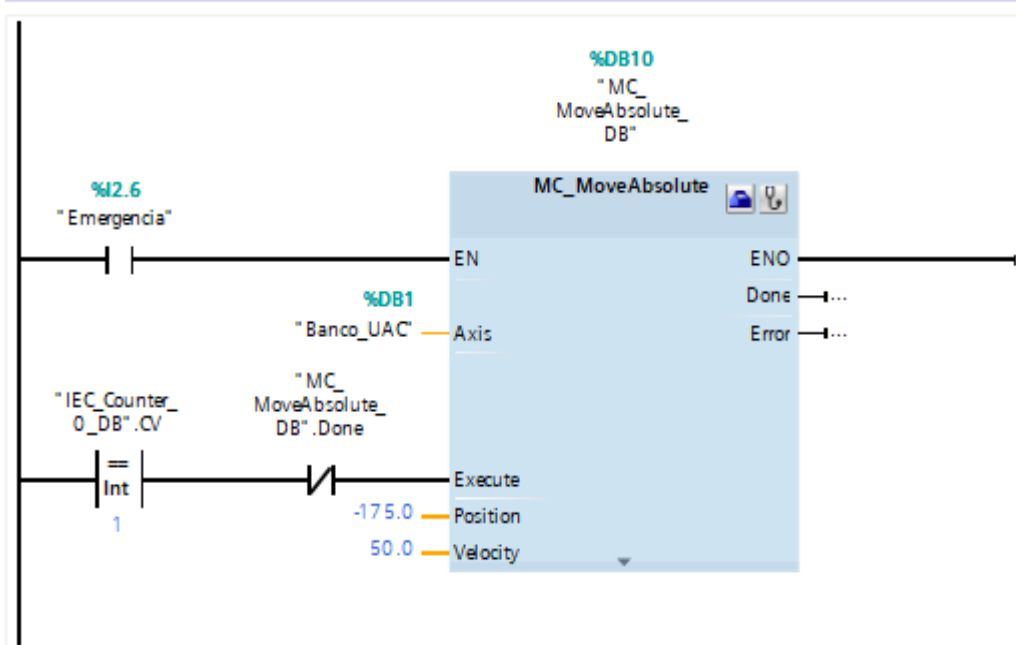
## Inicio de referencia



## Trasladar a posición 1

### ▼ Segmento 6: Mover a Posición 1

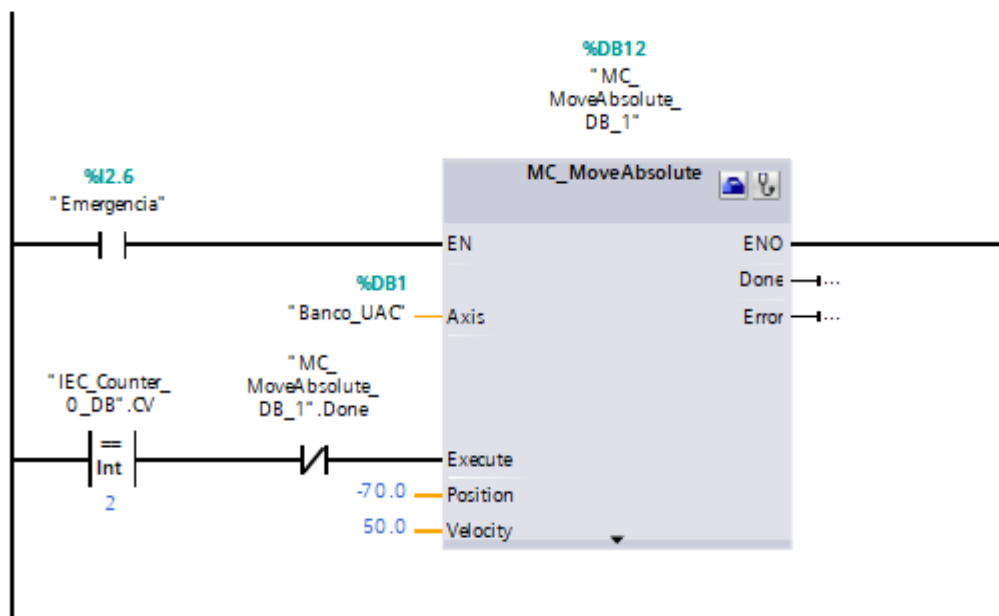
Este segmento es para mover la máquina a la posición 1



