

OPTIMIZACIÓN DE LA CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA DIDÁCTICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA A PARTIR DEL MEJORAMIENTO DE LA  
AUTOMATIZACIÓN ACTUALMENTE IMPLEMENTADA.

SERGIO ARCILA DELGADO  
ADRIAN CAMILO GIL FRANCO

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO

Orientador  
Wilmar Martínez Urrutia  
Ingeniero Electrónico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.

2021

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Nombre  
Firma del Director

---

Nombre  
Firma del Presidente Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

Bogotá D.C. Octubre 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peña Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Dra. María Angélica Acosta Pérez

## DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por la salud con la que nos ha bendecido a mí y mi familia.

Este trabajo es dedicado en gran parte a mi abuela Graciela Cruz, pues ha sido la persona más influyente e importante para mí, por la que sigo enfrentando los diferentes retos de la vida. Gracias abuelita por la educación impartida y el cuidado absoluto que brindas.

A mis padres Betty Constanza Delgado Cruz y José Oran Arcila Aranzazu, gracias por la paciencia y la confianza que siguen depositando en mí, por exigirme desde un principio el estudio, pues la pasión y el amor hacia el conocimiento, nace debido a la rigurosidad y flexibilidad en la educación dictada en casa por ustedes. Les dedico este trabajo, por ser las personas que toda la vida tendrán mi admiración y gratitud.

Gracias a mi pareja Sally Dayan Infante Prieto por compartir la dicha experimentada con la culminación de este trabajo, pues al estar acompañándome desde el inicio de la carrera, supo sostenerme, aconsejarme y brindarme todo el apoyo en los momentos más difíciles y delicados, como también en los más felices y dichosos.

Por último, agradezco a mi compañero Adrián Camilo Gil Franco, pues sus amplios conocimientos en diferentes ramas, su orden, pulcritud y responsabilidad, me permitieron forjar un carácter distinto y observar la vida desde diferentes puntos de vista.

Sergio Arcila Delgado.

Quiero dedicar este trabajo de grado y este título profesional a:

a mi madre, Gisela Franco, por el apoyo incondicional que me brindo durante este proceso de formación, inculcándome los valores que hacen crecer a una persona personal y profesionalmente, ayudándome a superar cada obstáculo que se presentó para alcanzar esta meta.

A mi pareja, Mayra Bernal, por todas sus enseñanzas y consejos a lo largo de este proceso educativo brindándome la capacidad de visualizar mis metas hasta llegar a alcanzarlas.

A mi compañeros universitarios por su amistad y colaboración durante todo el proceso académico.

A la memoria de mi abuela, Leyla Rojas, porque a pesar de las adversidades siempre confió en mí y tuvo la seguridad de que este logro seria alcanzado.

Adrian Camilo Gil Franco.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

La Fundación Universidad de América, al director de investigación el ingeniero Wilmar Martínez Urrutía por darnos la oportunidad de hacer parte de este proyecto y brindarnos sus conocimientos y confianza. A la ingeniera Yenny Hernández, por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

Agradecemos a los profesores que nos ayudaron a culminar de forma exitosa este proceso académico aportando sus consejos y observaciones.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Justificación	19
1.3 Objetivos del proyecto	20
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	20
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	20
1.4 Delimitación de la investigación	20
1.5 Hipótesis	21
2. MARCO REFERENCIAL	23
2.1 Antecedentes del proyecto	23
2.2 Marco teórico	25
2.2.1 <i>Revoluciones industriales</i>	25
2.2.2 <i>Industria 4.0</i>	26
2.2.3 <i>Procesos flexibles en la industria</i>	27
2.2.4 <i>Sistema flexible de manufactura</i>	28
2.2.5 <i>Control de un FMS</i>	29
2.2.6 <i>Sistema de fabricación dedicado</i>	33
2.2.7 <i>DMS, FMS y RMS.</i>	35
2.2.8 <i>Diferentes sistemas de fabricacion dedicado</i>	35
2.2.9 <i>DMS en el ámbito educativo</i>	36
3. METODOLOGIA	40
3.1 Lugar	41

3.2	Material y equipos	41
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	43
4.1	Módulo dosificador de envases	46
4.1.1	<i>Diagrama de flujo del módulo dosificador de envases</i>	47
4.1.2	<i>Análisis detallado de fallas</i>	50
4.1.3	<i>Intervención realizada para la solución de fallas</i>	53
4.2	Módulo dosificador de producto	57
4.2.1	<i>Diagrama de flujo del módulo dosificador de producto</i>	58
4.2.2	<i>Análisis detallado de fallas</i>	62
4.2.3	<i>Intervención realizada para solucionar las fallas</i>	67
4.3	Módulo de tapado	79
4.3.1	<i>Diagrama de flujo del módulo tapado</i>	80
4.3.2	<i>Análisis detallado de fallas</i>	84
4.3.3	<i>Intervención realizada para solucionar las fallas</i>	88
4.4	Módulo de control de calidad	101
4.4.1	<i>Diagrama de flujo del módulo de control de calidad</i>	103
4.4.2	<i>Análisis detallado de fallas</i>	108
4.4.3	<i>Intervención realizada para solucionar las fallas</i>	110
4.5	Módulo de producto rechazado	124
4.5.1	<i>Diagrama de flujo del módulo de producto rechazado</i>	126
4.5.2	<i>Análisis detallado de fallas</i>	129
4.5.3	<i>Intervención realizada para solucionar las fallas</i>	131
4.6	Módulo de distribución de productos	141
4.6.1	<i>Diagrama de flujo del módulo de distribución de productos</i>	144
4.6.2	<i>Análisis detallado de fallas</i>	147
4.6.3	<i>Intervención realizada para solucionar las fallas</i>	150
4.7	Módulo de bandas transportadoras	158
4.7.1	<i>Análisis detallado de fallas</i>	161
4.7.2	<i>Intervención realizada para solucionar las fallas</i>	162
4.8	Módulo DAQ	166

4.8.1	<i>Intervención realizada</i>	167
4.9	Guías de laboratorio y manual de operación y mantenimiento	172
4.10	Análisis financiero	172
5.	CONCLUSIONES	176
	BIBLIOGRAFIA	177
	ANEXOS	181

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> <i>Pirámide de automatización</i>	30
<b>Figura 2.</b> <i>Nivel de campo</i>	30
<b>Figura 3.</b> <i>Nivel de control</i>	31
<b>Figura 4.</b> <i>Nivel de supervisión</i>	31
<b>Figura 5.</b> <i>Mapeo de varios tipos de sistema de fabricación.</i>	34
<b>Figura 6.</b> <i>Diagrama de flujo.</i>	41
<b>Figura 7.</b> <i>Celda flexible de manufactura didáctica vista 1</i>	41
<b>Figura 8.</b> <i>Celda flexible de manufactura didáctica vista 2</i>	42
<b>Figura 9.</b> <i>Sensor reed</i>	46
<b>Figura 10.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo dosificador de envases.</i>	47
<b>Figura 11.</b> <i>Módulo dosificador de envases vista 1.</i>	48
<b>Figura 12.</b> <i>Módulo dosificador de envases vista 2.</i>	49
<b>Figura 13.</b> <i>Envases apilados.</i>	50
<b>Figura 14.</b> <i>Espuma adherida a los recipientes.</i>	51
<b>Figura 15.</b> <i>Espumas maltratadas por el peso.</i>	52
<b>Figura 16.</b> <i>Recipiente con amarres plásticos.</i>	55
<b>Figura 17.</b> <i>Vista de las láminas de retención.</i>	54
<b>Figura 18.</b> <i>Diagrama de flujo actual del módulo dosificador de envases.</i>	55
<b>Figura 19.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo dosificador de producto</i>	58
<b>Figura 20.</b> <i>Módulo dosificador de producto vista 1.</i>	60
<b>Figura 21.</b> <i>Módulo dosificador de producto vista 2.</i>	61
<b>Figura 22.</b> <i>Rieles de la cámara de predosificado.</i>	62
<b>Figura 23.</b> <i>Plano neumático de las conexiones de los actuadores D, E y H.</i>	63
<b>Figura 24.</b> <i>Plano de Ingenium.</i>	66
<b>Figura 25.</b> <i>Tapones en los racores.</i>	67
<b>Figura 26.</b> <i>Rieles de la cámara de predosificado limpios.</i>	68
<b>Figura 27.</b> <i>Producto nuevo.</i>	69
<b>Figura 28.</b> <i>Arandelas en las platinas base.</i>	70
<b>Figura 29.</b> <i>Piezas en acrílico.</i>	71

<b>Figura 30.</b> <i>Extensión de rieles.</i>	70
<b>Figura 31.</b> <i>Pared retirada de la cámara de pre dosificado.</i>	73
<b>Figura 32.</b> <i>Montaje de la pieza C</i>	72
<b>Figura 33.</b> <i>Sensor SHARP.</i>	73
<b>Figura 34.</b> <i>Final de carrera 1.</i>	76
<b>Figura 35.</b> <i>Corte realizado a la platina del actuador B.</i>	77
<b>Figura 36.</b> <i>Acrílicos quitados de la tolva.</i>	78
<b>Figura 37.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo dosificador de producto.</i>	79
<b>Figura 38.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo tapado.</i>	80
<b>Figura 39.</b> <i>Módulo de tapado vista 1.</i>	80
<b>Figura 40.</b> <i>Módulo de tapado vista 2.</i>	81
<b>Figura 41.</b> <i>Posición mínima requerida de la tapa</i>	87
<b>Figura 42.</b> <i>Diferentes posiciones del envase en la banda.</i>	88
<b>Figura 43.</b> <i>Platina K y varillas guía K.</i>	89
<b>Figura 44.</b> <i>Ensamble de piezas en K.</i>	91
<b>Figura 45.</b> <i>Platina final de carrera</i>	90
<b>Figura 46.</b> <i>Final de carrera 2 ensamblado</i>	91
<b>Figura 47.</b> <i>Piezas realizadas con material sobrante</i>	93
<b>Figura 48.</b> <i>Platinas P_1</i>	95
<b>Figura 49.</b> <i>Platinas P_2</i>	98
<b>Figura 50.</b> <i>Platinas P_3</i>	99
<b>Figura 51.</b> <i>Montaje del Actuador P y final de carrera</i>	100
<b>Figura 52.</b> <i>Dobles de GB.</i>	100
<b>Figura 53.</b> <i>Diagrama de flujo actual del módulo tapado</i>	101
<b>Figura 54.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo de control de calidad</i>	103
<b>Figura 55.</b> <i>Módulo control de calidad vista 1</i>	104
<b>Figura 56.</b> <i>Módulo control de calidad vista 2</i>	107
<b>Figura 57.</b> <i>Interfaz física destapa</i>	110
<b>Figura 58.</b> <i>Montaje de prueba en protoboard</i>	112
<b>Figura 59.</b> <i>Conexión eléctrica del ultrasónico</i>	113
<b>Figura 60.</b> <i>Conexión de los transistores TIP122</i>	114

<b>Figura 61.</b> <i>Tarjeta de potencia</i>	115
<b>Figura 62.</b> <i>Pistas de la tarjeta de potencia</i>	116
<b>Figura 63.</b> <i>Conexiones del módulo de control de calidad</i>	117
<b>Figura 64.</b> <i>Platina S</i>	118
<b>Figura 65.</b> <i>Interfaz física nueva</i>	118
<b>Figura 66.</b> <i>Dobles de la platina I</i>	121
<b>Figura 67.</b> <i>Inserto colocado en el taco del actuador I</i>	122
<b>Figura 68.</b> <i>Adecuación de rampas</i>	123
<b>Figura 69.</b> <i>Diagrama de flujo actual del módulo de control de calidad</i>	124
<b>Figura 70.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo de producto rechazado</i>	126
<b>Figura 71.</b> <i>Módulo de producto rechazado vista 1</i>	127
<b>Figura 72.</b> <i>Módulo de producto rechazado vista 2</i>	128
<b>Figura 73.</b> <i>Electroválvula 5/3 biestable</i>	130
<b>Figura 74.</b> <i>Dimensiones de las pinzas nuevas</i>	133
<b>Figura 75.</b> <i>Desplazamiento nodal</i>	132
<b>Figura 76.</b> <i>Esfuerzo nodal</i>	133
<b>Figura 77.</b> <i>Pinzas 2</i>	134
<b>Figura 78.</b> <i>Parales de la gualdera de la banda transportadora 2</i>	135
<b>Figura 79.</b> <i>Platinas colocadas entre el actuador M y la platina M</i>	136
<b>Figura 80.</b> <i>Montaje de prueba para electroválvula 5/3 biestable</i>	137
<b>Figura 81.</b> <i>Electroválvula 5/2 biestable</i>	138
<b>Figura 82.</b> <i>Electrovalvula 5/2 instalada al modulo de producto rechazado</i>	138
<b>Figura 83.</b> <i>Diagrama de flujo actual del módulo de producto rechazado</i>	139
<b>Figura 84.</b> <i>Diagrama de flujo del módulo control de calidad</i>	142
<b>Figura 85.</b> <i>Módulo de distribución de productos vista 1</i>	143
<b>Figura 86.</b> <i>Módulo de distribución de productos vista 2</i>	144
<b>Figura 87.</b> <i>Posición del recipiente antes de ingresar al carro clasificador</i>	147
<b>Figura 88.</b> <i>Platina O</i>	149
<b>Figura 89.</b> <i>Platina O integrada al módulo</i>	150
<b>Figura 90.</b> <i>Final de carrera 4 ensamblado</i>	152
<b>Figura 91.</b> <i>Rodillo incorporado a la banda transportadora 2</i>	154

<b>Figura 92.</b> <i>Barras guía nuevas</i>	155
<b>Figura 93.</b> <i>Diagrama de flujo actual del módulo de distribución de producto</i>	156
<b>Figura 94.</b> <i>Módulo de bandas transportadoras vista 1</i>	158
<b>Figura 95.</b> <i>Módulo de bandas transportadoras vista 2</i>	159
<b>Figura 96.</b> <i>Caja reductora del motor 1</i>	162
<b>Figura 97.</b> <i>Engranajes de la caja reductora</i>	163
<b>Figura 98.</b> <i>Gualdera rebajada de la banda transportadora 1</i>	164
<b>Figura 99.</b> <i>Flejes acoplados</i>	165
<b>Figura 100.</b> <i>National Instrument cDAQ-9174</i>	166
<b>Figura 101.</b> <i>Bornes colocados en la caja de la tarjeta de potencia</i>	167
<b>Figura 102.</b> <i>Interfaz de usuario</i>	169
<b>Figura 103.</b> <i>Programa de simulación</i>	170

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Características DMS, FMS y RMS</i>	35
<b>Tabla 2.</b> <i>Elementos no incluidos en algún módulo</i>	45
<b>Tabla 3.</b> <i>Secuencia electroneumática del módulo 1</i>	47
<b>Tabla 4.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo dosificador de envases</i>	50
<b>Tabla 5.</b> <i>Secuencia electroneumática del módulo 2</i>	58
<b>Tabla 6.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo dosificador de producto</i>	62
<b>Tabla 7.</b> <i>Secuencia electroneumática del módulo 3</i>	78
<b>Tabla 8.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo de tapado</i>	82
<b>Tabla 9.</b> <i>Secuencia electroneumática del módulo 3</i>	102
<b>Tabla 10.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo control de calidad</i>	108
<b>Tabla 11.</b> <i>Calibración de la celda de carga</i>	119
<b>Tabla 12.</b> <i>Peso</i>	125
<b>Tabla 13.</b> <i>Color</i>	125
<b>Tabla 14.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo de producto rechazado</i>	129
<b>Tabla 15.</b> <i>Tapa roja</i>	143
<b>Tabla 16.</b> <i>Tapa azul</i>	143
<b>Tabla 17.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo de distribución de productos</i>	147
<b>Tabla 18.</b> <i>Análisis detallado de fallas del módulo bandas transportadoras</i>	161
<b>Tabla 19.</b> <i>Componentes de la interfaz de usuario</i>	169
<b>Tabla 20.</b> <i>Costos de ingeniería</i>	172
<b>Tabla 21.</b> <i>Costos de materiales</i>	173
<b>Tabla 22.</b> <i>Costos de fungibles</i>	174
<b>Tabla 23.</b> <i>Costos totales</i>	175
<b>Tabla 24.</b> <i>Eficiencias</i>	176

## RESUMEN

En el área de la automatización industrial existen sistemas de manufactura, caracterizados por fabricar productos de manera ágil y precisa, pero cuando una industria decide brindar estos servicios, tienen que recurrir a una actualización tecnológica de los sistemas con los que se cuentan actualmente implementados, aplicando los diferentes niveles de automatización existentes en la pirámide CIM.

Teniendo en cuenta lo anterior, se observa una gran importancia en adquirir conocimientos basados en la correcta manipulación de los sistemas de manufactura, ya que, existe una demanda exponencial en personal calificado para realizar tareas de esta índole.

Este proyecto consiste en la puesta a punto de una celda flexible de manufactura didáctica, ubicada en la universidad de América, debido a que, desde la entrega de esta, por parte del fabricante designado por la institución, la celda no cumple con las tareas asignadas en cada una de las estaciones de trabajo que la componen. Complementándola con la implementación de un sistema de supervisión, con el fin de monitorear el proceso desde la distancia.

**PALABRAS CLAVE:** Puesta a punto, Actualización, Automatización, Celda flexible de manufactura, Mecatrónica, Electroneumática.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto aumenta la eficiencia de la celda flexible de manufactura de la Fundación Universidad de América. Para lograr esto, el proyecto se divide en cuatro fases, tales como puesta a punto, programación, actualización y documentación.

La primera fase cuenta con un análisis detallado de las fallas presentes en cada uno de los módulos, para obtener las causas de la ineficiencia que presenta la celda flexible de manufactura y los módulos que la componen. Posteriormente se entregan soluciones y se interviene, adicionando, retirando o modificando elementos electromecánicos.

La segunda fase es llevada a cabo en paralelo con la primera al realizar la programación completa del PLC (controlador lógico programable) y la tarjeta Arduino, con la que cuenta la celda, pues la compañía responsable [1] no dejó copia alguna de la programación inicial.

La tercera fase consiste en la actualización tecnológica hecha a la celda de manufactura, al otorgarle la opción de monitoreo virtual a partir de LabView.

Por último, se realizan tres guías de laboratorio, para las asignaturas contempladas por el programa de Ingeniería Mecánica y mecatrónica, acompañadas de un manual de operación y mantenimiento, análisis de costos del proyecto y planos de piezas nuevas.

# 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1 Planteamiento del problema

La Fundación Universidad de América es una institución de educación superior, en la cual se imparten programas como: ingeniería industrial, ingeniería química, ingeniería mecánica, entre otras. Para estos programas es muy importante tanto la formación teórica como la formación práctica, es por esto, que la Universidad cuenta con una planta con gran diversidad de laboratorios, los cuales fortalecen las competencias desde la formación práctica; sin embargo, en el laboratorio de automatización industrial, actualmente se encuentra instalada una celda flexible de manufactura, la cual no se encuentra en funcionamiento debido a un significativo número de fallas que esta está presentando.

La reparación, actualización y puesta a punto de la celda es de suma importancia para la Universidad, ya que, desde su instalación no se le ha podido dar el uso adecuado, lo que representa una pérdida económica para la misma. Así mismo, los estudiantes de ingeniería industrial y mecánica de la Universidad no han podido evidenciar un proceso de manufactura automatizada, razón por la cual no adquieren las suficientes competencias en esta área.

A principios del año 2020, en el informe “DIAGNOSTICO CELDA DE MANUFACTURA” [1], los docentes Miguel Morales, Miguel Jiménez y Wilmar Urrutia le realizaron un diagnostico general a la celda flexible de manufactura encontrando los siguientes errores de funcionamiento:

- Módulo de bandas transportadoras: en este módulo se presenta el inconveniente de que los motores giran a una velocidad muy baja y con un torque insuficiente por lo que el proceso de transporte es ineficiente

- Módulo de dosificación de producto: en este módulo se pudieron evidenciar dos errores de funcionamiento, el primero es que el producto, la mayoría de las veces, no ingresa dentro del contenedor, sino que es liberado sobre la banda transportadora 1. El segundo error de funcionamiento es que la ventosa no es capaz de liberar un contenedor de la torre de funcionamiento.
- Módulo estación de tapado: en este módulo se detectó que el contenedor de producto no queda alineado con la tapa, por lo cual, el porcentaje de éxito de esta estación es excesivamente bajo.
- Estación de control de calidad: en este módulo se presenta una falta de calibración en el sistema de pesado e identificación de color haciendo que el error se propague hasta la estación de rechazo al identificar que muy pocos contenedores son exitosos.
- Estación de productos rechazados: en esta estación se detectó un aparente error de programación ya que el actuador que transporta el contenedor presenta presión de aire en sus dos extremos haciendo imposible el correcto movimiento.
- Estación de distribución de productos: en esta estación se detectó una falla mecánica en el soporte del cilindro actuador, debido a que este sobresale de la estructura de trabajo, se presentan constantes choques lo cual causó una ruptura en este soporte.

Por lo anterior, es de suma relevancia y urgencia la intervención de dicha celda dando cumplimiento a los propósitos para los cuales fue adquirida en un principio.

## **1.2 Justificación**

En el último siglo la tecnología ha avanzado vertiginosamente, razón por la cual las universidades deben actualizar constantemente sus programas, plantas físicas, etc. Estas actualizaciones les permiten a sus estudiantes estar a la vanguardia de los conocimientos y habilidades que requiere el mercado laboral.

Una de las competencias más relevantes que deben tener los nuevos ingenieros es la capacidad de diseñar, operar y, si es necesario, reparar sistemas automatizados de manufactura en los diferentes tipos de industria. Es por esto, que en la Fundación Universidad de América se instaló un equipo didáctico con el fin de simular un proceso de manufactura automatizado, logrando que sus estudiantes puedan adquirir las competencias anteriormente mencionadas. Este equipo se conoce como celda flexible de manufactura.

En la actualidad la celda flexible de manufactura instalada en la Fundación Universidad de América no se encuentra en funcionamiento. Por lo que los estudiantes no están recibiendo el conocimiento necesario para desenvolverse adecuadamente en este campo, es por esto que este proyecto tiene una gran importancia para la Universidad, ya que, una vez concluido, se podrán satisfacer las necesidades educativas que requieren sus estudiantes, para acceder al mercado laboral lo mejor preparados posibles y con una mayor capacidad de competir profesionalmente con profesionales egresados de otras universidades.