## Trasladar a posición 2

### ▼ Segmento 7: Mover a Posición 2

Comentario

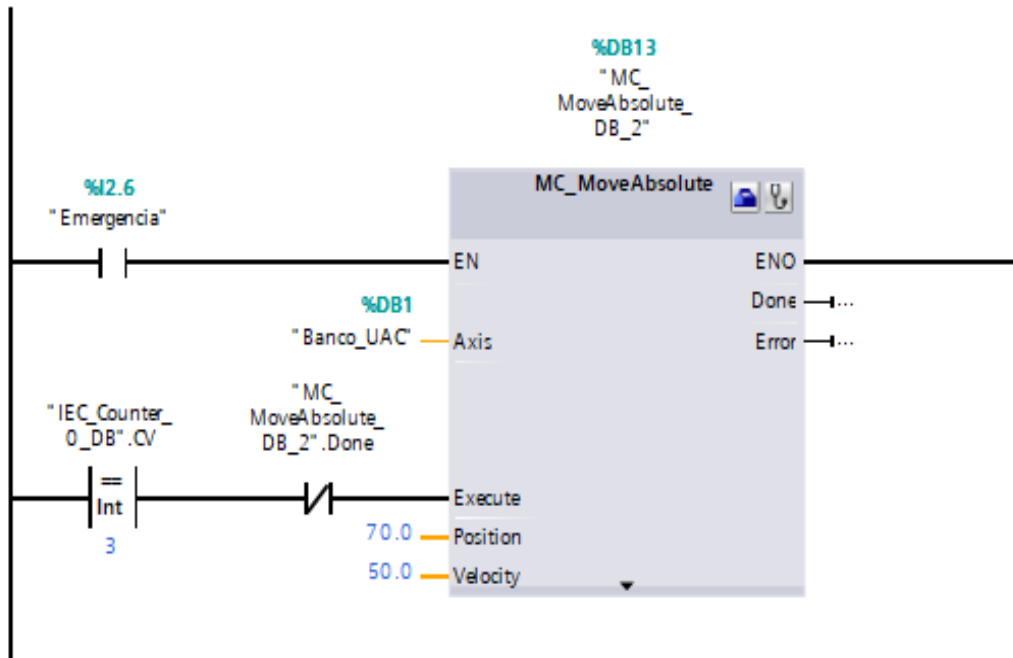




## Trasladar a posición 3

### Segmento 8: Mover a Posición 3

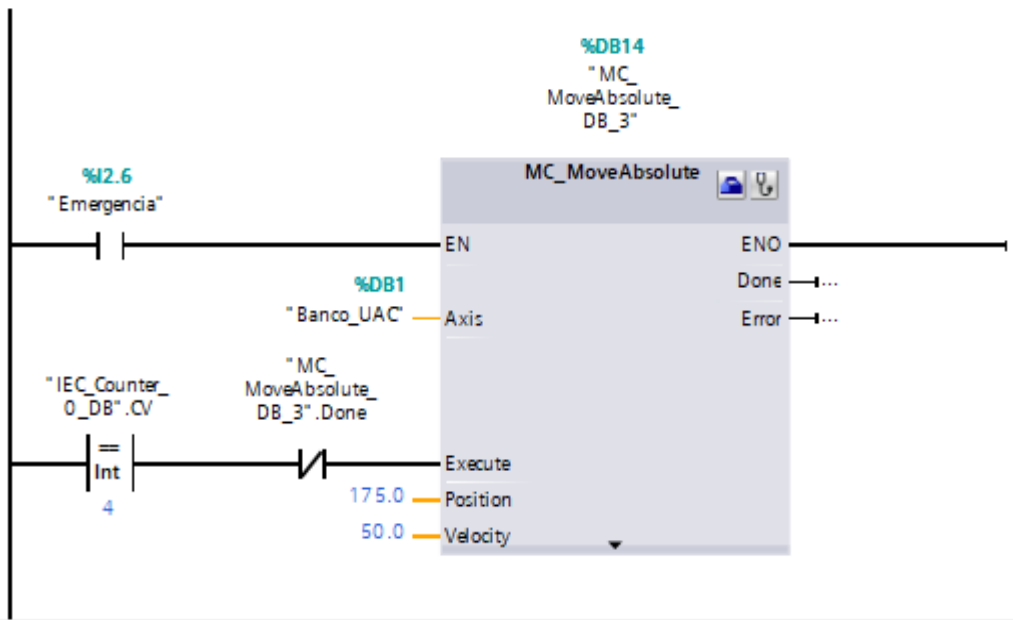
Comentario



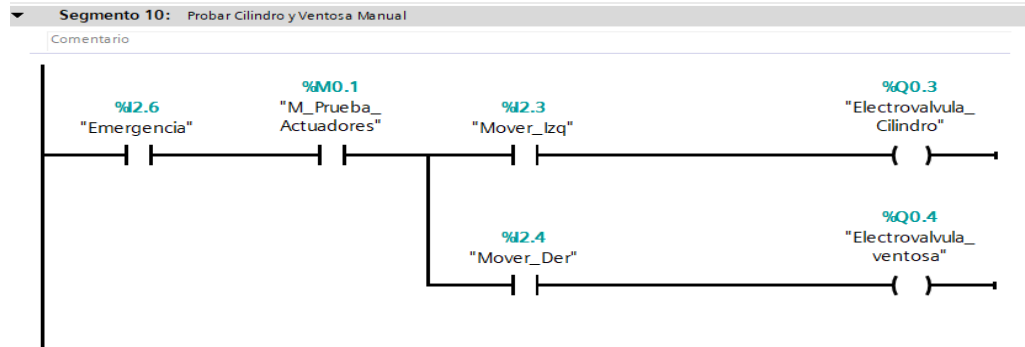
## Trasladar a posición 4

### Segmento 9: Mover Posicion 4

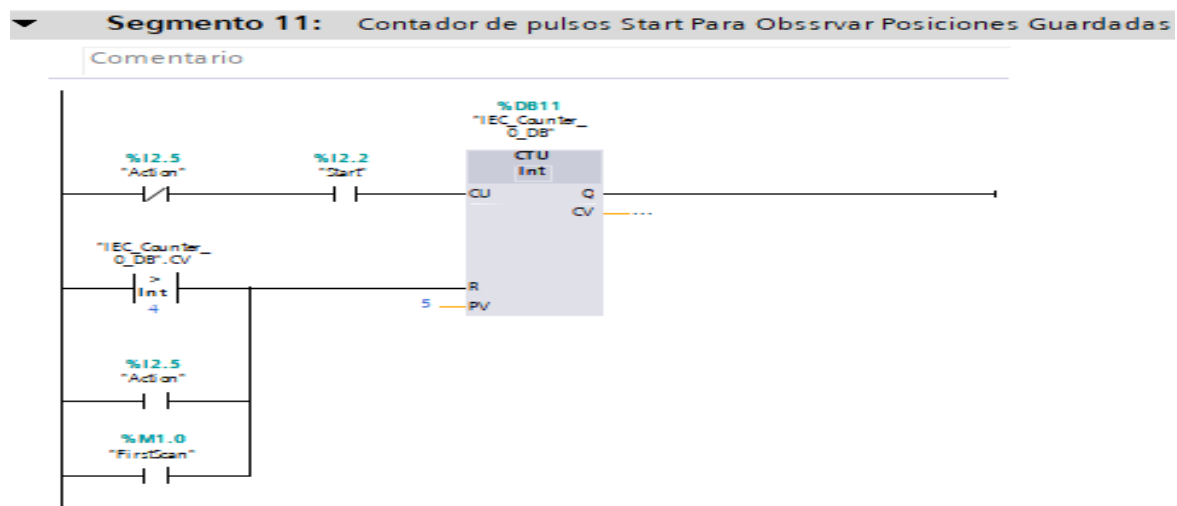
Comentario



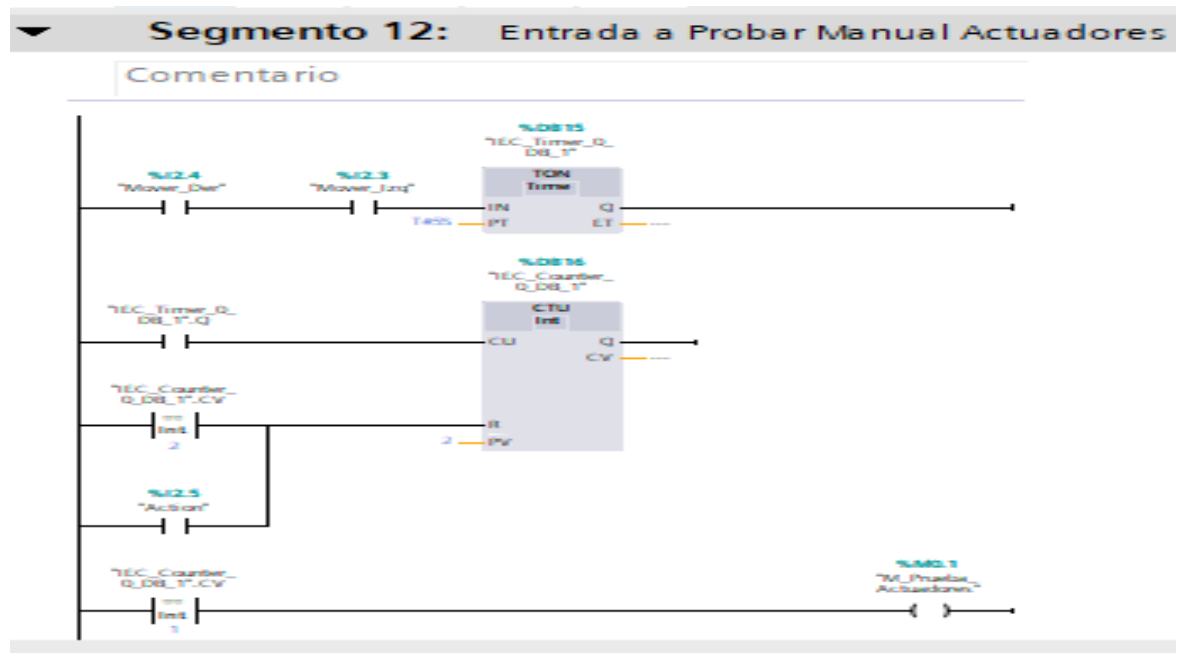
## Test para cilindro y ventosa manual



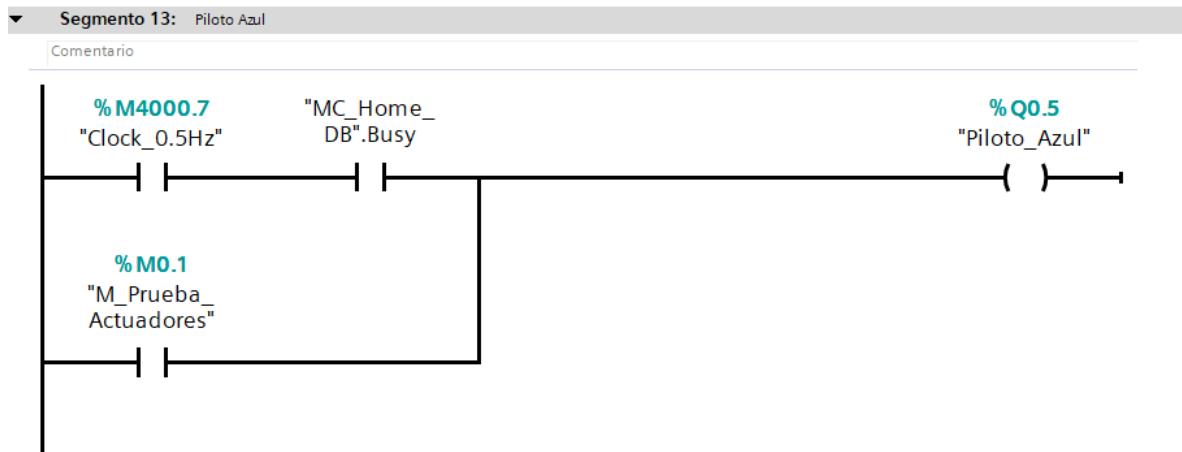
## Contador de pulso Start



## Test manual para