### **1.3 Objetivos del proyecto**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Optimizar la celda flexible de manufactura didáctica de la Fundación Universidad de América a partir del mejoramiento de la automatización actualmente implementada.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

1. Realizar un diagnóstico detallado de las fallas que presenta actualmente la celda de manufactura flexible en cada uno de sus módulos
2. Seleccionar la mejor alternativa para la solución de las diferentes fallas presentadas en el diagnóstico detallado.

3. Mejorar la automatización a partir de las necesidades que presenta la celda flexible de manufactura
4. Elaborar los respectivos manuales de operación, mantenimiento, análisis financiero y guías de laboratorio necesarias.

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

En este proyecto se realizará la optimización de la celda flexible de manufactura del laboratorio de instrumentación y automatización industrial de la Fundación Universidad de América. Esta optimización tiene como objetivo el poner en funcionamiento esta celda, debido a que, en la actualidad se encuentra en relativo estado de abandono. Para lograr este objetivo se realizará un diagnóstico minucioso a la celda con el fin de encontrar todas las fallas que se están presentando actualmente. Una vez se han detectado todos los errores se presentará una lista de posibles soluciones para cada una de las fallas, los componentes que deben ser reemplazados o incorporados al mecanismo para posteriormente realizar la cotización y adquisición de estos elementos. De forma paralela también se realizará el levantamiento de planos del montaje neumático y eléctrico que se encuentra actualmente instalado en la celda. Teniendo clara la aplicación de los nuevos componentes se realizará el rediseño del sistema eléctrico, neumático y la programación necesaria para el correcto funcionamiento de la celda adicionando un nuevo sistema de monitoreo virtual. Con base en lo anterior se hará la intervención a la celda para lograr su funcionamiento óptimo implementando todos los factores mencionados anteriormente. Después de realizada la intervención, la celda funcionará con una eficiencia por encima del 90%. Finalmente se elaborará un análisis de costos de fabricación y operación comparado con el proceso actualmente empleado por la universidad. El proyecto se llevará a cabo en el tiempo estipulado en el cronograma de trabajo el cual consta de 16 semanas (112 días).

#### **1.5 Hipótesis**

El presente proyecto pondrá a punto la celda flexible de manufactura del laboratorio de automatización de la Fundación Universidad de América dando como valor agregado la posibilidad de manipularla desde un medio que actualmente esta no dispone como lo puede ser un PC, un celular o algún otro dispositivo de control.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 Antecedentes del proyecto

La Fundación Universidad de América cuenta con diferentes laboratorios, para la investigación y el desarrollo del conocimiento práctico en los estudiantes de ingeniería. El espacio disponible en la Universidad, donde se realizan prácticas para las asignaturas de neumática, instrumentación y control de procesos y automatización industrial, cuenta con una celda flexible de manufactura, la cual, tiene el fin de ilustrar un proceso industrial de forma didáctica, para que los estudiantes de ingeniería mecánica e ingeniería industrial observen el funcionamiento de los diferentes elementos neumáticos y electro neumáticos, poniendo en práctica las diferentes maneras de programar los mandos secuenciales.

Existen diferentes compañías enfocadas en el desarrollo y la investigación de nuevas tecnologías, para automatizar procesos industriales mediante la neumática y electroneumática, como lo son: FESTO, que ofrece exposiciones móviles (Expotainer) y muestras de aplicaciones importantes, dedicadas a las empresas, con el fin de mostrar distintas soluciones en la automatización neumática, eléctrica y de procesos. MINDMAN con el crecimiento de productos manipulados por medio de la mecatrónica y dispositivos IoT de alta precisión. Además, A.J.M. HIDRAULICA Y NEUMATICA aparte de ser uno de los fabricantes más reconocidos a nivel mundial, ofrecen un excelente servicio al cliente.

En la Fundación Universidad de América se han realizado diferentes proyectos de investigación, donde se han implementado módulos, para un proceso más aproximado a uno industrial, como también proyectos de investigación que se enfocaron en la puesta a punto de la celda flexible de manufactura.

El primer proyecto de investigación estuvo a cargo de los exalumnos Juan David Fonseca Núñez y Jorge Andrés Mora Duran, en el año 2011, en donde enfocaron su investigación

en “El diseño e implementación de una celda de manufactura a nivel didáctico con estaciones de transporte, llenado de sólidos, mecanizado, tapado, manipulación del producto, control automatizado y monitoreo por LabVIEW [2]”. El resultado que se obtuvo fue implementar la estructura con el módulo de dosificación del producto, dejando en evidencia la falta en la implementación de los demás módulos.

El segundo proyecto de investigación estuvo a cargo de los exalumnos Sonia Cristina Caraballo Beltrán y Oscar Javier Salamanca Martínez, en el año 2012. Tomaron las recomendaciones del proyecto anterior, implementando el módulo para clasificar los productos rechazados, por medio de un dispositivo manipulador. Concluyendo con el diseño e implementación del sistema Pick and Place, para la carga y descarga automatizada de las unidades rechazadas en la celda flexible de manufactura de la Universidad.

El tercer proyecto enfocado en la celda flexible de manufactura de la Universidad, estuvo a cargo de los exalumnos Andrés Mauricio Ballesteros Solano y Fabián Camilo Caro Pérez, en el año 2012, con la incorporación del módulo de control de calidad, donde se innovo al controlar esta inspección de calidad por medio de visión artificial y con ayuda del software LabVIEW.

La celda flexible de manufactura que se encuentra actualmente en la Universidad, ha pasado por seis trabajos de grado en total, los tres anteriormente mencionados, dos más a cargo de Jorge Luis Ávila Ríos en pareja con Brayan Jesús Engativá Pardo, para el año 2015. Enfocaron su investigación al “diseño e implementación de un sistema de control de calidad por visión artificial para el equipo o prototipo didáctico de la celda flexible de manufactura de la Fundación Universidad de América [3]”. El siguiente trabajo de grado fue expuesto por David Andrés Castro Torres y Diego Sebastián Pantoja Farfán, en el año 2015. Su propuesta impulso el diseño y la implementación de un sistema de dosificación y transporte en la celda flexible de manufactura didáctica.

Por último, los exestudiantes Daniel Andrés Álvarez Rodríguez y María Paula Chaquea León, en el año 2018 plantearon un rediseño completo de la celda flexible de manufactura, modificando completamente los distintos módulos de operación, como lo son dosificación de envases vacíos, dosificación del material, sistema de tapado, control de calidad, sistemas de transporte y por último la clasificación y almacenamiento, donde involucran la empresa Ingenium LTDA, con el fin de implementar este rediseño y así, lograr la puesta a punto de la celda flexible de manufactura.

## **2.2 Marco teórico**

Es indispensable conocer el inicio de lo que comúnmente se vive al día de hoy en el sector industrial y como la automatización juega un papel importante en la transformación de materia prima. Dicho esto, se realiza una pequeña alimentación de conocimientos, recordando lo que, el ser humano ha estudiado en los últimos siglos y cómo repercute en una celda flexible de manufactura.

Con el fin de eliminar o minimizar la intervención de la mano de obra humana en procesos de índole repetitiva, surge la necesidad de crear disciplinas capaces de aplicar diferentes tecnologías en pro de controlar y monitorear dispositivos, maquinas o procesos, haciendo que estos puedan operar de forma autónoma. Es así como surge el campo de la automatización industrial, enfocado principalmente, en la optimización de diferentes procesos industriales, dando prioridad a variables como la rapidez con la que es llevado a cabo el proceso, la seguridad del operario, el aprovechamiento de recursos entre otras.

### **2.2.1 *Revoluciones industriales***

“La RAE<sup>2</sup> define revolución, del latín tardío *revolutio*, como un cambio profundo, generalmente violento, en las estructuras políticas y socioeconómicas de una comunidad nacional [4]”.

La primera revolución industrial inicia a mediados del siglo XVIII, a partir de la década de 1760, Gran Bretaña. Impactando la economía, la tecnología y la sociedad, dejando a un lado la economía basada en el comercio y la agricultura, para darle paso a una mecanizada e industrializada.

Cuando es construida la máquina de vapor de James Watt, marca un punto de inflexión en la historia, brindando un aumento significativo en la capacidad de producción, ya que, producir algo en cantidades masivas y de forma repetitiva, causa distintos cambios sujetos a la vida del ser humano, surgiendo diferentes especializaciones a nivel laboral, educativo y científico. Siendo así, la raíz de nuevas revoluciones industriales, con sus respectivas propiedades y cualidades.

«Cronológicamente parecería que cada 100 años se dio un nuevo cambio profundo y violento a causa de la primera revolución industrial. En ella, a partir de 1760, se usó el poder del agua y el vapor para poder mecanizar la producción. En la segunda, a partir de 1860, se utilizó el poder de la electricidad y posteriormente de los combustibles fósiles para la producción en masa. En la tercera, a partir de 1960, la electrónica y la tecnología de la información han sido la base de la automatización de la producción.» [4]

En la actualidad es notable la importancia de la tecnología y como es monitoreada, controlada e intervenida cuando un proceso está siendo automatizado. Esto es, con lo que las personas se están enfrentando en la actualidad, pues los empleadores buscan empleados con altas capacidades y altos niveles de educación, causando la desvalorización de trabajadores con baja educación.

En el presente, se vive una cuarta revolución industrial, la cual está arrasando con diferentes disciplinas laborales, gracias a la interconexión de millones de dispositivos móviles y procesos industriales.

### **2.2.2 Industria 4.0**

Luego de ver la necesidad de adquirir conocimientos en la rama de la automatización a nivel tecnológico, se enfocará el concepto de la industria 4.0 a las pymes, donde es ubicada una celda flexible de manufactura. En la Feria de Hannover 2011, por primera vez, se mencionó un sinónimo de esta nueva revolución industrial, “Industria 4.0”. [5]

El sentido de la industria 4.0 es mezclar la tecnología de la información e internet, con los procesos industriales tradicionales, obteniendo procesos más eficientes, rápidos y automatizados, pero ahí no basta, porque la aparición del concepto “personalizado” en un producto, reestructuro la producción por lotes.

Cuando una industria ofrece personalización en sus productos, establece los parámetros para reemplazar las estructuras tradicionales, basadas en mecanismos rígidos, voluminosos y engorrosos, por sistemas de logística y fabricación reconfigurables y flexibles. Esto incrementa la competitividad entre las pymes, pero para seguir siendo competitivo, las industrias tendrán que aumentar la capacidad de brindar soluciones a los requisitos del cliente de manera rápida, flexible y a bajo costo de producción con tamaños de lote bajos. [5]

Las estrategias de personalización masiva, son los pasos fundamentales para transformar un proceso corriente, en un proceso flexible, pero ¿Qué es un proceso flexible?

### **2.2.3 Procesos flexibles en la industria**

Cada industria tiene como fin, satisfacer las necesidades de sus clientes, y para lograr esto, las empresas deben acomodarse al entorno altamente cambiante de la actualidad, acudiendo a la incorporación de procesos flexibles.

Como afirma Eva, la flexibilidad es casi un ‘Santo Grial’ que todos perseguimos para hacer frente al cambio acelerado e impredecible que afecta a los entornos de nuestras organizaciones. [6]

Cuando el propósito de los directivos de una compañía, es adaptarse a los requerimientos actuales del mercado, ellos deben tener claridad en los diferentes tipos que existen de flexibilidad en el ámbito estratégico. Según el grupo P&A, define las siguientes áreas de flexibilidad, con el fin de tomar decisiones acertadas para la organización. [7]

- Flexibilidad estratégica
- Flexibilidad organizativa
- Flexibilidad productiva
- Flexibilidad laboral:
  - Flexibilidad numérica
  - Flexibilidad funcional
  - Flexibilidad financiera
  - Flexibilidad en el lugar de trabajo

La flexibilidad productiva es definida a continuación, puesto que, es el termino donde se posiciona de cierta manera el proyecto elaborado.

2.2.3.a. Flexibilidad productiva: el objetivo es la optimización de la producción y no generar una elevación en los costos, de manera que, se puedan manufacturar nuevos productos, reestructurar las líneas de producción, reubicación del recurso humano y, en la mayoría de casos tratar de conseguir la automatización completa, permitiendo controlar el proceso de tal manera que, el volumen de fabricación sea función de las necesidades del mercado. [7]

#### **2.2.4 Sistema flexible de manufactura**

En el área de automatización industrial, existen diferentes términos tales como: fabricación asistida por computador (CAM), fabricación integrada por ordenador (CIM), y sistemas de fabricación flexible (FMS). También se encuentra el termino CAD / CAM, utilizado ampliamente en la industria para la automatización de fábricas. En la actualidad,

las industrias automatizadas son vistas con mayor frecuencia que, hace un par de décadas, pues la complejidad que abordaba una automatización completa, fue solventada por diferentes paquetes de software que realizan la comunicación con los sistemas de control existentes. [8]

Normalmente, la automatización industrial se ha agrupado en las siguientes categorías:

- Automatización fija: es un sistema el cual su secuencia de funcionamiento es dependiente de la configuración del equipo.
- Automatización programable: permite cambiar la secuencia de operación, con el fin de adaptarse a diferentes configuraciones de producto.
- Automatización flexible: extensión de la automatización programable.

Un sistema de manufactura flexible es capaz de procesar o fabricar diferentes artículos en el menor tiempo posible, con el fin de, conmutar de un producto a otro sin generar pérdidas en el tiempo. Como dice Nand, “Un sistema de fabricación flexible generalmente consta de un conjunto de celdas, un sistema de manejo de materiales que conecta esas celdas y centros de servicio (por ejemplo, almacén de materiales, sala de herramientas o equipo de reparación)” [9].

La celda se considera la unidad independiente que ejecuta una función de fabricación específica (por ejemplo, un centro de mecanizado, una máquina de inspección o un robot de carga y descarga). [9]

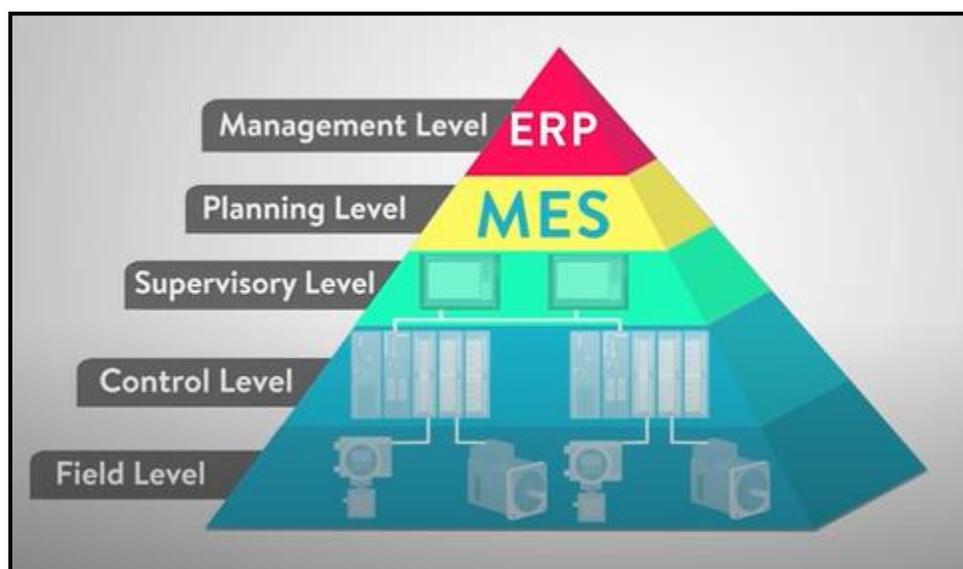
En algunas ocasiones, FMS se define como un grupo de máquinas trabajando en conjunto y totalmente autónomas, donde no hay intervención del exterior para el cambio de procesamiento de piezas o producto, esto con el fin de justificar la palabra “flexible”.

### **2.2.5 Control de un FMS**

Los sistemas flexibles de manufactura son controlados en su totalidad por computadores u ordenadores, los cuales están encargados de recibir información y tomar decisiones de salida basados en una programación. En la figura 1 se puede observar la pirámide de CIM, más conocida como pirámide de automatización, la cual muestra en sus diferentes niveles, el orden para implementar una automatización asertiva en cualquier industria.

**Figura 1.**

*Pirámide de automatización.*



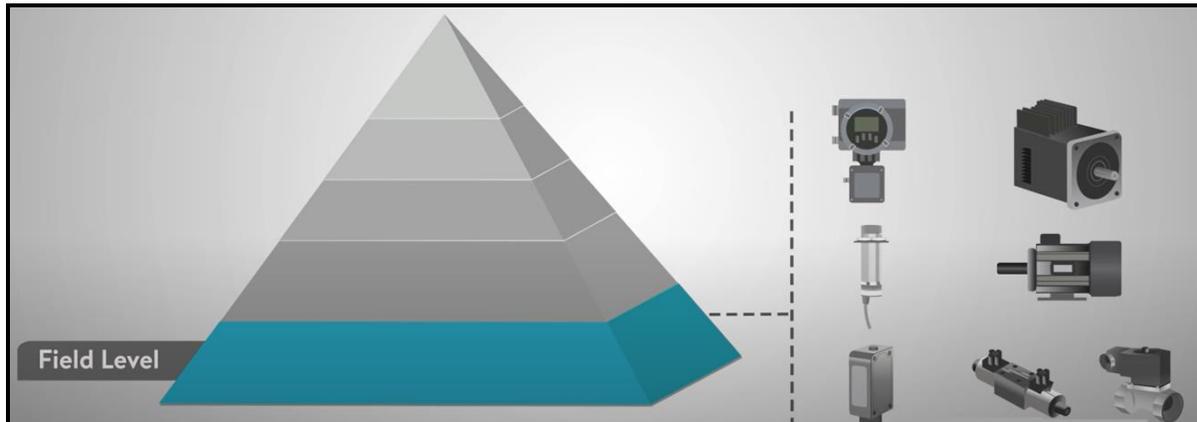
**Nota.** En la imagen se pueden observar los diferentes niveles de una pirámide de automatización. Tomado de: RealPars, *What is the Automation Pyramid?*: (jun.11, 2018). Consultado: Julio. 13. 2021. [Video en línea]. Disponible: <https://n9.cl/q8im5>.

La pirámide de automatización es una representación gráfica de los diferentes niveles de automatización en una compañía o industria, donde se puede observar la integración de la tecnología a nivel industrial. [Referencia del video]

2.2.5.a. Nivel de campo (primer nivel): Como se puede observar en la figura 2, es el lugar donde se realiza todo el proceso de producción, ubicando los actuadores y sensores de la planta, tales como: motores eléctricos, actuadores neumáticos e hidráulicos, sensores de proximidad, fotoeléctricos, etc.

**Figura 2.**

*Nivel de campo*

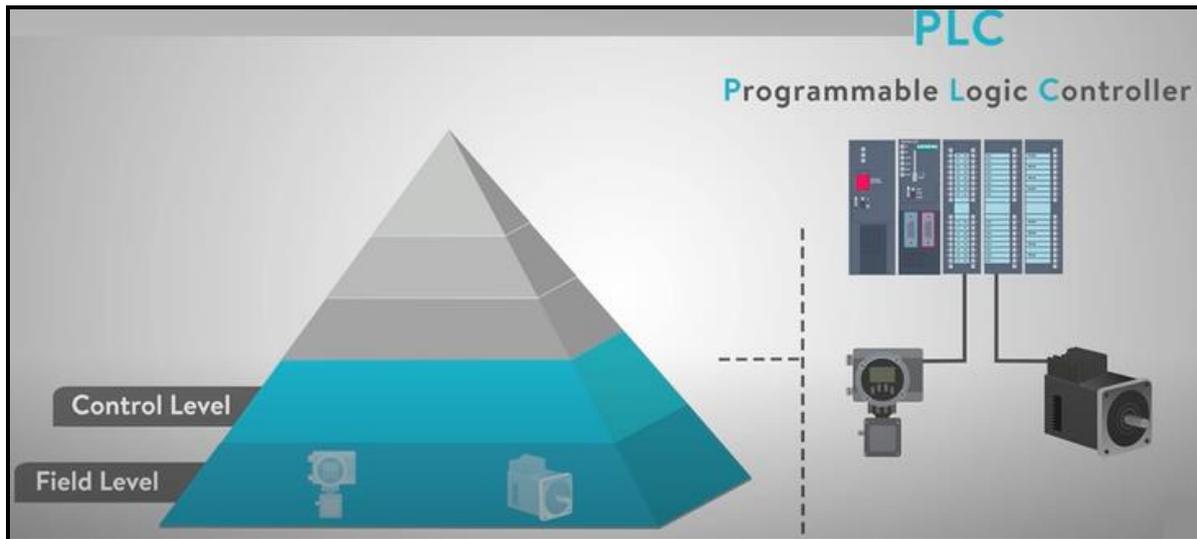


**Nota.** Componentes asignados al nivel uno. Tomado de: RealPars, *What is the Automation Pyramid?*: (jun.11, 2018). Consultado: Julio. 13. 2021. [Video en línea]. Disponible: <https://n9.cl/q8im5>.

2.2.5.b. Nivel de control (segundo nivel): Como se puede observar en la figura 3, se encuentran los PLC y PID. Tal como su nombre lo indica, este nivel controla el proceso que se esté llevando a cabo dentro de la compañía, ya que, proporciona señales de activación o desactivación a los actuadores vistos en el nivel anterior o la recepción de señales enviadas por los sensores vistos anteriormente.

**Figura 3.**

*Nivel de control*

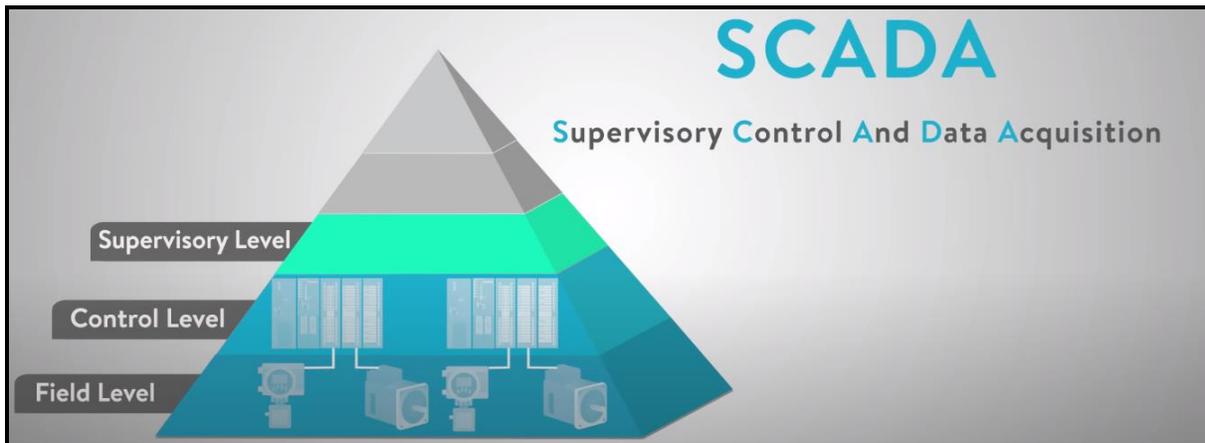


**Nota.** En este nivel solo se encuentran los PLC' o los PID. Tomado de: RealPars, *What is the Automation Pyramid?*: (jun.11, 2018). Consultado: Julio. 13. 2021. [Video en línea]. Disponible: <https://n9.cl/q8im5>.