actuadores

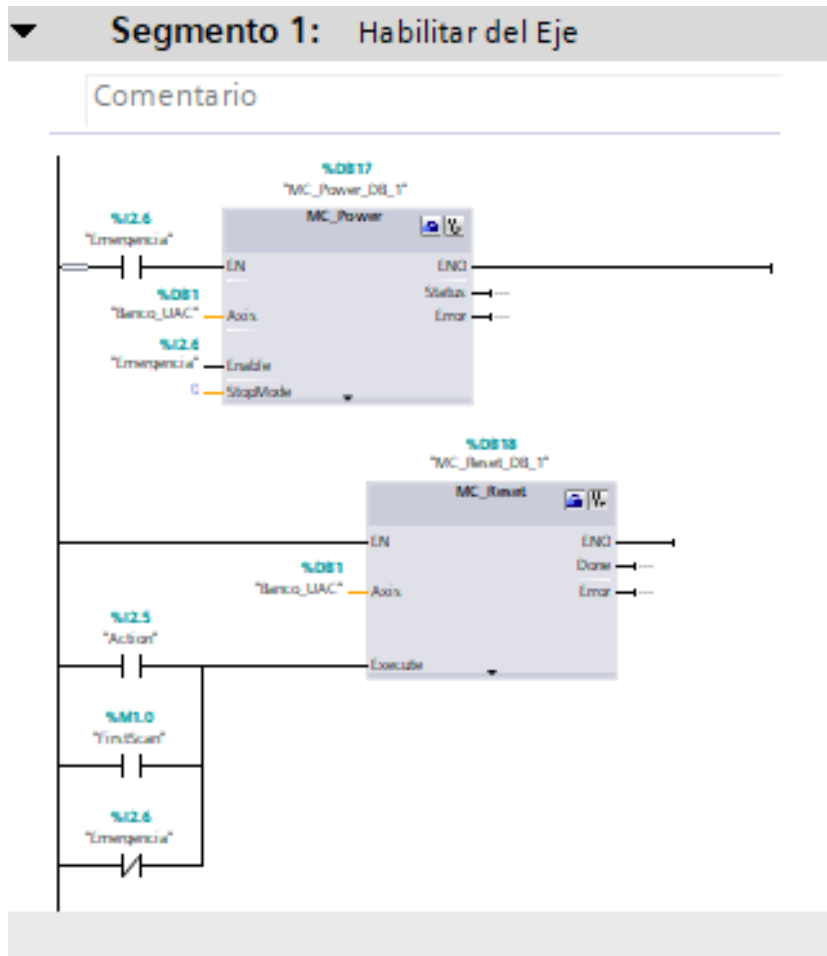


## Piloto azul

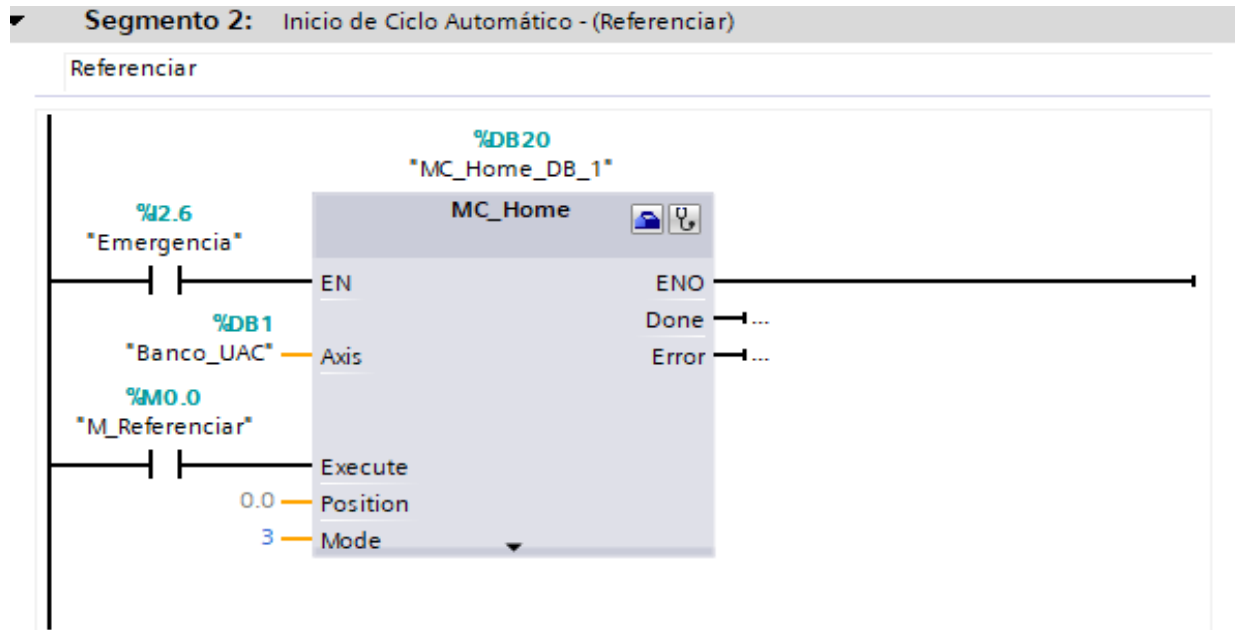


## MODO AUTOMATICO

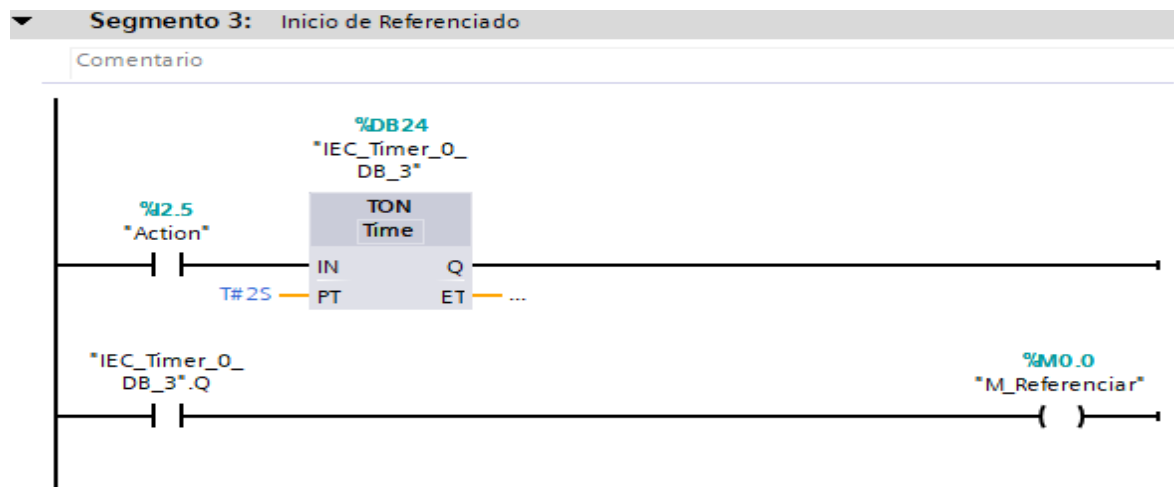
### Habilitar eje



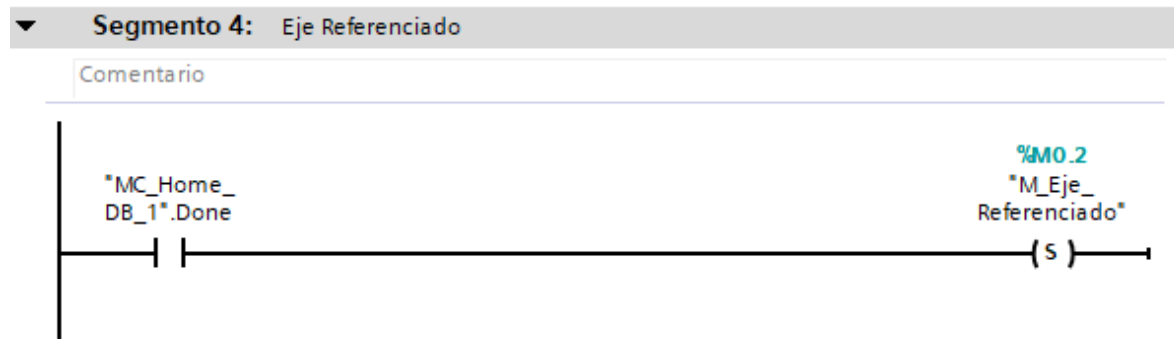
## Inicio de ciclo automático (referenciar)