2.2.5.c. Nivel de supervisión (tercer nivel): los sistemas SCADA se ubican como se muestra en la figura 4. Según Aquilino, la necesidad de un sistema SCADA surge en el instante en que los sistemas de control requieren una supervisión minuciosa, así que, diferentes paquetes de software fueron desarrollados con el fin de comunicarse con los sistemas de control ya existentes, permitiendo cierta flexibilidad en ese momento. [8]

**Figura 4.**

*Nivel de supervisión*



**Nota.** Se encuentran los sistemas SCADA. Tomado de: RealPars, *What is the Automation Pyramid?*: (jun.11, 2018). Consultado: Julio. 13. 2021. [Video en línea]. Disponible: <https://n9.cl/q8im5>.

Luego de tener comunicación entre el proceso, el controlador y una interfaz de usuario, los sistemas SCADA evolucionaron, dando lugar al control a distancia de procesos industriales, realizando representaciones gráficas y animadas de las variables, como a su vez, una monitorización a distancia. Siendo posible todo esto, con la llegada del internet. [10]

### **2.2.6 Sistema de fabricación dedicado**

Entre los sistemas de fabricación dedicados, se puede ubicar la FMC (celda de fabricación flexible), siendo esta, un tipo de DMS (Dedicated manufacturing System) catalogada según el número de máquinas que contenga. [11]

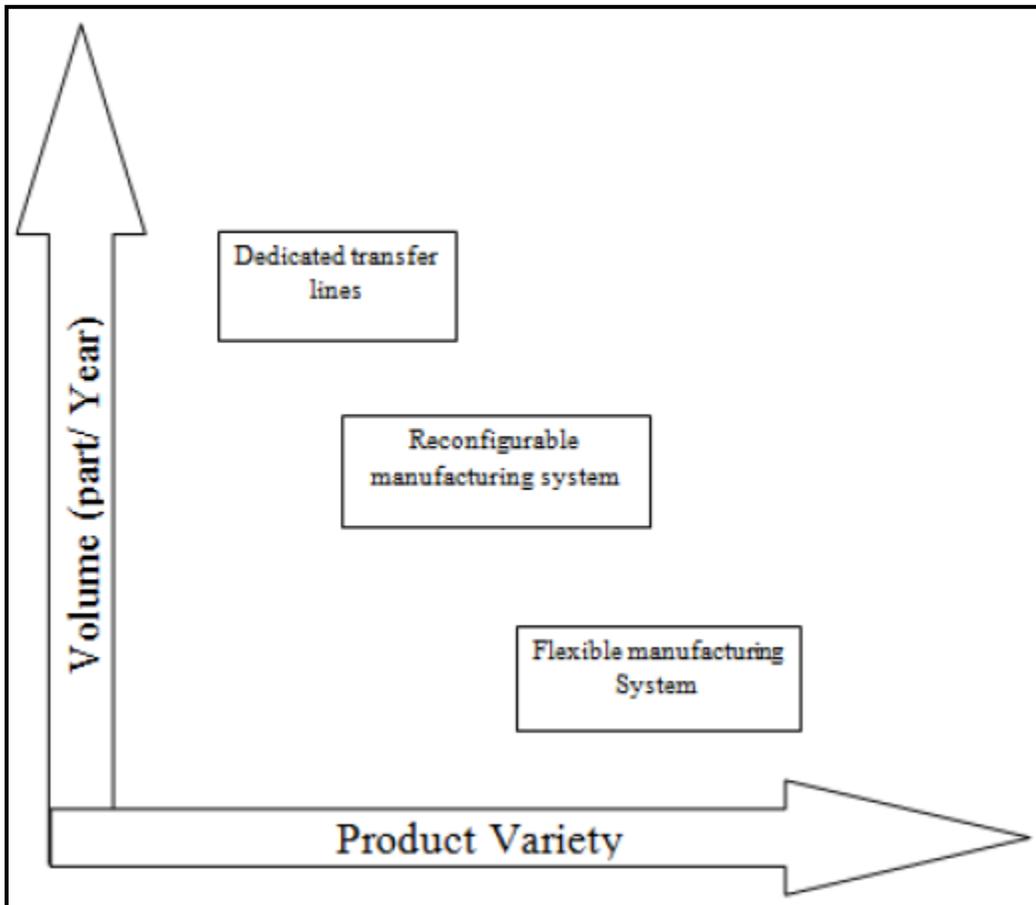
Como dicen Singh, Kumar y Sunil, un sistema de fabricación dedicado es un sistema de mecanizado, creado para la manufactura de una pieza o producto en específico. Utiliza tecnología de línea de transferencia con utillaje fijo y automatización [12].

Su objetivo económico es fabricar de manera productiva un tipo de pieza propia a volumen considerable y una calidad requerida.

En la figura 5 se puede observar la variedad de productos que ofrecen diferentes sistemas de manufactura, comparando esta característica con los tamaños de lote que obtienen al año.

**Figura 5.**

*Mapeo de varios tipos de sistema de fabricación.*



**Nota.** Variedad de productos vs volumen (partes/año), que ofrecen los diferentes sistemas de manufactura. Tomado de: G. Kumar, K. Kumar G., N. K. Batra, "Evolution, principles and recent trends in reconfigurable manufacturing system", *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 12, no. 40, pp. 2, Ago, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1240/1/012161. Disponible: <https://n9.cl/fts0t>. [acceso: jul 16, 2021].

### 2.2.7 DMS, FMS y RMS

En la tabla 1 se presenta la comparación con respecto a factores importantes de los sistemas de fabricación existentes. [13]

**Tabla 1.**

*Características DMS, FMS y RMS.*

No	Aspecto	Sistema de fabricación tradicional (DMS)	Sistema de fabricación convencional (FMS)	Sistema de fabricación avanzado (RMS)
1	Proceso tecnológico	Fijo	Adaptable	Sensible
2	Estructura del sistema	Fijo	Ajustable	Ajustable
3	Escalabilidad	Nula	Si	Si
4	Estructura de la maquina	Fijo	Fijo	Ajustable
5	Flexibilidad	Escaza	General	Modificable
6	Mercado	Estable	Previsible	Variable
7	Costo	Bajo	Alto	Indeterminado

**Nota.** En la tabla se pueden observar rápidamente propiedades características de los sistemas de fabricación.

A partir de la comparación, es evidente que el DMS cuenta con varias desventajas frente a los demás sistemas de fabricación, impidiendo que el proceso sea flexible desde varios puntos de vista, como su estructura general, disposición de máquinas, proceso tecnológico, producto final, etc.

### 2.2.8 Diferentes sistemas de fabricación dedicado

Estos sistemas pueden ser encontrados en cualquier proceso industrial, para la producción de diferentes productos. Por lo general cuentan con estaciones de trabajo

como en un proceso de producción industrial habitual, pero dichas estaciones funcionan autónomamente en su totalidad. [14]

En la actualidad los sistemas de fabricación dedicado son empleados para mejorar los sistemas de producción y el suministro de materiales dentro una planta. Por lo general, las estaciones de estos sistemas cuentan con:

- Maquinas CNC para centros de mecanizado, torneado, etc.
- Elementos para intervenciones auxiliares, como sistemas de medición automáticos
- Estaciones de recubrimiento, pintura, etc.
- Estaciones de montaje, entre ellos, soldadura, atornillado, etc.
- Zonas de carga y descarga.
- Sistemas de traslado entre estaciones.
- Software

### **2.2.9 DMS en el ámbito educativo**

Como se ha venido discutiendo, la industria sigue avanzando en tecnologías que logran acaparar las habilidades de los recursos humanos, por esto es importante estar a la vanguardia de los conceptos adoptados por las compañías.

La automatización industrial contiene los conceptos adoptados por la industria, para controlar sus procesos de manufactura y encaminarlos hacia el control e inspección inteligente.

Dentro del campo educativo, las instituciones de educación superior han detectado la necesidad de manejar y entender adecuadamente las tecnologías actuales. Para lograr esto, se han dedicado a la incorporación de bancos didácticos en laboratorios (celdas flexibles de manufactura), que permiten observar los lenguajes de programación y la manera de controlar e inspeccionar el proceso de manufactura desde un controlador lógico programable, ordenador con interfaz de usuario o un dispositivo móvil. [15]

A continuación, se exponen algunos bancos que permiten adoptar los conocimientos necesarios para la correcta comprensión de los diferentes niveles de la pirámide de automatización en los sistemas de manufactura.

International training SMC, realizo el montaje de una celda flexible de manufactura llamada HAS-200, con el fin de instruir al personal en conceptos sobre la pirámide de automatización. [16]

La celda está cargada con 11 estaciones de trabajo para conseguir un producto final:

- Alimentación de recipientes al proceso: son contemplados cuatro estilos de recipientes: azul, rojo, amarillo y multicolor.
- Producción: como se tienen 3 tipos de producto, la estación presenta tres sub estaciones, estas sub estaciones cuentan con alimentación, llenado y tapado para cada tipo de producto. El recipiente multicolor es separado del proceso, para ser dosificado con diferentes cantidades de producto.
- Control: Verificación del nivel de los diferentes productos dosificados en los recipientes, clasificando los productos aprobados con etiquetas impresas.
- Tapado: son colocadas las tapas a los recipientes dosificados.
- Almacén vertical: es compuesto por dos ejes eléctricos servo controlados con una capacidad de almacenaje de hasta ochenta y un (81) recipientes.
- Almacén horizontal: es compuesto por un eje eléctrico servo controlado y otro con motores paso a paso con una capacidad de almacenaje de hasta cincuenta y seis (56) recipientes.

- Paletizado: la estación se encarga de agrupar los recipientes de a cuatro unidades, para ser despachados una vez el lote este completo.
- Materia prima: cuenta con un almacén donde son guardados recipientes, tapas y producto, con el fin de provisionar la fábrica de forma ágil y rápida cuando esta lo requiera.

El control de la celda es realizado por medio de un PLC, de forma manual como integrada, permitiendo la comunicación por medio de ethernet con niveles superiores. Además, utiliza un software llamado 3D supra, el cual permite monitorear en tiempo real el proceso productivo, por medio de una simulación 3D. [16]

Rafael Rivera, egresado de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, presenta como trabajo de grado una implementación de un sistema SCADA para la celda de manufactura flexible, con la que cuenta la universidad. Esta celda es compuesta por cuatro estaciones de trabajo:

- Sistema de transporte: cuenta con dos secuencias diferentes, con el fin de transportar un portador de piezas a la siguiente estación o de ser el caso, devolverla.
- Procesamiento: el portador de piezas se ubica de tal manera que, un perno es colocado al interior de este.
- Verificación: si la estación coloca un perno metálico en el portador de piezas, esta continua sin problema a la siguiente estación. Si el perno colocado es de plástico, el producto es rechazado en el proceso.
- Almacenamiento: ordena el producto terminado en un almacén de cuatro pisos con ayuda de un brazo.

Además, la celda es controlada por medio de un PLC de manera manual o automática.

[17]

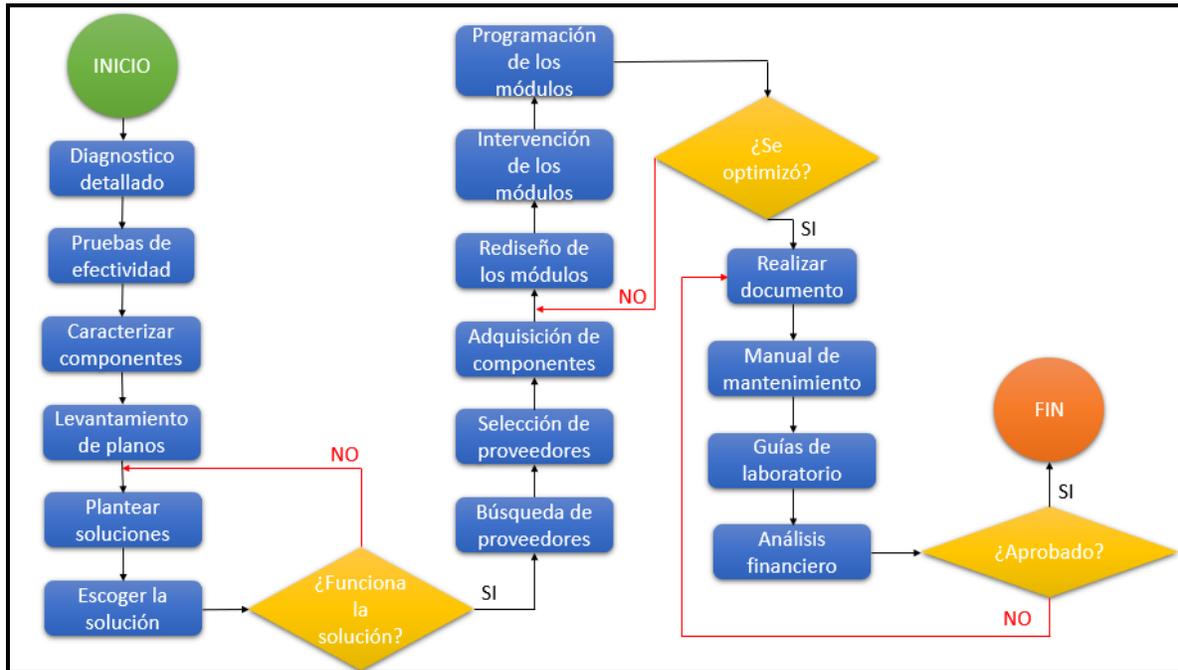
### 3. METODOLOGIA

Realizando una revisión a los diferentes tipos de metodologías, se tomó la determinación de trabajar con la metodología investigación experimental, ya que el objetivo de esta metodología es “explicar la relación causa- efecto entre dos o más variables o fenómenos [15]”. Tratándose de variables, como los diferentes componentes neumáticos, electroneumáticos, la misma programación, etc. Se manipularán tanto los valores de entrada como los de salida, ya que, para obtener los resultados esperados se necesita operar las variables independientes del proceso, y así observar su efecto en las variables dependientes. Justificando los argumentos con “El investigador modifica intencionalmente el estado de algunos de los sujetos de estudio, introduciendo y manipulando un tratamiento o una intervención (variable independiente o factor casual) que desea estudiar o evaluar [15]”.

El proceso realizado se puede observar en la figura 6, donde se proporciona un método grafico para una sencilla comprensión de la metodología empleada.

**Figura 6.**

*Diagrama de flujo.*



**Nota.** La figura muestra el diagrama de flujo explicando el proceso de intervención realizado en la celda flexible de manufactura.

### 3.1 Lugar

Este proyecto se lleva a cabo en el laboratorio de automatización, número 322 de la Fundación Universidad de América en Bogotá D.C. Colombia.

### 3.2 Material y equipos

En un principio, se cuenta con un manual general y de mantenimiento, entregado por la compañía encargada del montaje de la celda flexible de manufactura (Ingenium ingeniería y consultoría LTDA) [16].

Este manual especifica los diferentes módulos y componentes con los que cuenta la celda, siendo estos:

- Variadores de velocidad

- Dosificador de envases
- Banda transportadora 1
- Dosificador de producto
- Estación de tapado
- Estación de control de calidad
- Banda transportadora 2
- Estación de productos rechazados
- Distribución de productos
- Tablero eléctrico
- Tablero neumático

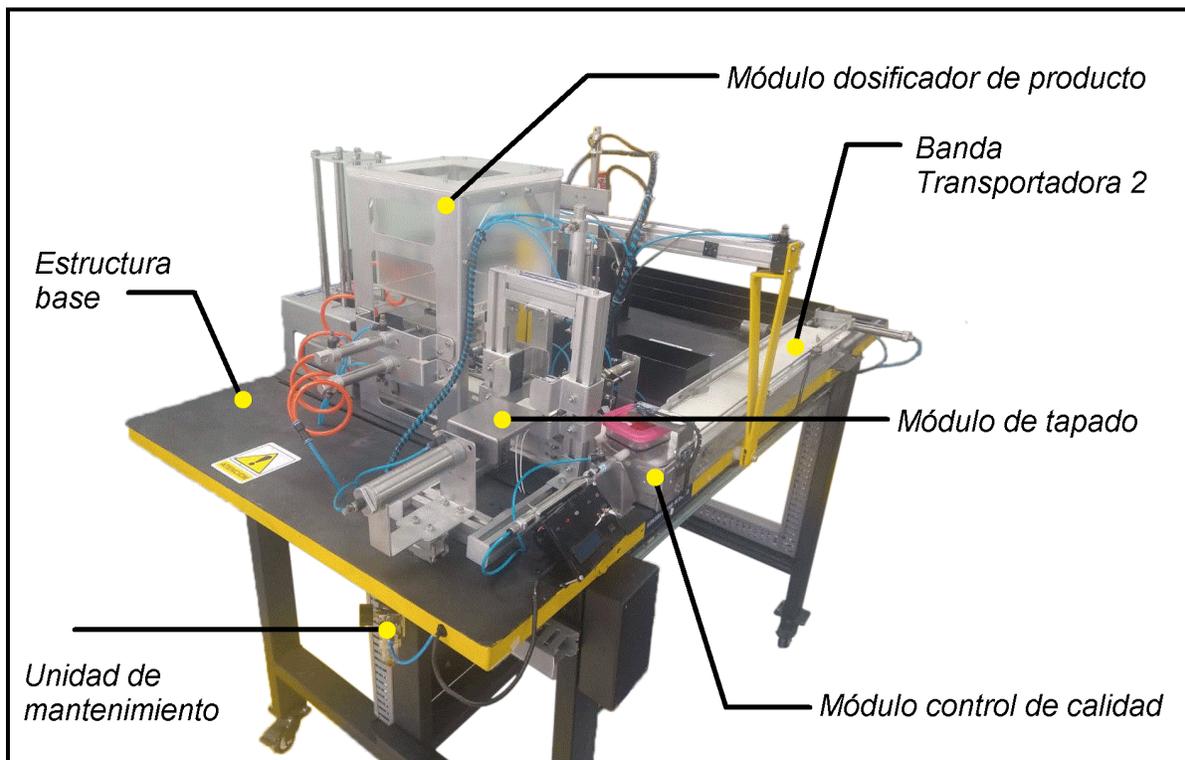
Estos componentes pueden ser observados en las figuras 7 y 8.

#### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se da inicio al proyecto describiendo el montaje general de la celda flexible de manufactura didáctica, mostrando el espacio y la configuración de los módulos en las figuras 7 y 8. También se muestran algunos componentes ajenos a los módulos pero que hacen parte de la celda.

**Figura 7.**

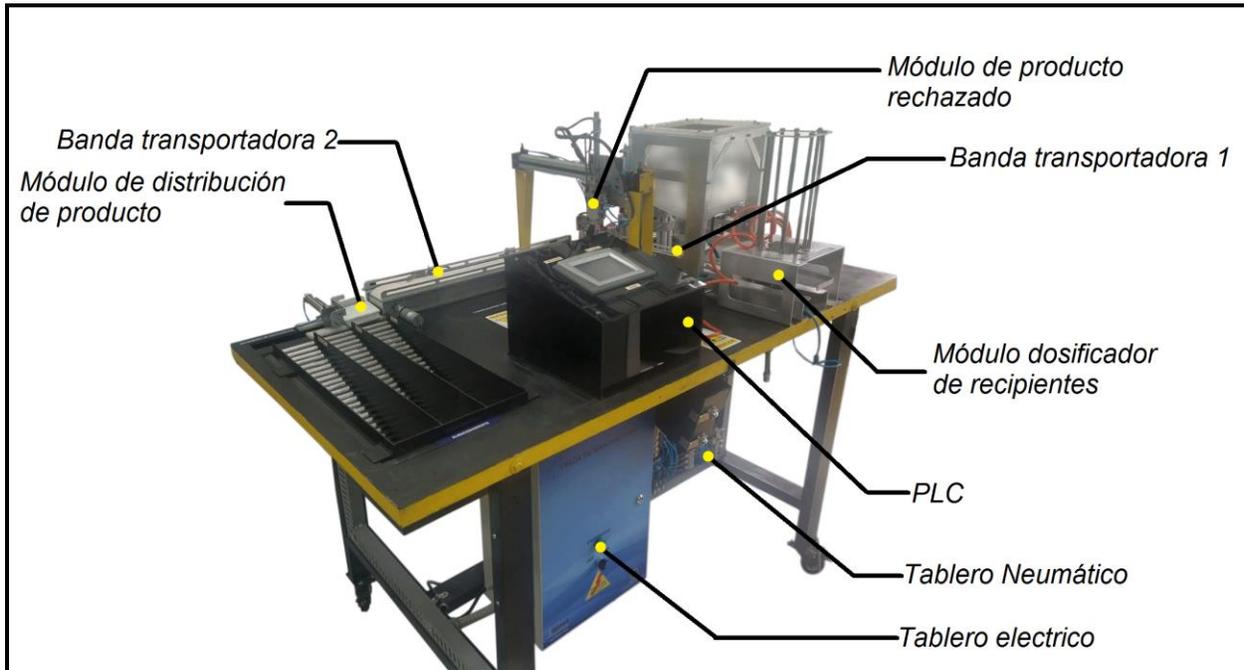
*Celda flexible de manufactura didáctica vista 1*



**Nota.** En esta figura se puede observar la disposición de los módulos y algunos componentes.

**Figura 8.**

*Celda flexible de manufactura didáctica vista 2*



**Nota.** En esta figura se terminan de identificar los componentes principales de la celda.

Se identifican componentes ajenos a cualquier módulo, como lo es: la unidad de mantenimiento, el tablero eléctrico y el PLC, los cuales presentan una serie de fallas que impiden el correcto funcionamiento de la celda.

Los elementos descritos anteriormente, fueron intervenidos con el fin de mejorar el proceso realizado por parte de la celda. En la tabla 2 se presenta una descripción de las fallas presentadas y la solución a estas.

**Tabla 2.**

*Elementos no incluidos en algún módulo.*

Componente	Situación actual	Intervención realizada
PLC	La programación de todos los módulos no está acorde con las secuencias Electroneumáticas a realizar.	Se solicita a la compañía encargada del montaje de la celda [17], el backup de su programación, pero al no recibir respuesta, se procede con la programación completa del proceso.
Unidad de mantenimiento	No cuenta con el lubricador.	Se reemplaza la unidad actual, por una que si cuenta con lubricador.
Tablero eléctrico	Por los ductos de cableado, se encuentran dos sensores de posición (reed), sin estar aportando al proceso de la celda, pero si interfiriendo. Como se ve en la figura 9, uno de ellos se encuentra conectado a la entrada I19 del PLC.  También se encuentran cables sin uso alguno, cableados internamente en los ductos.	Se retira todo exceso de cable encontrado en los ductos, al igual que los sensores reed.

**Nota.** Esta tabla describe las acciones correctivas tomadas, para los componentes ajenos a los módulos, pero pertenecientes al proceso.

**Figura 9.**

*Sensor reed*



**Nota.** En la figura se observa la disposición de uno de los sensores reed y se evidencia su montaje innecesario.

#### **4.1 Módulo dosificador de envases**

El módulo tiene como fin apilar los recipientes (ver figura 13) y conducirlos al proceso ordenadamente, para tal fin, los envases son apilados por un operador dentro de la jaula. Para iniciar el proceso se acciona el botón de inicio programado en el PLC y enseguida se realiza la secuencia electroneumática que gobierna el funcionamiento del módulo, la cual puede ser observada en la tabla 3. Luego de cumplirse esta secuencia lógica, un recipiente pasa de estar en la jaula, a estar sobre la banda transportadora 1 (ver figura 8), aguardando para ser dosificado de producto por el siguiente módulo.

**Tabla 3.**

*Secuencia electroneumática del módulo 1.*

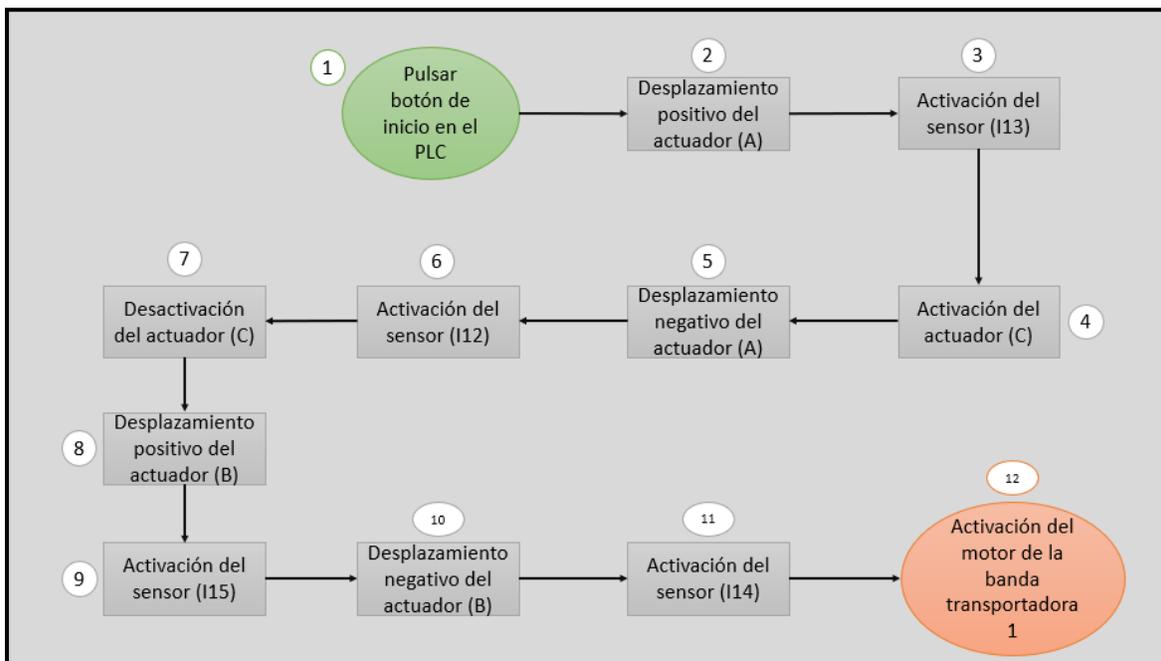
A+	A- C+	B+	B-
----	----------	----	----

**Nota.** La tabla muestra la secuencia electroneumática que realiza el módulo dosificador de envases.

#### 4.1.1 Diagrama de flujo del módulo dosificador de envases

**Figura 10.**

*Diagrama de flujo del módulo dosificador de envases.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases que realiza el módulo para dosificar un envase.

Los elementos principales que componen el módulo son:

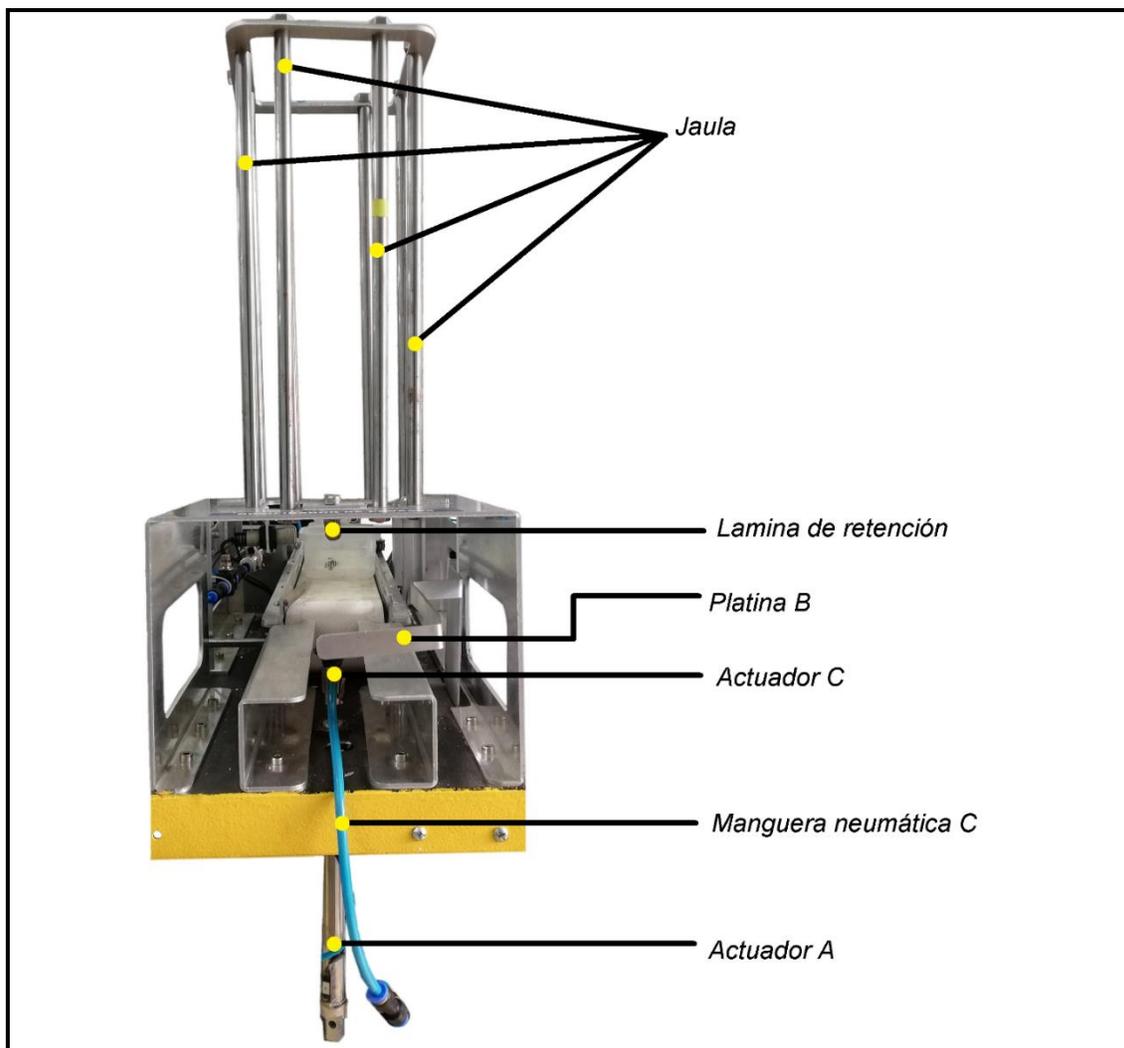
- 5 mangueras neumáticas.
- 2 electroválvulas 5/2 biestables.
- 1 electroválvula 3/2 monoestable.
- 1 tobera de succión de vacío.

- 2 cilindros neumáticos de doble efecto.
- 1 ventosa.
- 4 láminas retenedoras.
- 4 sensores de posición.

Algunos de estos elementos pueden ser observados en las figuras 11 y 12.

**Figura 11.**

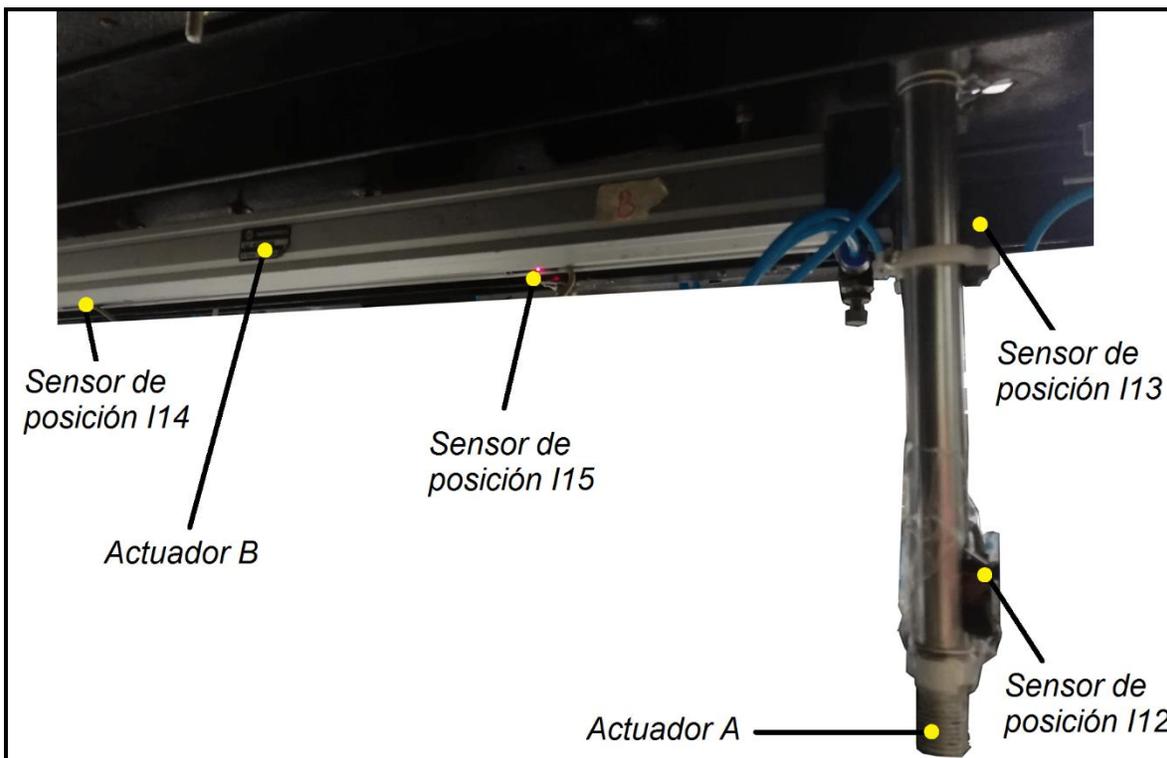
*Módulo dosificador de envases vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo dosificador de envases.

**Figura 12.**

*Módulo dosificador de envases vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo dosificador de envases.

#### 4.1.2 Analisis detallado de fallas

**Tabla 4.**

*Análisis detallado de fallas del módulo dosificador de envases.*

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Dosificador de envases	Soportar los envases apilados, para luego ser alimentados en la banda transportadora, y así, iniciar el proceso	Los envases no están siendo alimentados al proceso en algunas ocasiones	1. Envases (Figura 13)	Presión negativa en el interior	El actuador C tiene que generar más fuerza de succión, pero al no lograrlo, la presión negativa en el interior de los recipientes no permite la alimentación de los mismo al proceso.
				Rozamiento entre envases	
			2. Actuador C (Figura 11)	Giro solidario con el vástago del actuador A	El vástago del actuador A tiene libertad de giro, esto hace que, al ser accionado, se presente una rotación solidaria al actuador C causando que se altere la posición adecuada de los recipientes al entrar al proceso.

**Tabla 4.** Continuación.

			3. Láminas de retención (Figura 11)	Mayor resistencia a al paso de los envases	Generan mayor resistencia a los envases, haciendo que el actuador C necesite mayor presión para lograr ingresar los recipientes al proceso.
--	--	--	-------------------------------------	--	---

**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo dosificador de envases.

Con base a la anterior tabla y después de realizar pruebas de campo, se encontraron componentes que impiden el correcto funcionamiento del módulo, observando tres modos de falla presentes en el.

4.1.2.a. Modo de falla #1: se presenta en el momento que el actuador C no logra separar los envases de forma individual para ingresarlos al proceso, debido a dos factores. El primero, al apilar los recipientes se generaba una presión negativa en el interior de estos y el segundo, el rozamiento entre los envases.

**Figura 13.**

*Envases apilados.*



**Nota.** Recipientes antes de la intervención realizada.

4.1.2.b. Modo de falla #2: de acuerdo a la figura 11, el actuador A tiene roscado el actuador C (ventosa) a uno de sus extremos, este cuenta con la manguera neumática 1 para la succión, pero al no estar guiada genera un giro en el actuador A y al mismo tiempo en el actuador C. Por lo tanto, este modo de falla se presenta al momento en que el actuador A es accionado, generando una ligera rotación en la torre de envases y provocando que estos choquen contra la estructura.

4.1.2.c. Modo de falla #3: de acuerdo a la figura 17, la estructura cuenta con cuatro laminas retenedoras, las cuales cumplen la función de sostener la torre de envases apilados, para que los envases no caigan sobre el actuador A. Pero en este modo de falla se presenta la mayor resistencia al separar individualmente el envase, por el uso precisamente de las láminas.

### 4.1.3 Intervención realizada para la solución de fallas

Para iniciar el proceso de intervención, se prepararon diferentes ideas con el fin de corregir los modos de falla presentados en el módulo.

4.1.3.a. Para la solución al modo de falla #1: inicialmente para alcanzar el objetivo se añadió espuma en forma de paralelepípedos a dos costados de los recipientes, como se puede observar en la figura 14, pero luego de tener los envases apilados aproximadamente cuarenta y cinco (45) minutos, la espuma presentó dos problemas considerables, el primero de ellos fue el método de fijación, porque los trozos de espuma fijados a los envases se despegaban mientras se realizaban las pruebas. El segundo problema se presentó con los paralelepípedos porque al tener baja resistencia a la compresión (ver figura 15), estos se deterioran rápidamente creando un atascamiento de recipientes.

**Figura 14.**

*Espuma adherida a los recipientes.*



**Nota.** En la figura se muestra la disposición en que fue adherida la espuma a los recipientes.

**Figura 15.**

*Espumas maltratadas por el peso.*



**Nota.** En la figura se muestra el comportamiento de la espuma al momento de apilar los envases.

Por lo tanto, este modo de falla se corrigió con el uso de amarres plásticos, uniendo dos de estos y colocándolos alrededor de los recipientes (ver figura 16), evitando los errores generados por la espuma, utilizando los recipientes adquiridos por la universidad y mejorando la eficiencia en el proceso de alimentación.

**Figura 16.**

*Recipiente con amarres plásticos.*

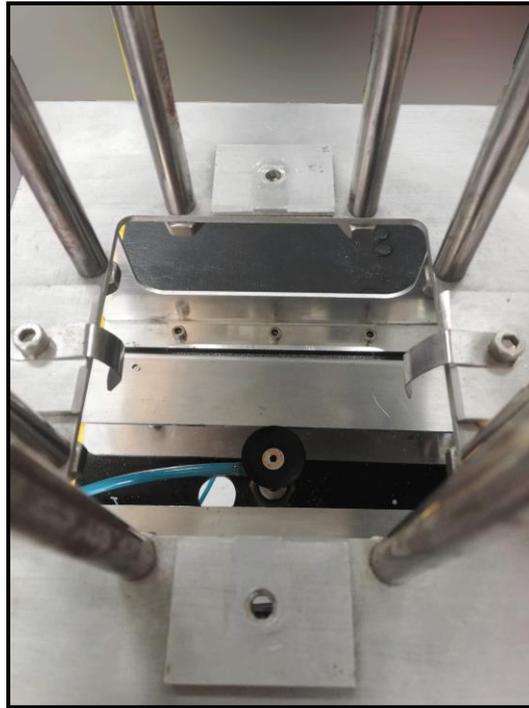


**Nota.** En la imagen se muestra la disposición en que fueron colocados los amarres plásticos.

4.1.3.b. Para el modo de falla #2 y #3: se detectó que el número de láminas de retención, era la principal causa de estas fallas, así que se tomó la decisión de retirar dos como se puede ver en la figura 17, gracias a esta acción correctiva, se obtuvo un proceso más eficiente, haciendo que el segundo modo de falla no generará interferencia con la correcta alimentación de los recipientes.

**Figura 17.**

*Vista de las láminas de retención.*



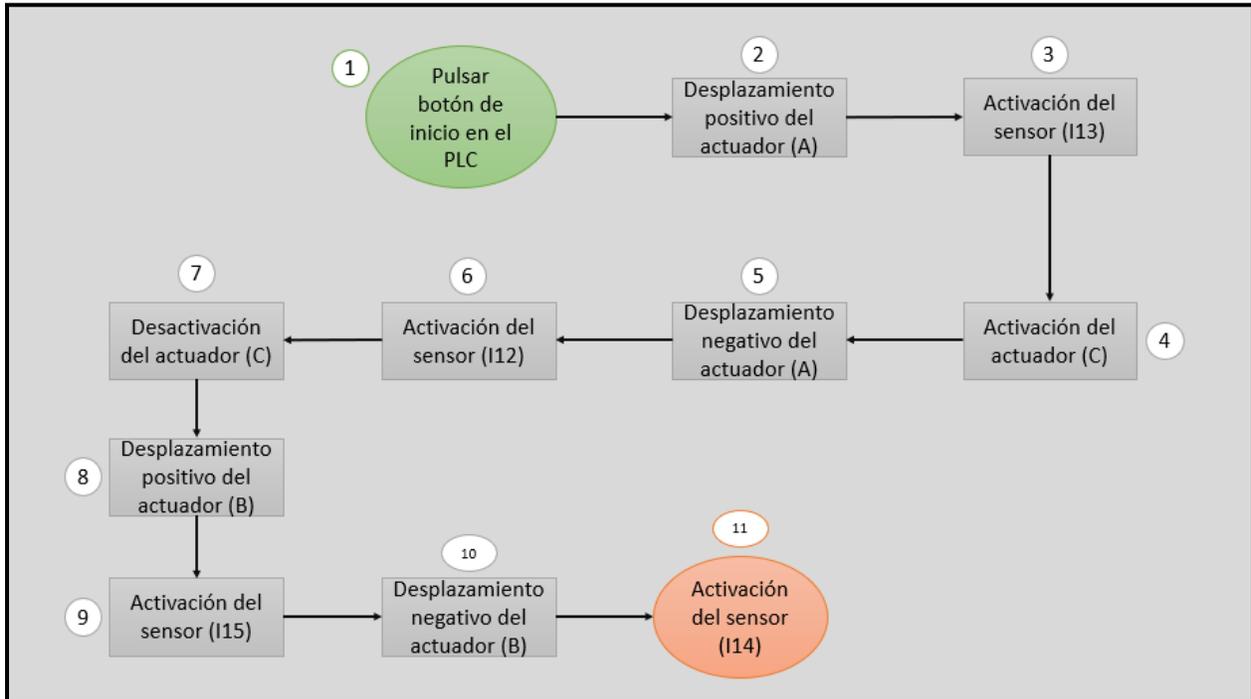
**Nota.** En la figura se aprecia las láminas de retención que no fueron retiradas.

Adicionalmente se realizaron cambios en las ubicaciones de los sensores de posición en los actuadores A y B, con el fin aumentar el porcentaje de recipientes alimentados al proceso. Por inconvenientes internos, la empresa contratada por la universidad para realizar el montaje de la celda flexible de manufactura, no presento el Backup de la programación, por este motivo se reprogramo completamente este módulo desde el PLC.

Al final del proceso de intervención, el diagrama de flujo queda como se puede observar en la figura 18.

**Figura 18.**

*Diagrama de flujo actual del módulo dosificador de envases.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases nuevas que realiza el módulo para dosificar un envase.

## 4.2 Módulo dosificador de producto

El objetivo del módulo es depositar en el recipiente en movimiento, producto que reposa en una tolva.

En este módulo el proceso inicia al llenar la tolva con el producto, luego se aguarda por el recipiente que va por la banda transportadora 1 (figura 8). La activación del sensor capacitivo 1 (figura 19) detiene el funcionamiento de la banda, posicionando el envase debajo de la tolva y al mismo tiempo envía una señal al PLC, para posteriormente realizar la secuencia electroneumática mostrada en la tabla 5.

**Tabla 5.** Secuencia electroneumática del módulo

2.