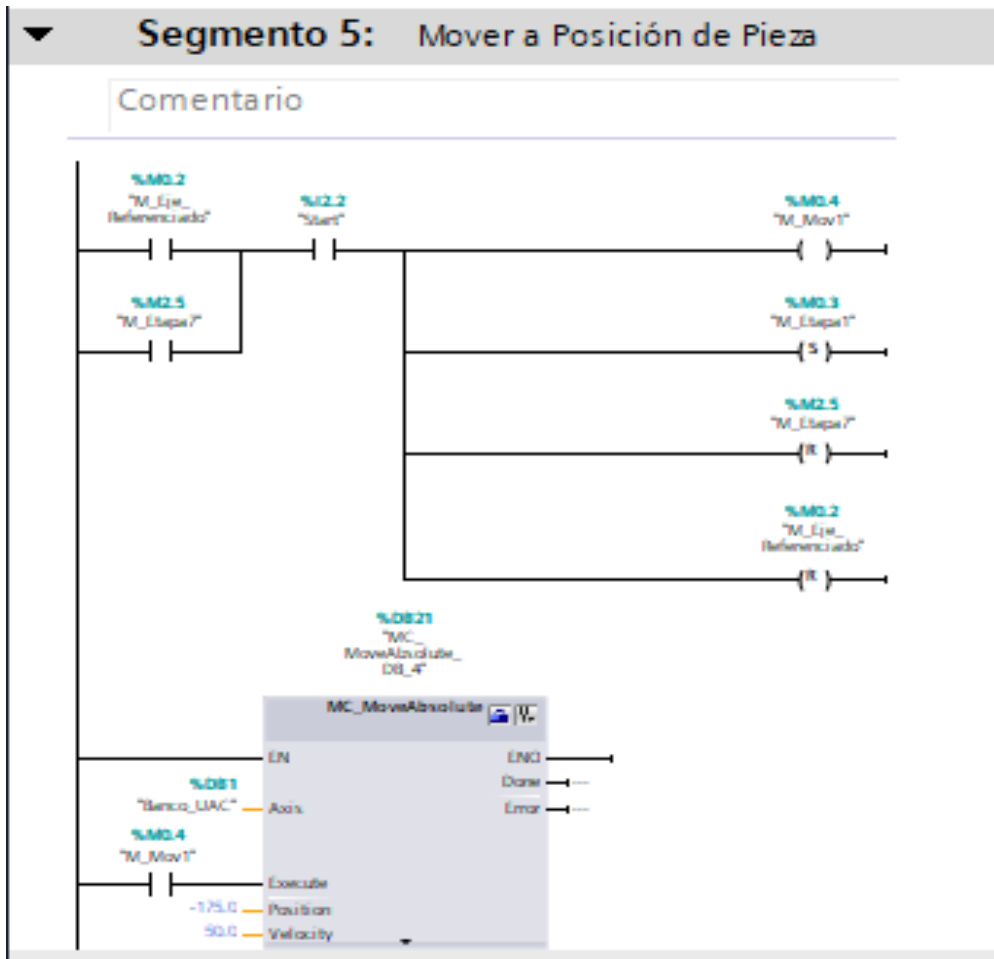
## Inicio referenciado



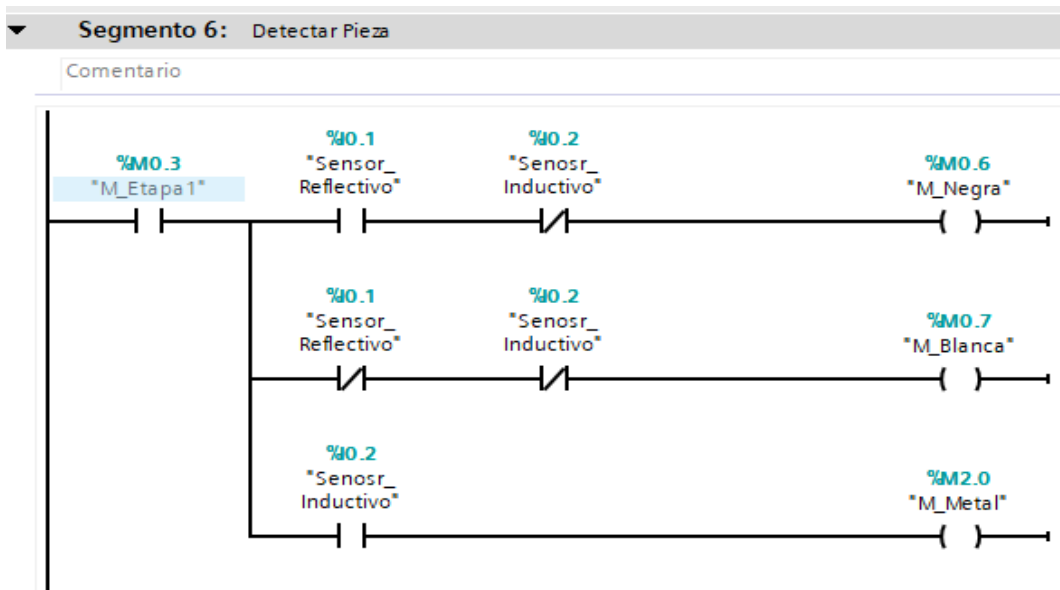
## Referenciado



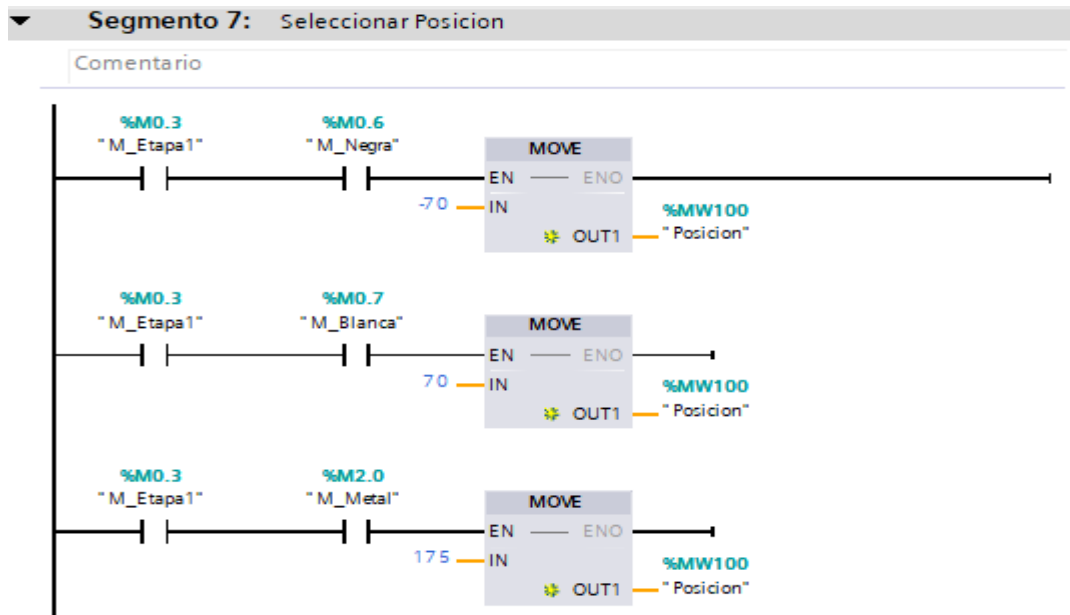
## Trasladar a posición de piezas



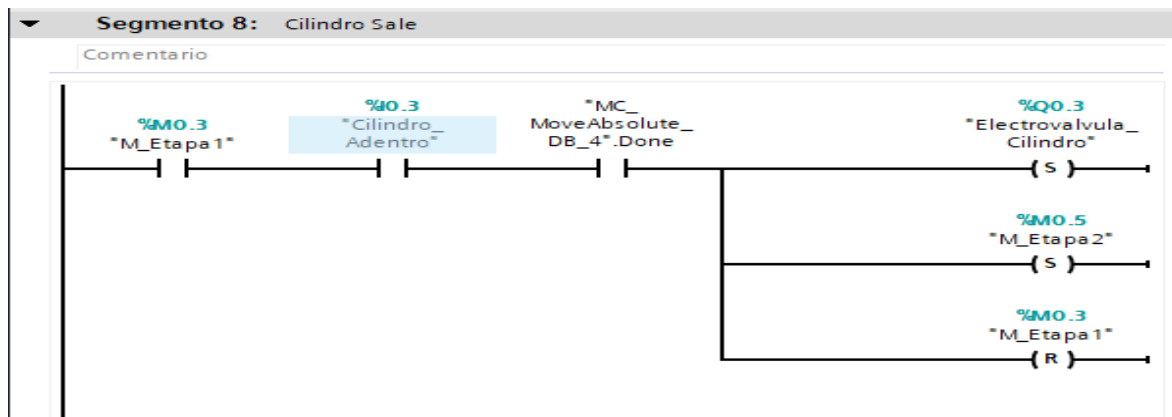
## Detectar pieza



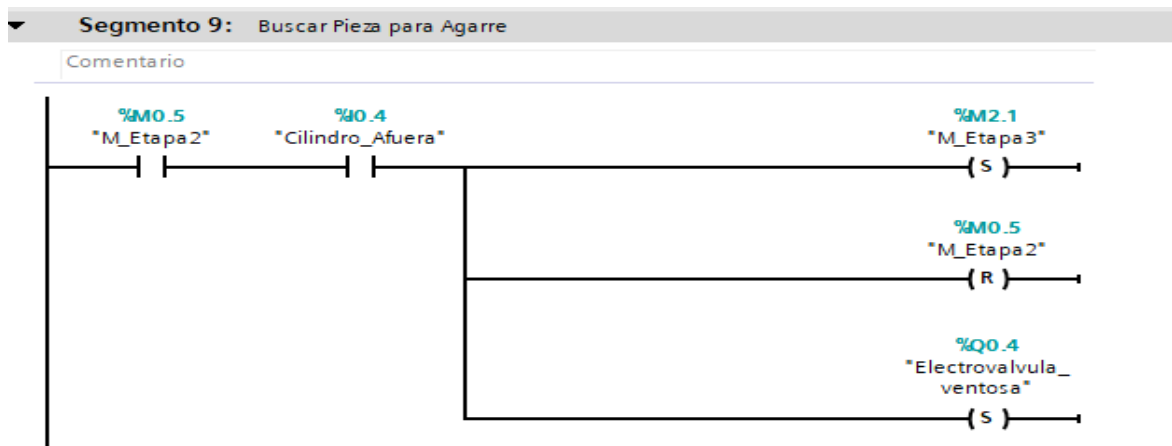
## Seleccionar posición



## Expulsión de cilindro



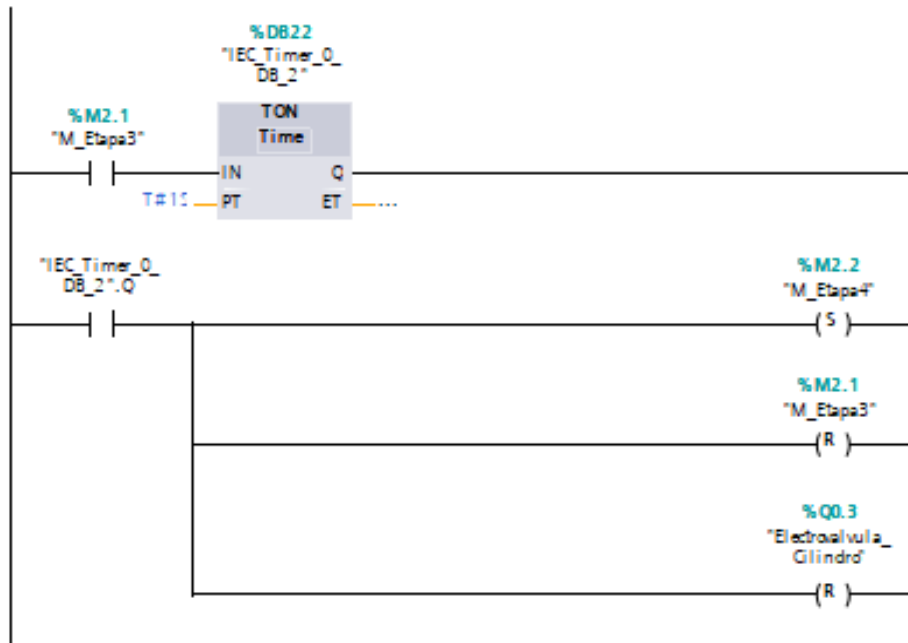
## Buscar pieza para agarre



## Recoger pieza

### Segmento 10: Recoger Pieza

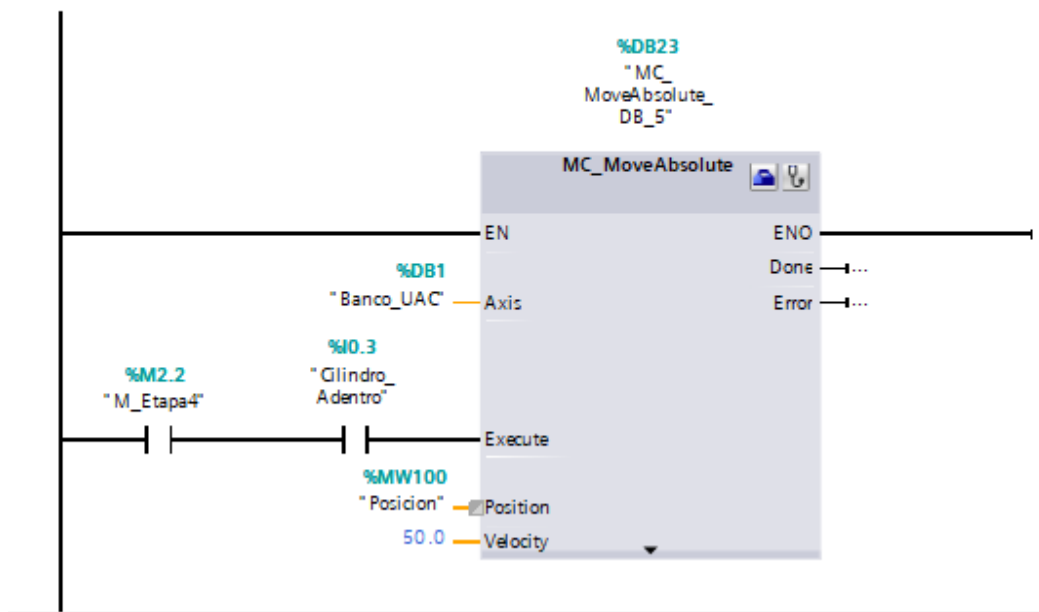
Comentario



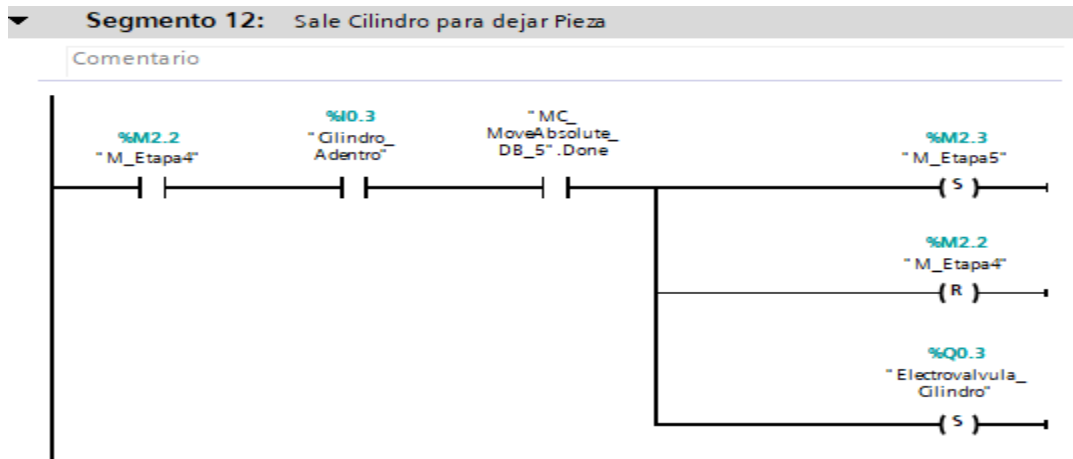
## Llevar pieza a posición

### Segmento 11: Llevar a Pieza a Posición

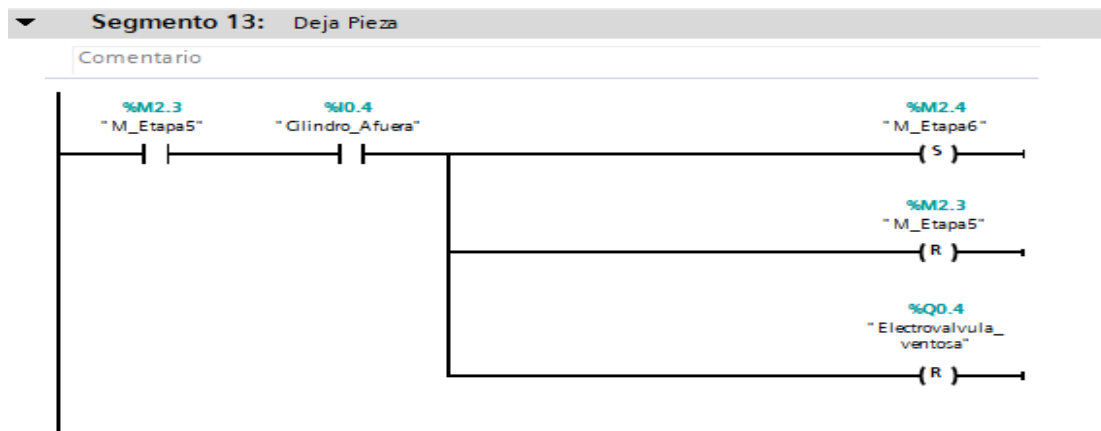
Comentario



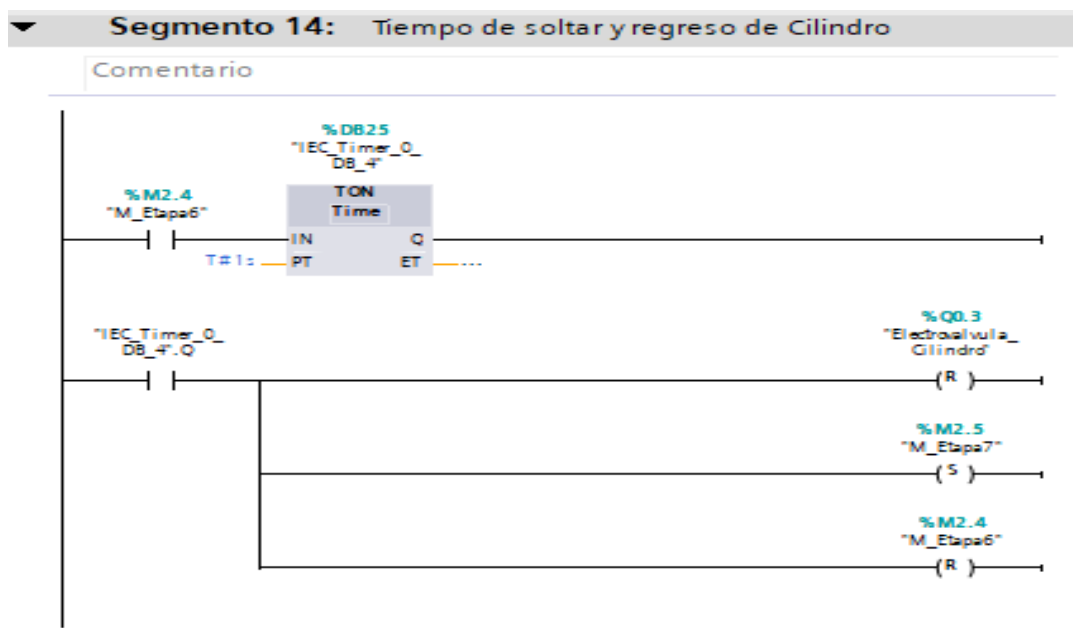
## Sale cilindro a dejar pieza



## Dejar la pieza

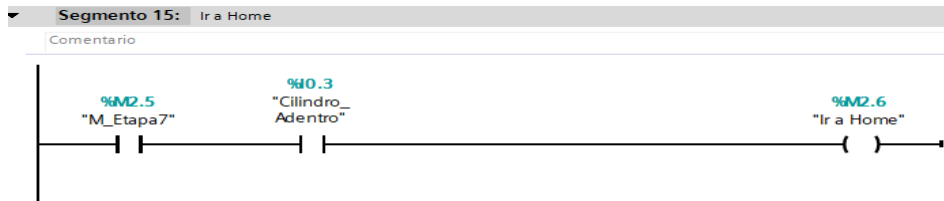


## Tiempo de soltar y regreso del cilindro

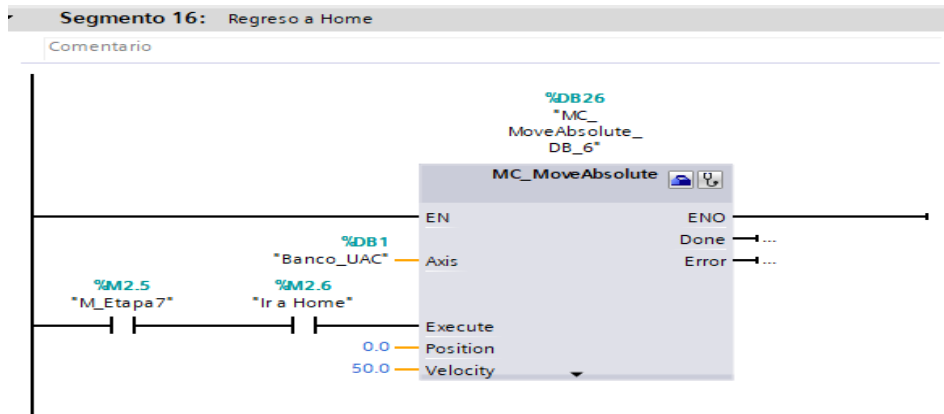




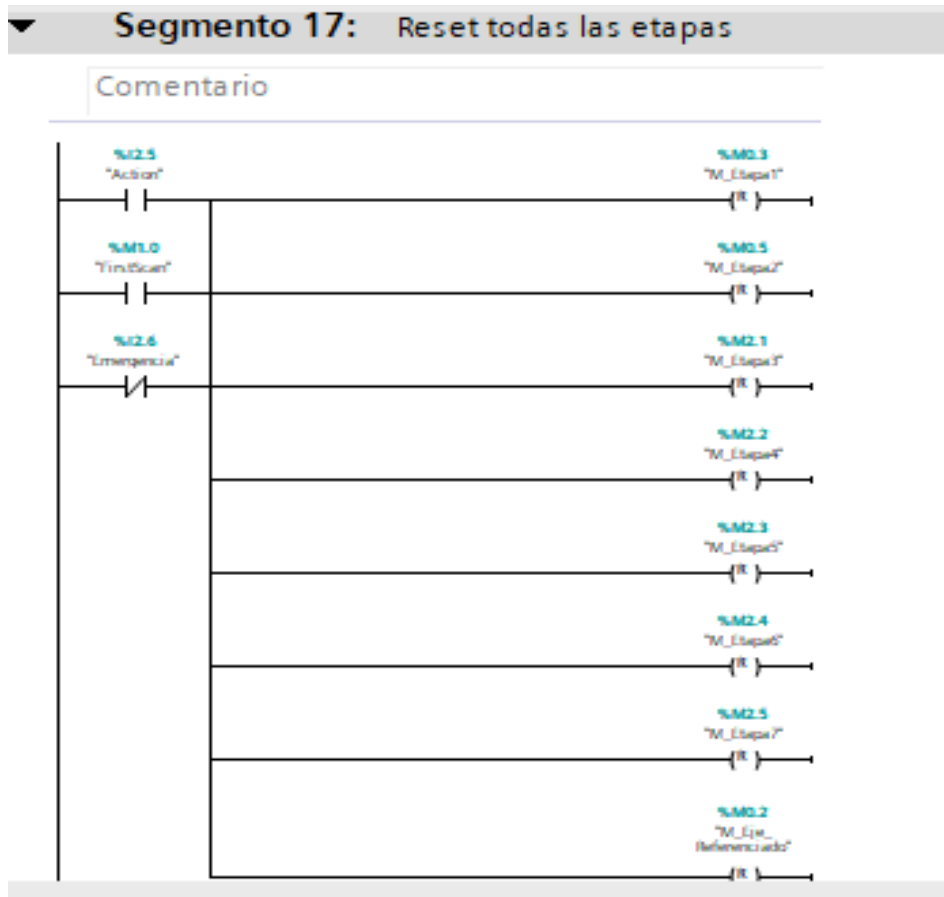
## Ir a posición inicial o home



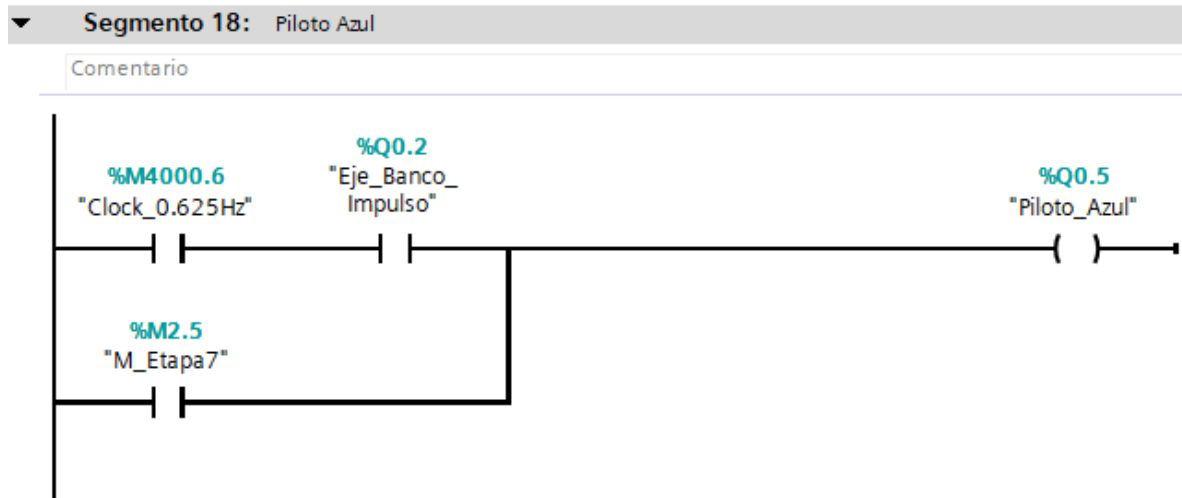
## Regreso a home



## Reseteo de todas las etapas



## Piloto azul



## Herramientas de Motion control

▼ Tecnología			
Nombre	Descripción	Versión	
▶ Contadores		V1.1	
▼ PID Control			
▶ Compact PID		<a href="#">V4.0</a>	
▼ Motion Control			
▼ S7-1200 Motion Con...		<a href="#">V4.0</a>	
■ MC_Power	Habilitar/bloquear eje	V4.0	
■ MC_Reset	Acusar error	V4.0	
■ MC_Home	Referenciar eje	V4.0	
■ MC_Halt	Detener eje	V4.0	
■ MC_MoveAbsolute	Posicionar el eje de for...	V4.0	