D-	D+	E-	E+
----	----	----	----

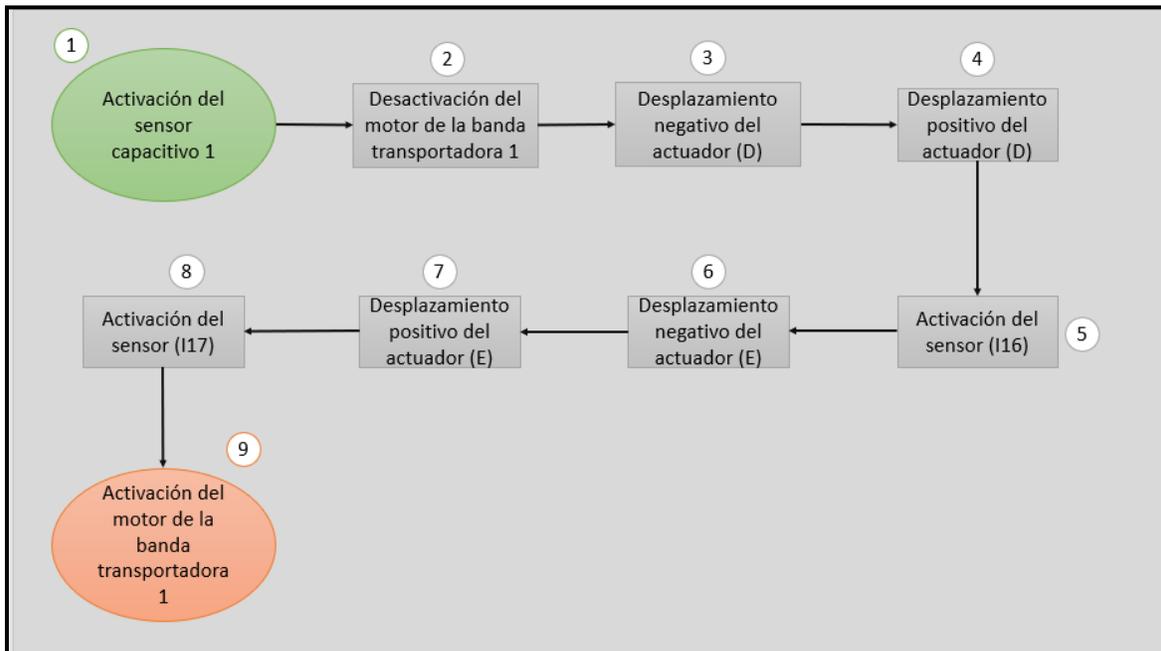
**Nota.** La tabla muestra la secuencia electroneumática que realiza el módulo dosificador de producto.

Mientras el actuador D realiza D- y D+, el producto es transportado a la cámara de pre dosificado (figura 19). Luego cae el producto de la cámara al interior del recipiente cuando el actuador E realiza E- y E+. Cuando el proceso de este módulo finaliza, el recipiente continua su recorrido en la banda transportadora 1.

#### 4.2.1 Diagrama de flujo del módulo dosificador de producto

**Figura 19.**

Diagrama de flujo del módulo dosificador de producto.



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases que realiza el módulo para dosificar producto.

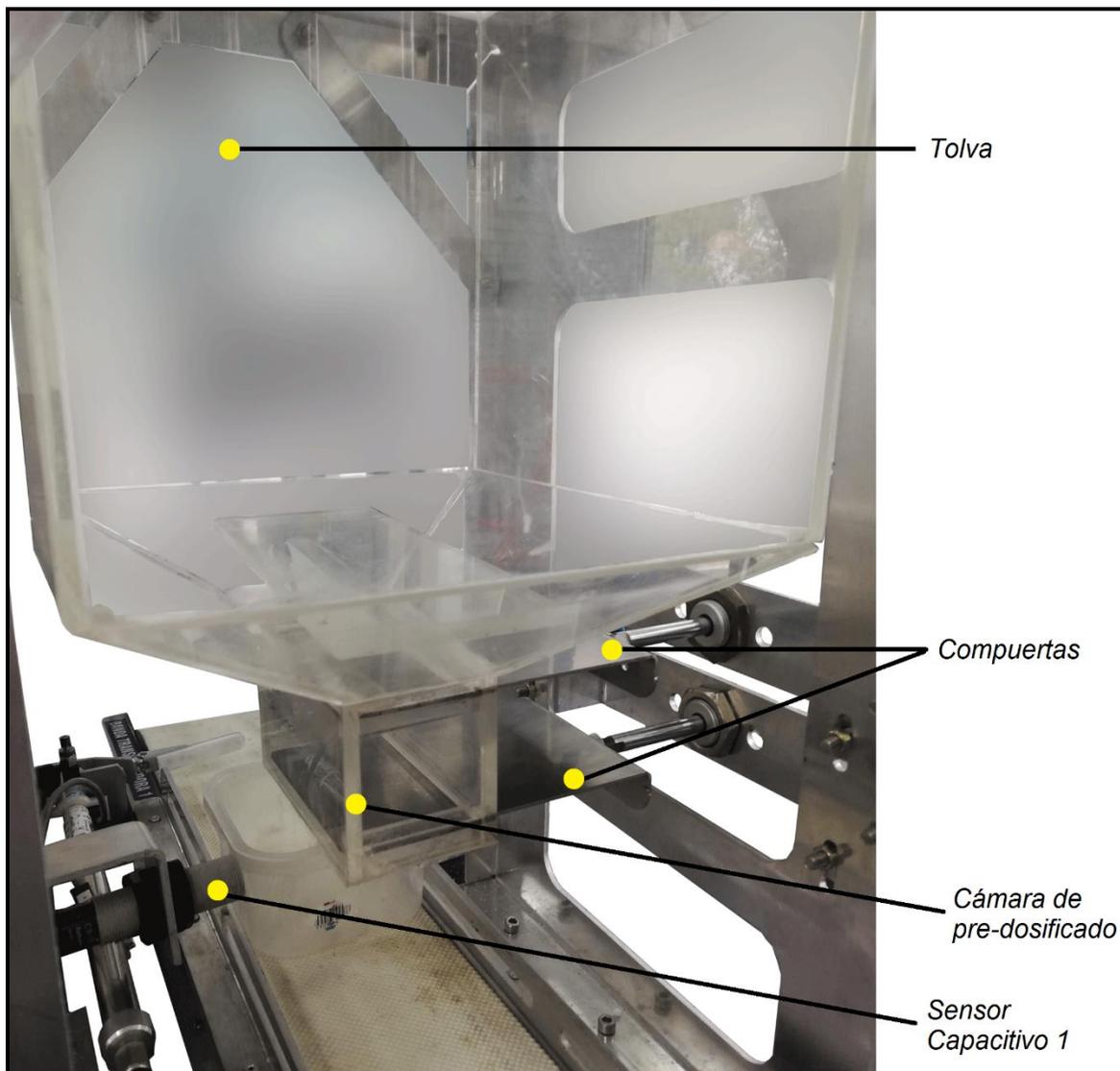
Los elementos principales que componen el módulo son:

- 4 mangueras neumáticas.
- 2 electroválvulas 5/2 biestables.
- 2 cilindros neumáticos de doble efecto.
- 2 compuertas.
- 2 sensores de posición.
- 1 tolva con cámara de pre dosificado.
- 1 sensor capacitivo

Algunos de estos elementos pueden ser observados en las figuras 20 y 21.

**Figura 20.**

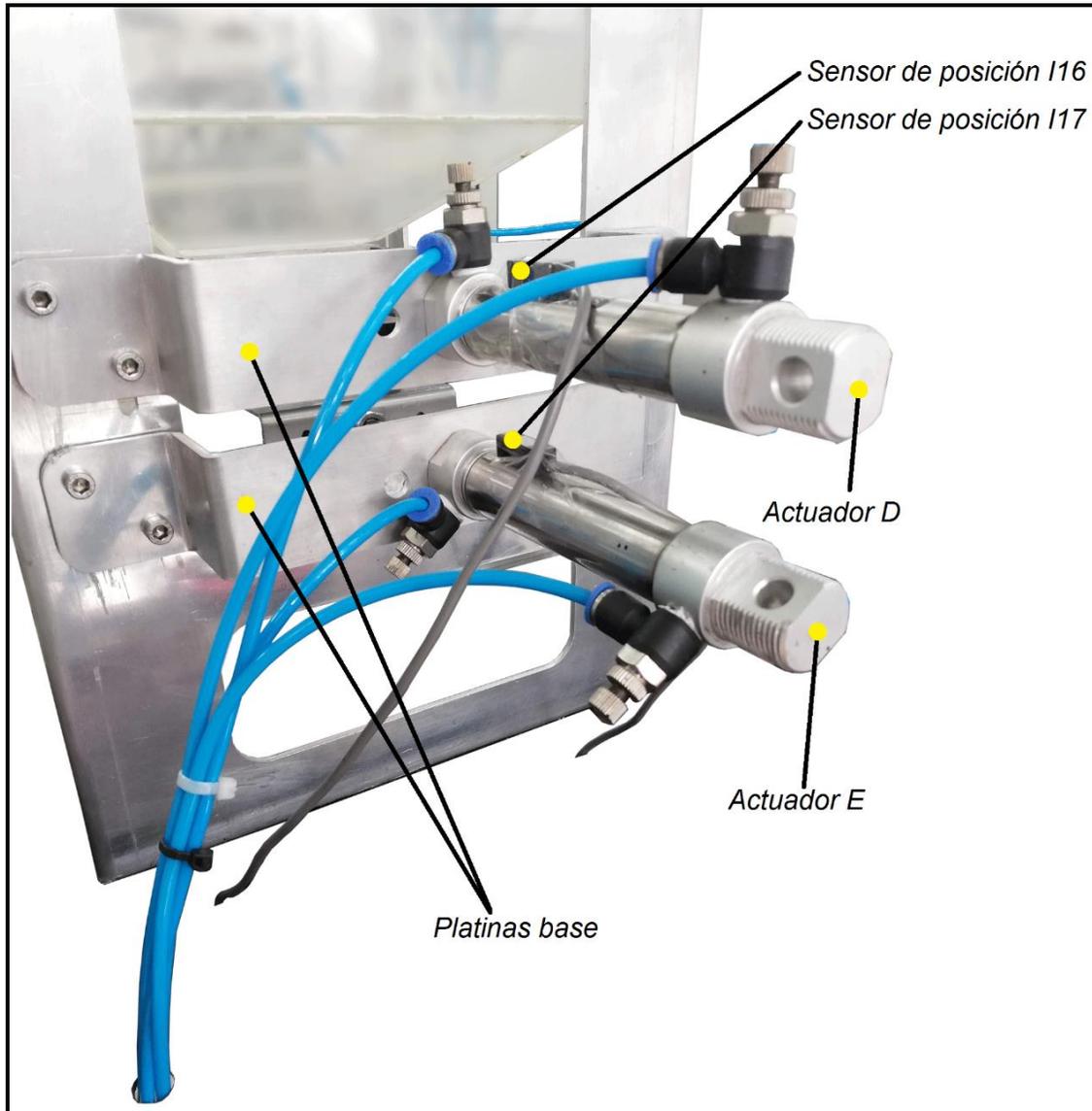
*Módulo dosificador de producto vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo dosificador de producto.

**Figura 21.**

*Módulo dosificador de producto vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo dosificador de producto.

## 4.2.2 Análisis detallado de fallas

**Tabla 6.**

*Análisis detallado de fallas del módulo dosificador de producto.*

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Dosificador de producto	Contener el producto granulado aguardando la llegada del recipiente, que posteriormente será dosificado.	El producto granulado no está cayendo completamente en los recipientes	1. Tolva (Figura 20)	Mal funcionamiento de los actuadores neumáticos	En la tolva por la parte interior, se genera aplastamiento del material granulado, generando suciedad en los rieles de las platinas retenedoras, impidiendo el cierre completo del actuador.
			2. Producto (Figura 27)	Interferencia con el funcionamiento del módulo "banda transportadora 1"	El producto implementado para dosificar los recipientes es bastante pequeño como para insertarse dentro de la banda transportadora, afectando los rodillos motorizados.

**Tabla 6.** Continuación.

			3. Envase (Figura 13)	Desperdicio del material granulado	El recipiente en pocas ocasiones llega con la posición ideal para dosificar, haciendo que el material granulado se riegue encima de la banda transportadora
			4. Sensor Capacitivo 1 (Figura 20)	Mal posicionamiento del recipiente	El sensor no detecta asertivamente el recipiente, aumentado el mal posicionamiento de este.

**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo dosificador de envases.

En pruebas que se realizaron en la celda flexible de manufactura y con base a la tabla anterior, se encontraron 4 modos de falla diferentes, los cuales impiden el correcto funcionamiento del módulo y por lo tanto del proceso completo.

4.2.2.a. Modo de falla #1: el módulo cuenta con una cámara donde se retiene una porción del producto a dosificar, con el fin de controlar el volumen que ingresa al interior de los envases. Esta cámara tiene internamente unas guías para que las compuertas instaladas en los actuadores neumáticos se deslicen sobre ellas y evitar que se giren con respecto al eje de acción de los vástagos. Pero observó que estas guías contenían producto molido, interrumpiendo el cierre total de las compuertas, como se puede observar en la figura 22.

**Figura 22.**

*Rieles de la cámara de predosificado.*



**Nota.** En la figura se observa producto pulverizado en los rieles de la tolva.

4.2.2.b. Modos de falla #2 y #3: se identificaron al momento de dosificar el producto en el envase. Estos dos modos de falla se explican en conjunto por ser unos de los causantes del incorrecto funcionamiento del módulo banda transportadora 1 (figura 8).

El envase al no quedar posicionado en el lugar correcto en la banda transportadora, permite en algunas ocasiones que el producto a dosificar no ingrese totalmente al interior del recipiente, cayendo una gran parte por fuera, en este sentido, al producto ser un material granulado lo suficientemente pequeño para incrustarse dentro de la banda transportadora, genera una mayor resistencia al movimiento de la banda y obliga a que el rodillo motorizado requiera más fuerza, pero el motor eléctrico al no generar más torque la banda queda frenada.

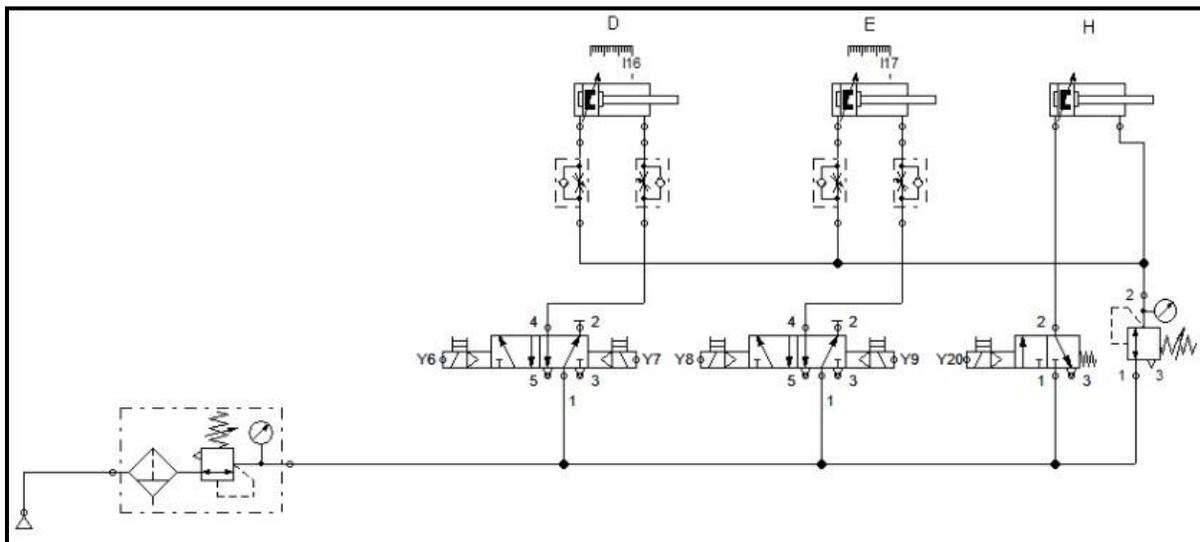
4.2.2.c. Modo de falla #4: este modo de falla es el causante del mal posicionamiento del recipiente, debido a que el sensor mostrado en la figura 20 en distintas ocasiones no

realiza la lectura del envase asertivamente, posicionándolo fuera del rango de alimentación y generando los dos anteriores modos de falla.

A parte, se observaron las conexiones neumáticas, como se ven en la figura 23. Los actuadores D y E a su vía trasera para toma de aire comprimido, presentaban una conexión en paralelo con el actuador H del módulo de tapado, por medio de racores en T y la válvula reguladora de presión con manómetro, conectada a la vía delantera del actuador H

**Figura 23.**

*Plano neumático de las conexiones de los actuadores D, E y H.*

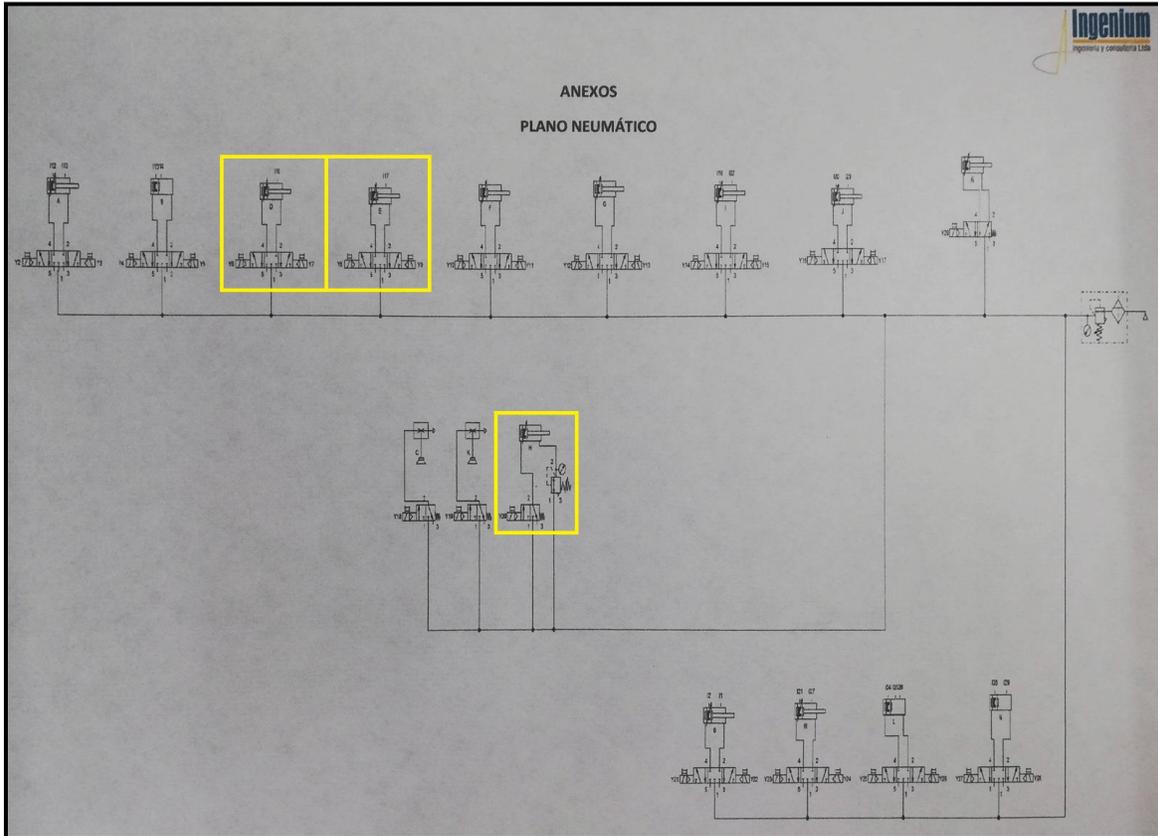


**Nota.** La figura muestra las conexiones reales del módulo dosificador de producto.

La empresa encargada del diseño y la fabricación de la celda, adjunto un manual de mantenimiento donde se puede encontrar el plano neumático de la conexión general que presentaba el proceso (Figura 24). Realizando la respectiva comparación, se detectó que el plano de la empresa no hace referencia a las conexiones presentadas, ya que, las electroválvulas son mostradas como 5/3 en los actuadores D y E, pero las válvulas puestas realmente en el montaje, corresponden a 5/2 como se puede observar en la figura 23. Además, la red neumática y la disposición de las electroválvulas muestran discrepancias en la figura 24, tales como ausencia de tapones en los racores de las

válvulas (ver Figura 25) y la manera en que tienen conectadas las mangueras neumáticas.

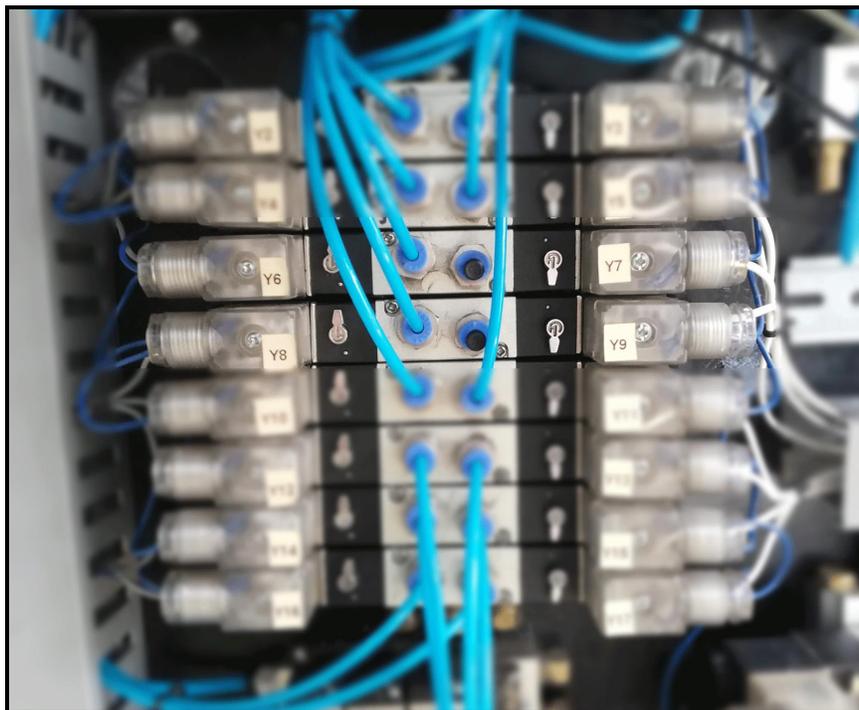
**Figura 24.**  
*Plano de Ingenium.*



**Nota.** En la figura se observa como decía Ingenium que estaban las conexiones neumáticas.

**Figura 25.**

*Tapones en los racores.*



**Nota.** En la figura se pueden observar tapones en las electroválvulas.

### **4.2.3 Intervención realizada para solucionar las fallas**

4.2.3.a. Para la solución al modo de falla #1: inicialmente se desmontó la tolva y se limpió conjuntamente con los rieles buscando menos fricción entre las compuertas y los rieles de la cámara (ver figura 26). Luego de la limpieza, las compuertas logran entrar hasta el final de los rieles.

**Figura 26.**

*Rieles de la cámara de predosificado limpios.*



**Nota.** La figura muestra los rieles de la cámara de predosificado limpios, con las compuertas dentro de ellos

4.2.3.b. Para la solución al modo de falla #2 y #3: desde un principio se tubo claridad en el reemplazo del producto, ya que, el tamaño de grano y el tipo de material que es, generaba demasiados inconvenientes en el proceso de dosificación, así que, se cambia por esferas de vidrio (canicas) con un diámetro de 11,2 milímetros (ver figura 27).