■ MC_MoveRelative	Posicionar relativament..	V4.0	
■ MC_MoveVelocity	Hacer funcionar el eje c..	V4.0	
■ MC_MoveJog	Poner el eje en modo Jog	V4.0	
■ MC_CommandTa...	Ejecutar peticiones de ...	V4.0	
■ MC_ChangeDyna...	Modificar los ajustes di...	V4.0	
■ MC_WriteParam	Escribir parámetros de ...	V4.0	
■ MC_ReadParam	Leer parámetros de un ..	V4.0	
Activar Windows			

▼ Tecnología			
Nombre	Descripción	Versión	
▼ Contadores		V1.1	
■ CTRL_HSC	Controlar contadores r...	V1.0	
■ CTRL_HSC_EXT	Contador rápido avanz...	V1.0	
▼ PID Control			
▼ Compact PID		<a href="#">V4.0</a>	
■ PID_Compact	Regulador PID universal..	V2.2	
■ PID_3Step	Regulador PID con opti...	V2.2	
▼ Motion Control			
▼ S7-1200 Motion Con...		<a href="#">V4.0</a>	
■ MC_Power	Habilitar/bloquear eje	V4.0	
■ MC_Reset	Acusar error	V4.0	
■ MC_Home	Referenciar eje	V4.0	
■ MC_Halt	Detener eje	V4.0	
■ MC_MoveAbsolute	Posicionar el eje de for...	V4.0	
■ MC_MoveRelative	Posicionar relativament..	V4.0	
■ MC_MoveVelocity	Hacer funcionar el eje c..	V4.0	
■ MC_MoveJog	Poner el eje en modo Jog	V4.0	
■ MC_CommandTa...	Ejecutar peticiones de ...	V4.0	
■ MC_ChangeDyna...	Modificar los ajustes di...	V4.0	

## Comunicación CPU

▼ Comunicación			
Nombre	Descripción	Versión	
▼ Comunicación S7		V1.2	
■ GET	Leer datos de una CPU ...	<a href="#">V1.2</a>	
■ PUT	Escribir datos en una C...	<a href="#">V1.2</a>	
▼ Open user communicati...		<a href="#">V3.1</a>	
■ TSEND_C	Enviar datos vía Ethern...	<a href="#">V2.1</a>	
■ TRCV_C	Recibir datos vía Ethern..	<a href="#">V2.1</a>	