**Figura 27.**

*Producto nuevo.*



**Nota.** En la figura se pueden observar las canicas depositadas en una caneca.

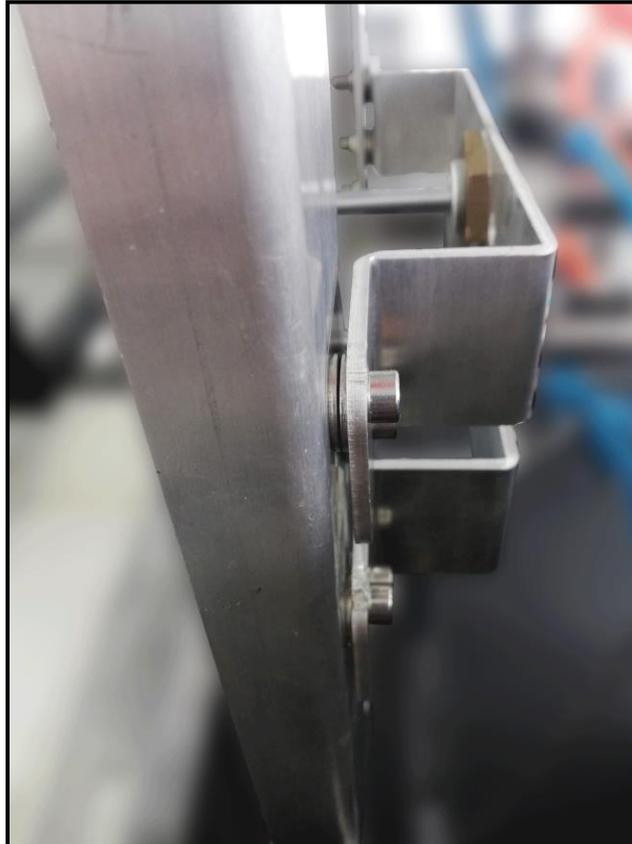
Se realizaron pruebas de efectividad llenando la tolva con las canicas, con el fin de observar cómo se comportaban. En base a la secuencia lógica, en la fase D+ la compuerta del actuador D alcanzaba a sostener unas cuantas canicas y luego de unos segundos, la compuerta impactaba bruscamente con una de las paredes de la cámara de pre dosificado por culpa de la presión acumulada al interior del cilindro y el deslizamiento entre las canicas y la compuerta. Seguidamente se toma la decisión de correr las compuertas para atrás, enroscando hasta el final las tuercas posicionadas en una rosca de longitud de 20 milímetros al final del embolo en ambos cilindros, también se regularon los racores con regulador a la entrada y salida de aire, buscando que los cilindros salgan más despacio.

Pero los inconvenientes con la tolva continuaron debido a su mal diseño, porque después de haber corrido las compuertas, ellas seguían chocando con la pared de la cámara. La

siguiente acción correctiva fue correr los cilindros para atrás, colocando arandelas entre la estructura y las platinas base, así como se muestra en la figura 28.

**Figura 28.**

*Arandelas en las platinas base.*

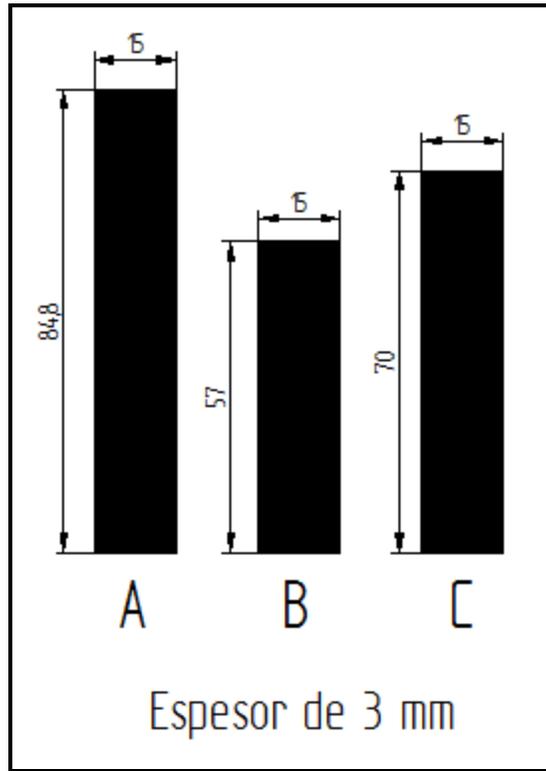


**Nota.** En la imagen se muestran las arandelas instaladas en las platinas base.

En la platina base del actuador D se colocaron dos arandelas, mientras que en la del actuador E solo una. Sin embargo, solucionado el problema de las compuertas impactando con una pared de la cámara, surgió uno nuevo. Las compuertas se salían de los rieles en los desplazamientos negativos de los actuadores y por acción del giro libre alrededor de la línea de acción de los ejes respectivos en los cilindros, las compuertas no ingresaban adecuadamente en los rieles de la cámara, así que, se realizaron unas piezas en acrílico (Figura 29) con el fin de alargar los rieles y evitar la salida de las compuertas.

**Figura 29.**

*Piezas en acrílico.*

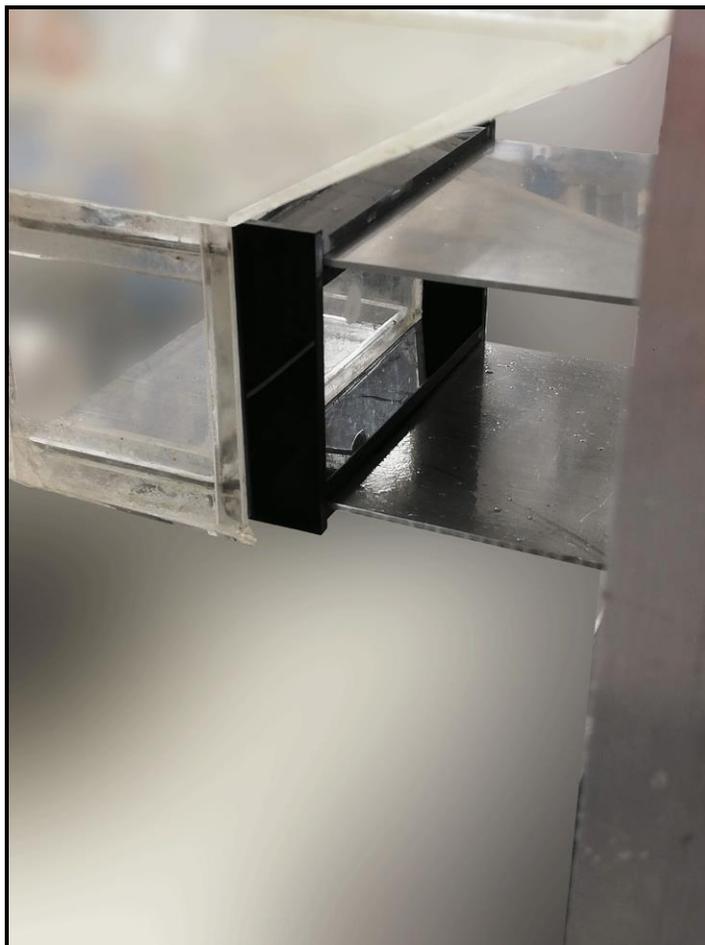


**Nota.** En la figura todas las dimensiones están en milímetros.

De la pieza A se fabricaron un total de 4 unidades, mientras que la B se fabricaron 2 unidades. Con ayuda del cloruro de metileno, se unieron a la tolva como se ve en la figura 30.

**Figura 30.**

*Extensión de rieles.*



**Nota.** En la figura se muestra la extensión de los rieles de la cámara de predosificado.

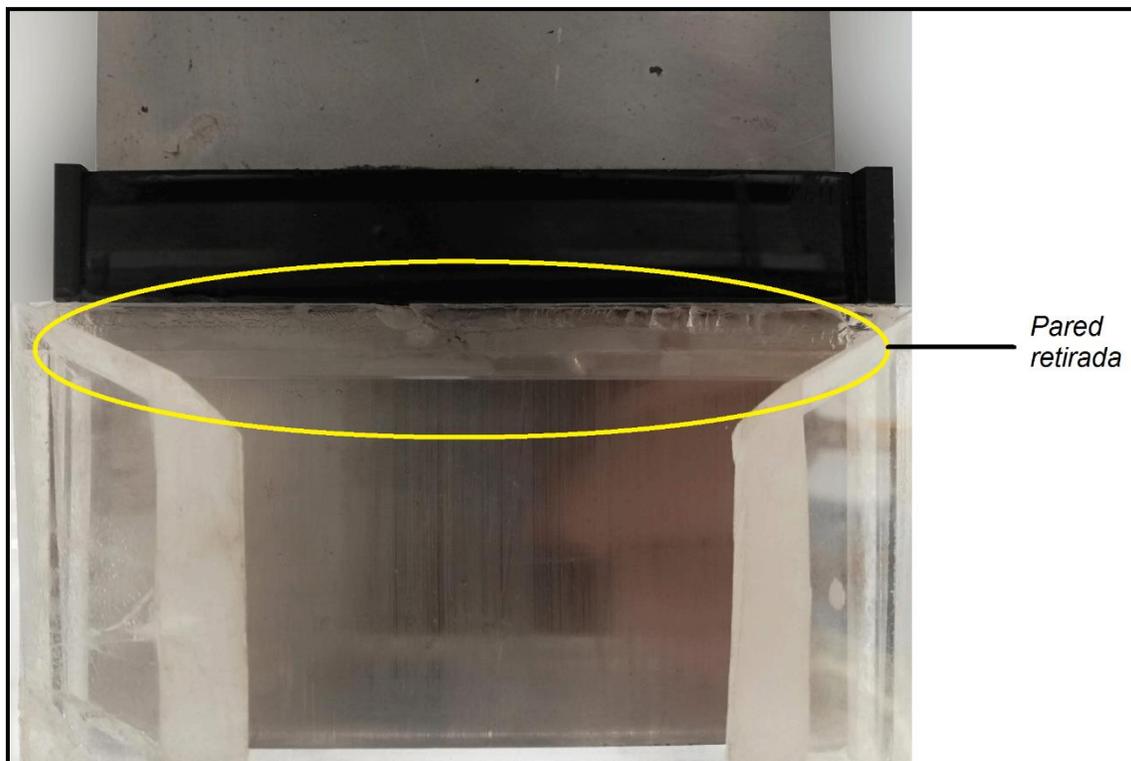
Lo más circunstancial fue que para ayudar a minimizar el impacto de la compuerta, la programación tubo un cambio significativo, ya que, se retiran los sensores de posición I16 e I17 siendo reemplazados por temporizadores contemplados en la programación del PLC (ver figura 8). Este cambio se justifica gracias al choque que se presenta entre la compuerta, las canicas y la pared posterior algunas ocasiones, interrumpiendo el cierre completo de la compuerta y, por lo tanto, la no activación de los sensores I16 e I17, repercutiendo esto, en el incumplimiento de la secuencia lógica de esta sección del proceso. Además, se ajustaron las válvulas reguladoras de los racores puestos en los

cilindros neumáticos, para que estos tengan un desplazamiento positivo con una velocidad menor a la que ya presentaban.

Corregido el golpe de las compuertas contra una de las paredes de la cámara de pre dosificado, se realizan pruebas de efectividad con el módulo y se observa un nuevo problema con el dosificado de las canicas, ya que, no estaban cayendo al recipiente y esto gracias a la reducción en el área de salida que presenta el diseño de la cámara. La acción correctiva frente a este nuevo problema fue retirar una de las paredes inferiores de la cámara (ver figura 31), para que las canicas tuvieran más espacio al momento de caer en el recipiente.

**Figura 31.**

*Pared retirada de la cámara de pre dosificado.*



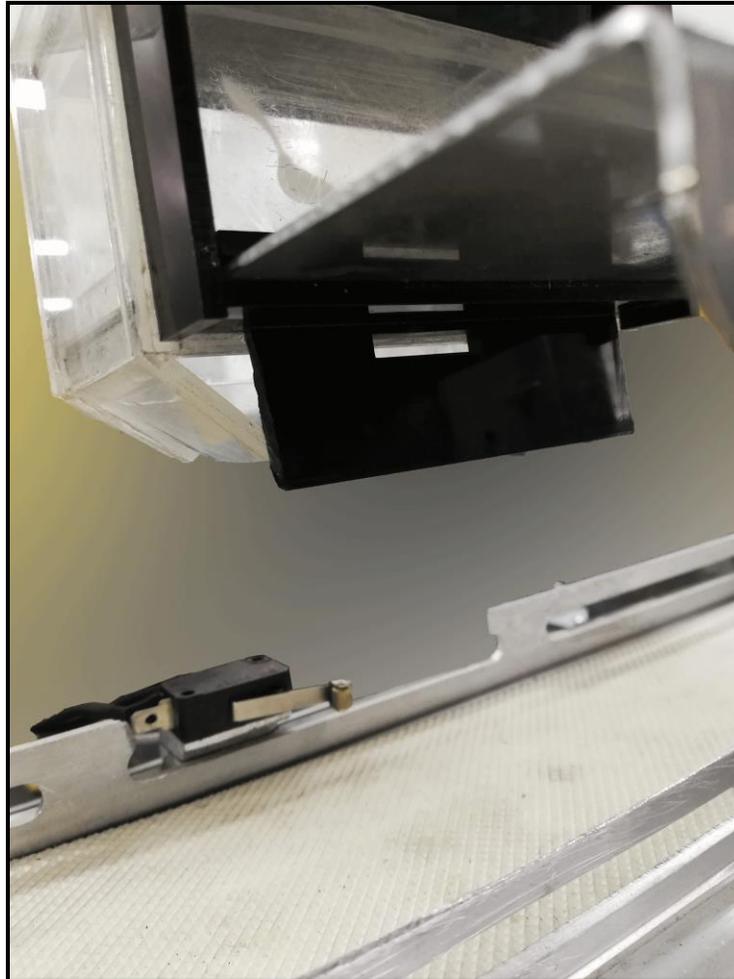
**Nota.** En la figura se muestra la tolva observada desde abajo (vista inferior).

Luego de retirar la pared que interrumpía la caída de las canicas, se evidenció un aumento en las canicas amontonadas a un costado de la banda, así que, se adiciono

una unidad de la pieza C, mostrada en la figura 29, impidiendo el paso de canicas por el agujero de dosificación, pero a su vez, alcanzando una ampliación en el área de salida de la cámara. La pieza C es unida cerca a los rieles constituidos por las piezas A y B, como se muestra en la figura 32.

**Figura 32.**

*Montaje de la pieza C*



**Nota.** En la figura se puede observar la configuración de la pieza C.

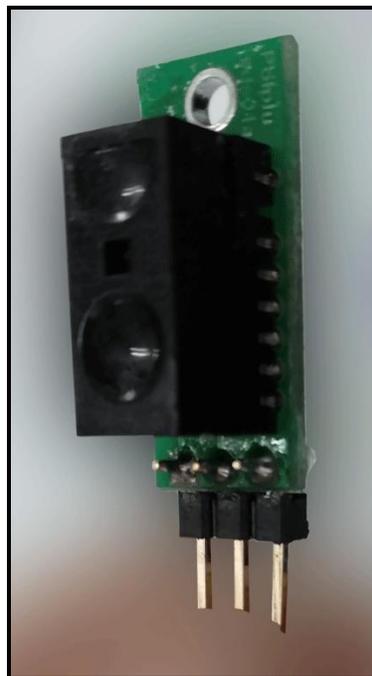
4.2.3.c. Para la solución al modo de falla #4: por último, se trabajó en el posicionamiento adecuado del recipiente, siendo el responsable de esto el sensor capacitivo 1 (ver figura 20).

El sensor capacitivo es el encargado de detectar el recipiente y enviar una señal al PLC para detener la banda transportadora 1 e iniciar el proceso de dosificado, pero el recipiente al ser de un material traslucido, el sensor capacitivo no logra captarlo asertivamente. Sin embargo, después de haber calibrado el sensor y haber realizado algunas pruebas, se concluye que este deberá ser reemplazado gracias al desempeño ineficiente que presento, al detectar en diferentes posiciones al recipiente, aspecto totalmente nocivo para la correcta dosificación de material.

Por lo tanto, la primera opción fue utilizar un sensor de distancia SHARP (ver figura 33), con un rango de medición entre cero y diez centímetros. Se realizó el montaje eléctrico correspondiente con un voltaje de alimentación de 5 voltios, pero ocurría exactamente lo mismo que con el sensor capacitivo, no detectaba el material del recipiente. Por consiguiente, quedo descartado el sensor de distancia y se tomó la decisión de colocar un final de carrera para detectar la posición del recipiente.

**Figura 33.**

*Sensor SHARP.*



**Nota.** En la figura se observa el sensor SHARP.

El final de carrera se instaló a un costado de la banda transportadora 1 y para lograr esto, se realizó un corte en la gualdera de la banda, como se puede observar en la figura 34. El rodillo del final de carrera 1 presento interferencia actuando como un freno, porque el recipiente, al encontrarse vacío, no contaba con el peso necesario para activar el interruptor, así que, con ayuda de la platina cilindro B del módulo dosificador de envases, se empuja el recipiente hasta la posición deseada en la banda, al mismo tiempo que ayuda al envase con la activación del final de carrera, para así, iniciar el proceso de dosificado de material. Para lograr esto, se desplaza el sensor de posición I14 trece centímetros en dirección del módulo 2, acompañado de un corte en la platina cilindro B, dado que esta impactaba con la estructura del módulo 2 (ver figura 35).

**Figura 34.**

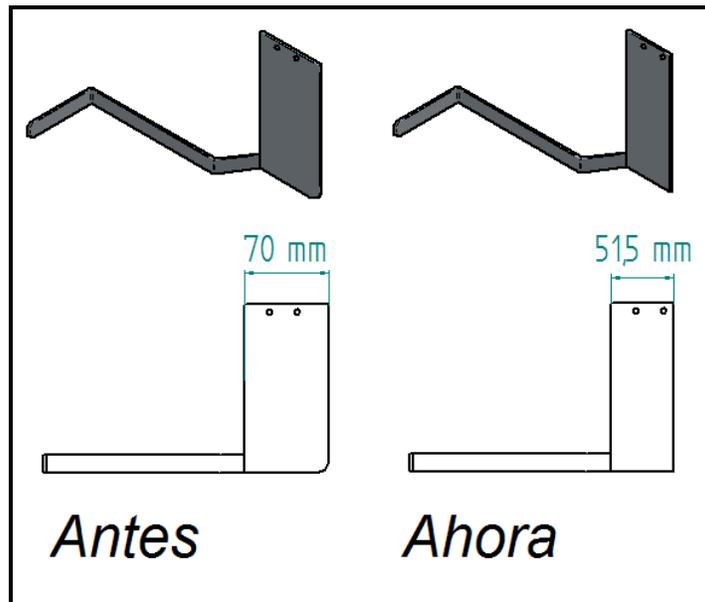
*Final de carrera 1.*



**Nota.** En la figura se observa el corte realizado en la gualdera de la banda transportadora 1 y la posición del final de carrera 1.

**Figura 35.**

*Corte realizado a la platina del actuador B.*

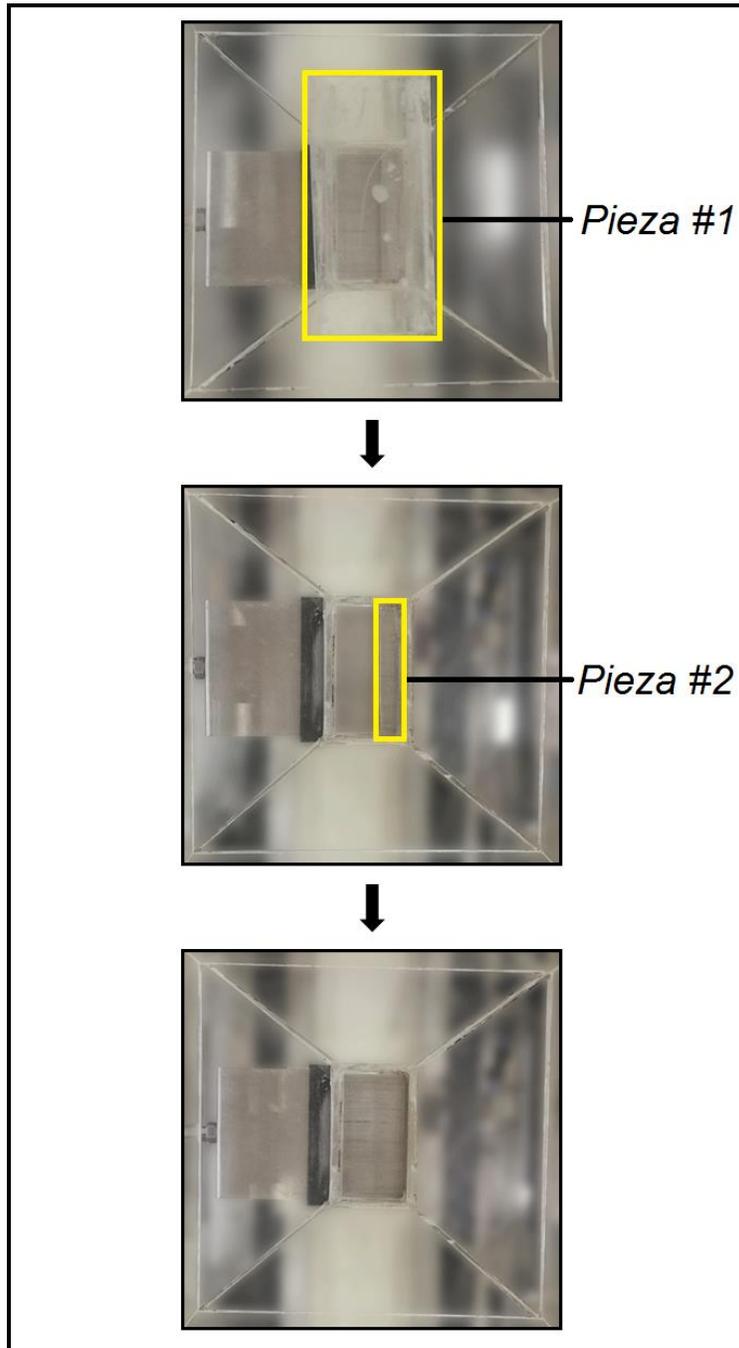


**Nota.** En la figura se muestra la platina puesta en el actuador B, para empujar el recipiente del módulo 1 a la banda transportadora 1.

Para finalizar el proceso de intervención a este módulo, se retiran los tapones en los racores de la electroválvula y los racores neumáticos en T puestos en la red neumática, con el fin de dejar las entradas de aire correspondientes de los actuadores D y E conectados directamente a la electroválvula. Además, se retiran dos piezas que internamente llevaba la tolva, con el fin de garantizar un dosificado más limpio. Las piezas de acrílico observadas en la figura 36, interrumpían el paso de las canicas a la cámara de pre dosificado, afectando el proceso por falta de producto en el envase, por esta razón, se decide retirarlas de la tolva en el orden mostrado en la figura 36.

**Figura 36.**

*Acrílicos quitados de la tolva.*

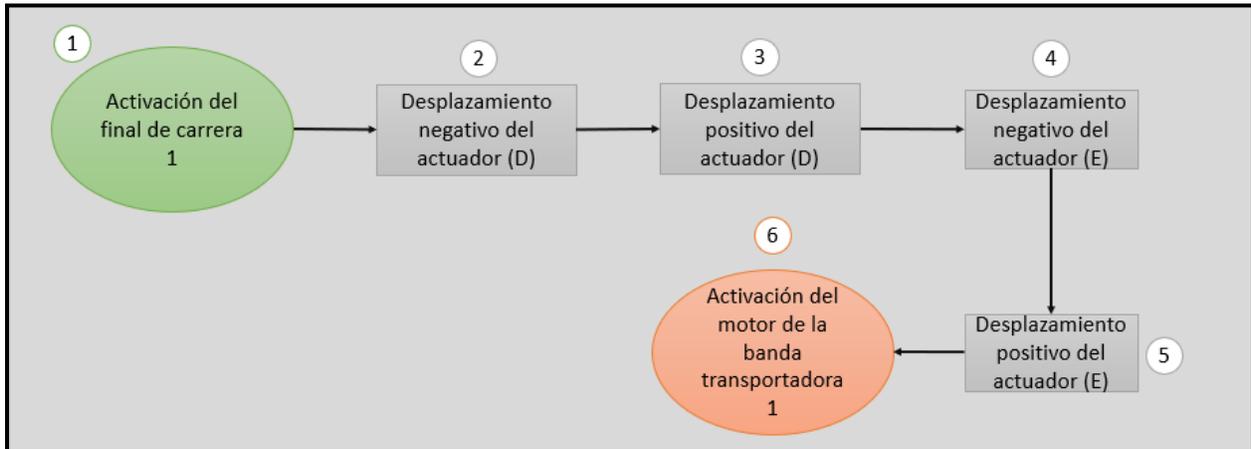


**Nota.** En la figura se muestra la tolva observada desde arriba (vista superior) y también el orden en que se retiraron las piezas #1 y #2 iniciando la lectura de la imagen de arriba hacia abajo.

Al final del proceso de intervención, el diagrama de flujo queda como se puede observar en la figura 37.

**Figura 37.**

*Diagrama de flujo del módulo dosificador de producto.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases nuevas que realiza el módulo para dosificar producto.

### 4.3 Módulo de tapado

Luego de ser dosificado el recipiente con el producto, es dirigido al proceso de tapado.

Todo inicia con la detección del envase por parte del sensor capacitivo 2 (figura 39), que envía una señal al PLC con el fin de detener la banda transportadora 1 (figura 8) e iniciar el proceso de tapado. El actuador F, encargado de soportar el apilamiento de tapas, también las separa de una en una. Luego de separar y sostener la tapa, el actuador H realiza su movimiento H+, a su vez que se activa el actuador K (figura 39), esto permite el agarre de la tapa separada por el actuador F para luego ser levantada con el movimiento H-.

El actuador F realiza F-, dando espacio entre la tapa agarrada por la ventosa y el recipiente a tapar, posteriormente se realiza el desplazamiento positivo conjunto del actuador G y el actuador H, presionando la tapa contra el recipiente posicionado debajo de ella, finalizando el proceso de tapado con el desplazamiento negativo conjunto de los

actuadores G y H. La banda transportadora 1 es encendida, llevando el recipiente a la siguiente estación.

La secuencia electro neumática que gobierna el funcionamiento de este módulo es observada en la siguiente tabla:

**Tabla 7.**

*Secuencia electroneumática del módulo 3.*

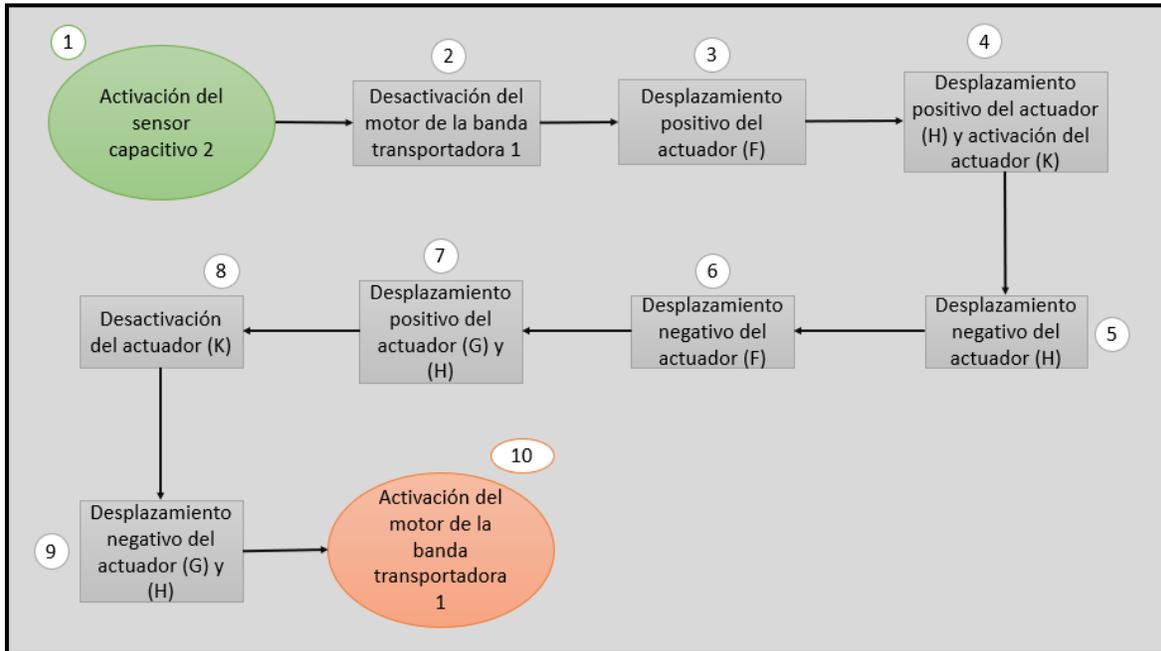
F+	H+	H-	F-	G+	G-
	K+	K+	K+	H+	H-
				K+	

**Nota.** La tabla muestra la secuencia electroneumática que realiza el módulo de tapado.

### 4.3.1 Diagrama de flujo del módulo tapado

**Figura 38.**

*Diagrama de flujo del módulo tapado.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases que realiza el módulo para tapar el recipiente.

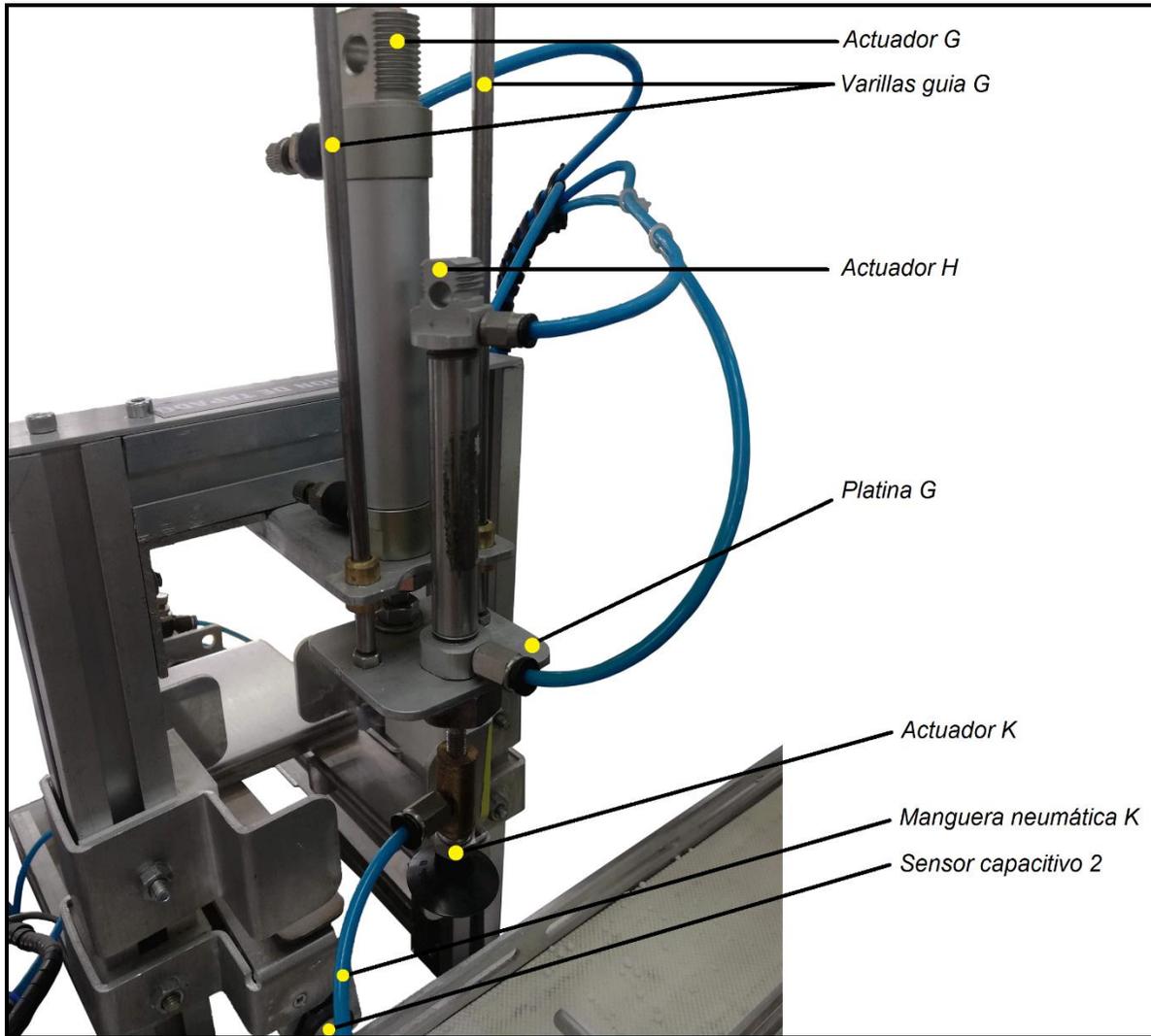
Los elementos principales que componen el módulo son:

- 7 mangueras neumáticas.
- 2 electroválvulas 5/2 biestables.
- 2 electroválvulas 3/2 monoestables.
- 1 válvula reguladora de presión con manómetro.
- 1 tobera de succión de vacío.
- 1 ventosa.
- 3 cilindros neumáticos de doble efecto.
- 2 Barillas guía.
- 1 sensor capacitivo.
- 1 almacén de tapas.

Algunos de estos elementos pueden ser observados en las figuras 39 y 40.

**Figura 39.**

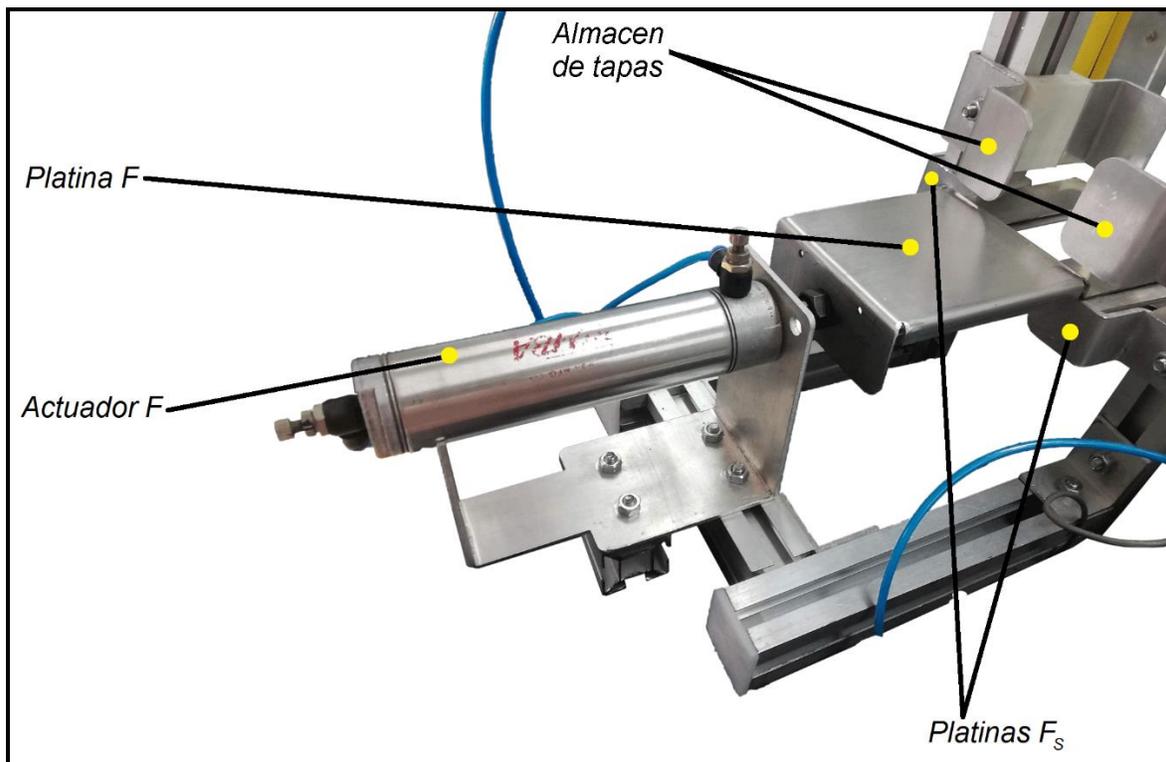
*Módulo de tapado vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de tapado.

**Figura 40.**

*Módulo de tapado vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de tapado.

### 4.3.2 Análisis detallado de fallas

**Tabla 8.**

*Análisis detallado de fallas del módulo de tapado.*

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Tapado	Tapar los recipientes ya dosificados	En todas las ocasiones el recipiente queda destapado	1. Actuador K (figura 39)	Giro solidario con el vástago del cilindro	El cilindro se acciona, permitiendo que la manguera haga girar la ventosa en la punta del vástago, acompañado del giro de la tapa, desacomodando la posición con la que debería encajar con el recipiente, impidiendo un tapado efectivo
			2. Sensor capacitivo 2 (figura 39)	La detección incorrecta del envase	El sensor no detecta asertivamente el recipiente, aumentado la mala alineación que existe entre la tapa y el posicionamiento del recipiente

**Tabla 8.** Continuación.

			3. Almacén de tapas (figura 40)	Juego en el apilamiento de tapas	Dentro del almacén de tapas existe un espacio libre donde las tapas pueden quedar acomodadas de diferentes maneras al azar, aumentando la mala alineación que existe entre la tapa y el posicionamiento del recipiente
			4. Envase (figura 13)	Mal posicionamiento del recipiente	El recipiente llega con la posición incorrecta para ser tapado.

**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo dosificador de envases.

Como se ha ido trabajando, al módulo se le realizan pruebas de funcionamiento inicialmente, para observar las fallas que presenta y deducir la razón de la falla funcional expuesta anteriormente en la tabla 8.

4.3.2.a. Modo de falla #1: se da por no tener en cuenta la manguera neumática que va al actuador K, ya que, los actuadores G y H al realizar G+ H+, G- H-, la manguera neumática es halada o no dependiendo del movimiento, y al sumarle el giro solidario del vástago alrededor de su eje, presenta un giro conjunto con el actuador K. Esto repercute en la colocación de la tapa, porque ella baja girada y no en la posición en que fue sujeta por la ventosa.

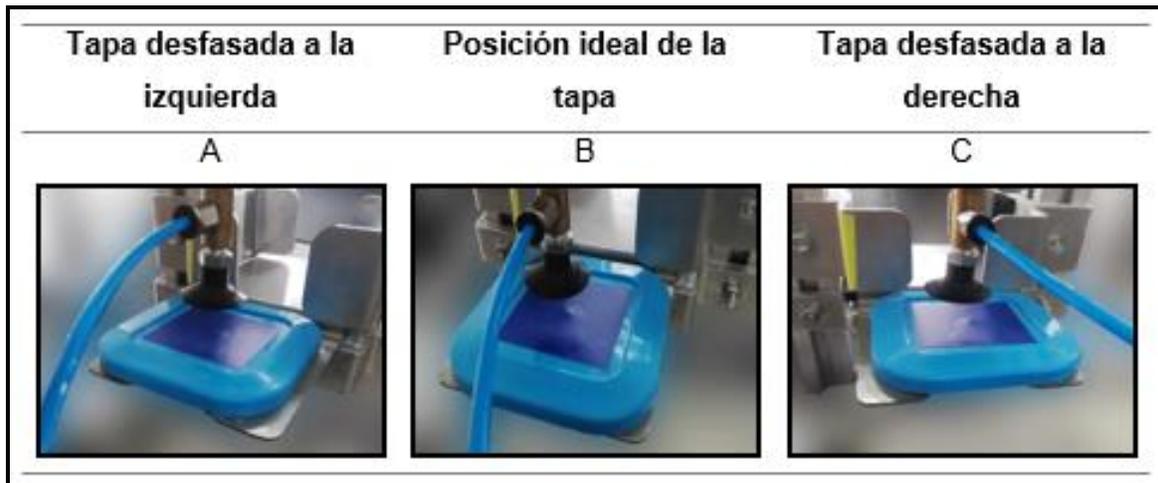
4.3.2.b. Modo de falla #2: en la figura 38 se observa el inicio de la operación con la activación del sensor capacitivo 2 (figura 39), pero al igual que se presentó en el módulo dosificador de producto, este sensor en diferentes ocasiones no detectaba adecuadamente el recipiente, posicionándolo inadecuadamente en la banda o dejando pasar el envase, saltándose el proceso de tapado.

4.3.2.c. Modo de falla #3: el módulo cuenta con un almacén de tapas, donde reposan para ser utilizadas una por una cada vez que un recipiente sea detectado, pero debido al mal diseño del almacén, las tapas tienen un grado de libertad no restringido, que afecta aún más el problema de alinear la tapa con el recipiente y realizar un correcto tapado, pues el actuador F, al realizar su desplazamiento positivo sin la regulación de aire adecuada, la tapa separada no quedaba en la posición mínima requerida para el ajuste con el recipiente (figura 41B).

Toda la estructura del módulo esta desnivelada, repercutiendo en la platina F (figura 40), porque al estar ligeramente desbalanceada, genera un rozamiento con una de sus dos protuberancias (ver figura 47) y las platinas  $F_s$  en el momento que el actuador F realiza su desplazamiento positivo o negativo. Esto desacomoda las tapas reposadas en el almacén, ocasionando las diferentes posiciones mostradas en la figura 41.

**Figura 41.**

*Posición mínima requerida de la tapa.*



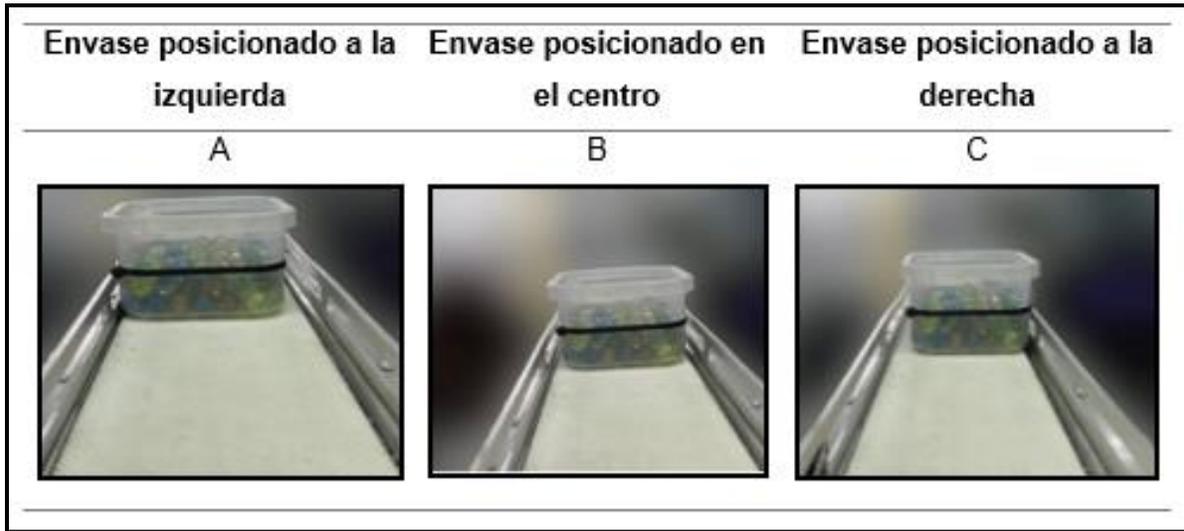
**Nota.** En la figura se muestran algunas posiciones que presentaba la tapa a utilizar.

4.3.2.d. Modo de falla #4: se observó el mal posicionamiento con que llegaba el recipiente, aumentando la desalineación ya existente entre la tapa y el envase, por parte del sensor capacitivo 2. A medida que llega el recipiente ya dosificado, este presenta diferentes posiciones a lo ancho de la banda transportadora 1, dada la falta de un elemento asertivo que procure alinear correctamente el recipiente con la tapa.

La figura 42 muestra algunos casos de la posición de llegada del envase.

**Figura 42.**

*Diferentes posiciones del envase en la banda.*



**Nota.** En la figura se muestran algunas posiciones que presentaba el recipiente dosificado.

### **4.3.3 Intervención realizada para solucionar las fallas**

4.3.3.a. Para la solución al modo de falla #1: se realiza una platina que direccionara el desplazamiento tanto positivo como negativo del actuador H, evitando el giro solidario del actuador K con el vástago del cilindro H causado por la manguera neumática K.

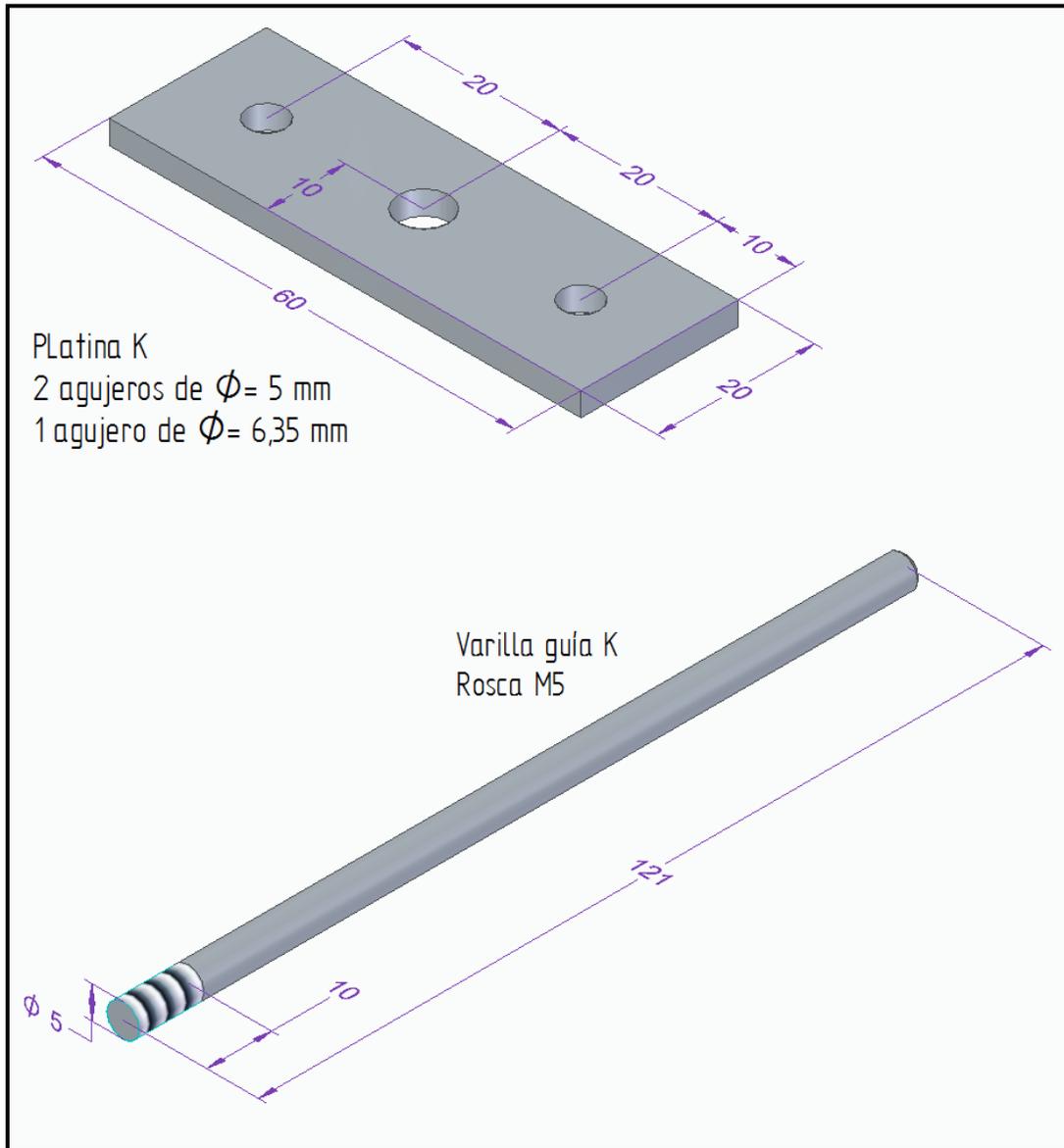
Esta platina fue fabricada en acero hot roll A 36 con un espesor de 1/8 in (recuperada de retales sacados del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América) y sus dimensiones fueron tomadas en base a las dimensiones de la platina G, ya que, se realizarían modificaciones posteriores de esta, para el ensamble de la nueva. Se utilizaría el mismo concepto que utilizo Ingenium [19] para direccionar el desplazamiento del actuador G, utilizando dos varillas guía con la finalidad de evitar el giro solidario del vástago con el actuador H.

La platina nueva será llamada en este documento como platina K, y sus dimensiones pueden ser observadas en la figura 43, además se muestran las dimensiones de las varillas guía nuevas, las cuales serán nombradas como: varillas guía K, fabricadas en

acero cool roll 10 - 20 (recuperadas de retales sacados del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América).

**Figura 43.**

*Platina K y varillas guía K.*



**Nota.** Las dimensiones de las piezas mostradas en la figura están en milímetros

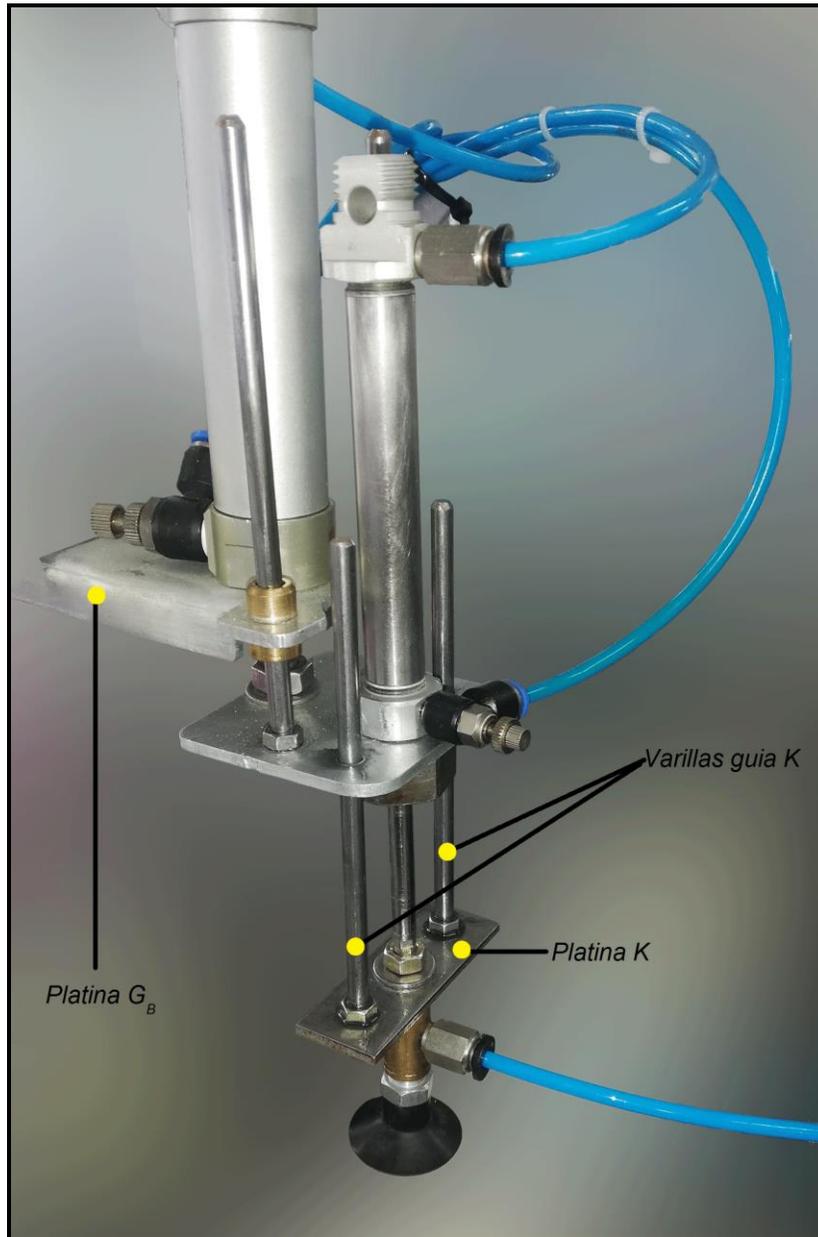
De la platina K se fabricaron dos unidades y de la varilla guía K se fabricaron 4, con el fin de realizar este procedimiento en el actuador C del módulo dosificador de envases (figura 11), porque este actuador presentaba el mismo inconveniente, pero al

solucionarse con una intervención diferente, las varillas guía K sobrantes se utilizaron para reemplazar las varillas guía G, esto debido a que, los agujeros de la platina G con los de la platina G<sub>B</sub> no estaban alineados, mostrando una separación entre los ejes de las varillas y por el desplazamiento negativo del actuador G, las varillas guía se han doblado ligeramente.

En la figura 44 se observa el ensamble completo de estas piezas nuevas.

**Figura 44.**

*Ensamble de piezas en K.*



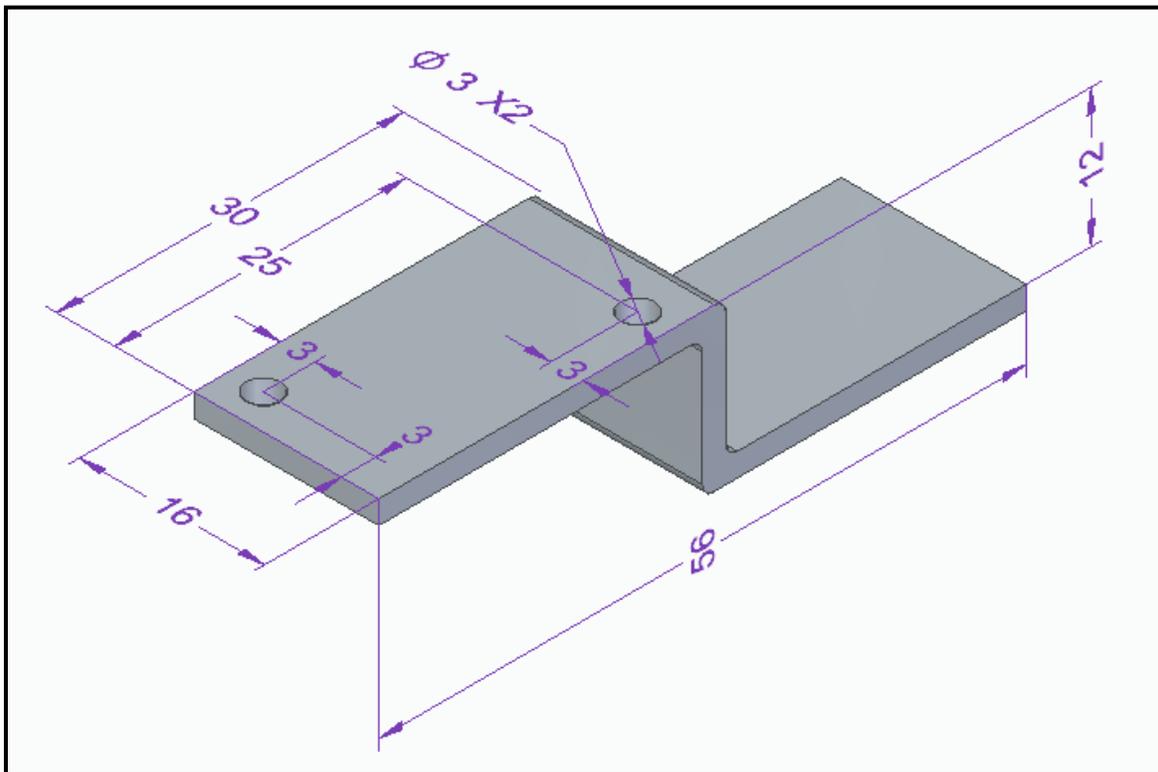
**Nota.** En la figura se muestra la configuración de las piezas realizadas para evitar el giro solidario entre el actuador H y el actuador K

4.3.3.b. Para la solución al modo de falla #2: se decide retirar el sensor capacitivo 2 y reemplazarlo con un final de carrera (este será nombrado “final de carrera 2” figura 46), en vista de que el sensor no tiene la capacidad para detectar el material del envase, en la posición exacta para ejecutar el proceso de tapado. Al realizar pruebas con la celda

de manufactura y el módulo de tapado, se marcó la posición adecuada en la que el rodillo del final de carrera 2 tendría que ir, con el fin de reconocer el recipiente en la posición deseada. Posteriormente a esto se elaboró una pieza para sostener el final de carrera 2 (ver figura 45), tomando el espacio disponible en la gualdera de la banda. Esta platina es fabricada en acero hot roll A 36 con un espesor de 1/8 in (recuperada de retales sacados del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América), acompañada con procesos de corte, perforación y dobles.

**Figura 45.**

*Platina final de carrera.*



**Nota.** Las dimensiones de la pieza mostrada en la figura están en milímetros

La platina fue atornillada al final de carrera 2, por medio de dos tornillos con una rosca M3 y de longitud igual a 20 milímetros.

El proceso de intervención continua con la fijación de la platina a una de las gualderas de la banda transportadora 1, con el apoyo de dos tornillos auto perforantes.

Sin embargo, después de haber realizado una serie de pruebas, con el fin de valorar el funcionamiento del final de carrera 2, se evidencio un desgaste en el brazo que sujeta el rodillo, presentándose así un leve juego en el final de carrera, afectando su activación. Entonces se decide mejorar esta última con un leve rebaje arriba y abajo, en una de las gualderas de la banda transportadora 1, así como se puede observar en la figura 46.

**Figura 46.**

*Final de carrera 2 ensamblado.*



**Nota.** La figura muestra el rebaje de las gualderas acompañado del montaje del final de carrera 2

4.3.3.c. Para la solución al modo de falla #3: se procede a desmontar el módulo completo, detectando la ausencia de tres tornillos y, la suciedad en varios componentes importantes, tales como vástagos de los actuadores F, G y H. Luego de limpiar todos los

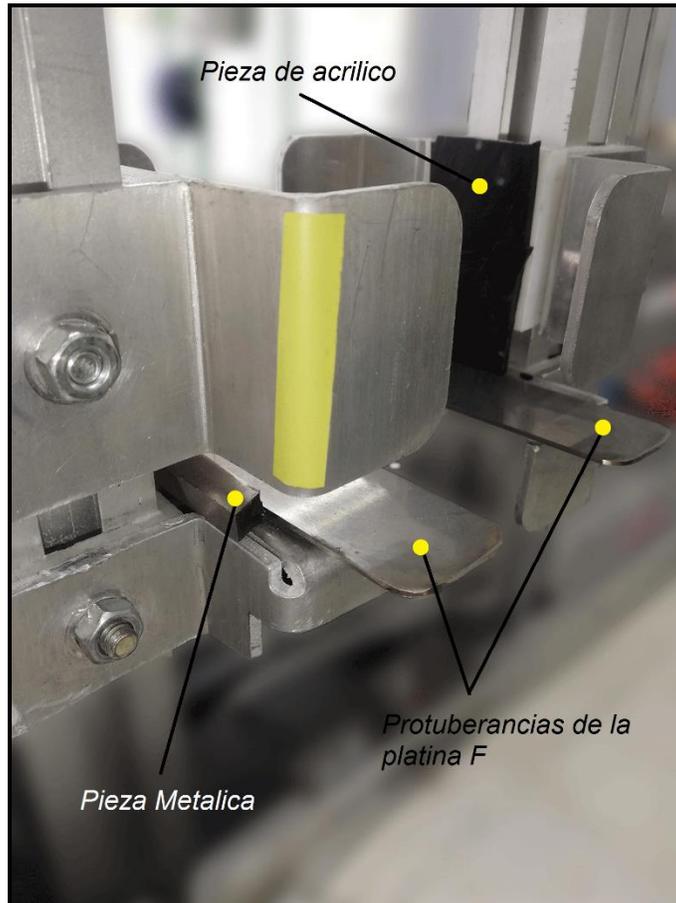
componentes y piezas, se ensamblan con ayuda de un nivel asegurando un correcto balanceo del módulo.

El almacén de tapas es conformado por un total de cuatro piezas (ver figura 40), dos platinas en aluminio y dos paralelepípedos con agujeros pasantes de color blanco, de tal forma que, la estructura del módulo pase por ellos, siendo el método de fijación del almacén con la estructura. Estos paralelepípedos exhibieron un defecto en el diseño, ya que, uno es ligeramente más grande que el otro, reduciendo las posibles acciones correctivas.

Para la solución al problema se elaboran dos paralelepípedos con material sobrante de acrílico y metal, el primero queda con unas dimensiones de 34 mm x 3 mm x 65 mm, mientras que el segundo de 9 mm x 9 mm x 62 mm, estos son integrados al módulo, uno por la cara que da al interior del almacén del paralelepípedo blanco, mientras que el segundo es colocado en el espacio formado entre la platina  $F_s$  y la platina en aluminio que conforma el almacén de tapas (ver figura 47). El modo de falla es corregido al realizar pruebas de efectividad con las tapas al interior del almacén, observando que las tapas son agarradas por el actuador K cuando todas salen con la posición deseada, para ser colocadas en los recipientes.

**Figura 47.**

*Piezas realizadas con material sobrante.*



**Nota.** En la figura se pueden observar los paralelepípedos que fueron adheridos al almacén

4.3.3.d. Para la solución al modo de falla #4: se implementó un nuevo actuador, ya que, era imposible completar el proceso de tapado gracias al agresivo desplazamiento positivo que realizan los actuadores G y H conjuntamente para presionar la tapa contra el recipiente. Se requiere una posición tan precisa, que corrigiendo los demás modos de falla no bastaba, dado que la inercia experimentada por el motor eléctrico de la banda transportadora 1 (figura 8) hacía que el recipiente se moviera del punto calibrado con el final de carrera, un par de milímetros.

El plantear la instalación de un actuador que ayudará a posicionar efectivamente el recipiente conllevaba, la adaptación de la red neumática, la electroválvula, la red

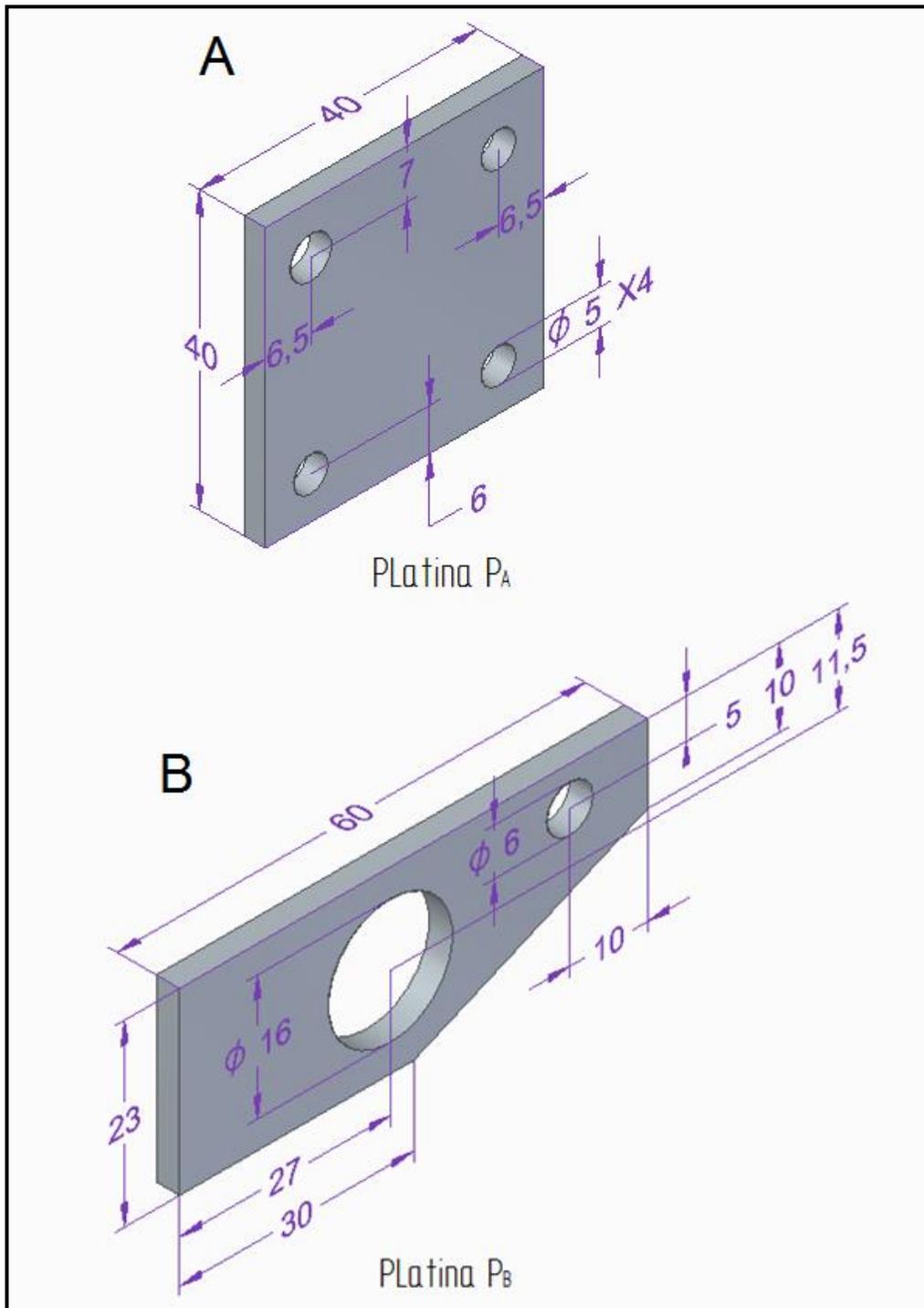
eléctrica, el cilindro neumático, los racores neumáticos y las platinas, conjuntamente a esto se observó que en el banco de electroválvulas, no quedaba espacio para montar una más, entonces con base a lo anterior, el nuevo actuador quedaría conectado en paralelo a la electroválvula del actuador F, aprovechando el recorrido que este hace cuando separa una de las tapas, para que el actuador nuevo aprisione el recipiente mientras que lo acomoda.

Entonces la intervención para la corrección del cuarto modo de falla inicia con un final de carrera adherido a la gualdera de la banda transportadora 1 (ver figura 51), presionando y obligando a que el recipiente se posicione como se muestra en la figura 42A. Esta acción permite controlar la posición del envase a lo ancho de la banda, utilizando el final de carrera para acomodar el envase gracias al mecanismo de palanca que posee.

Posteriormente se continúa la medición de espacios disponibles para el nuevo actuador (actuador P) y se diseñan geométricamente las platinas, para que encajen adecuadamente en los espacios disponibles. Se fabricaron estas platinas en acero hot roll A 36 con un espesor de 1/8 in (recuperada de retales del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América), acompañadas con procesos de cortar, doblar y perforar, quedando las platinas como se puede apreciar en las figuras 46, 47 y 48.

**Figura 48.**

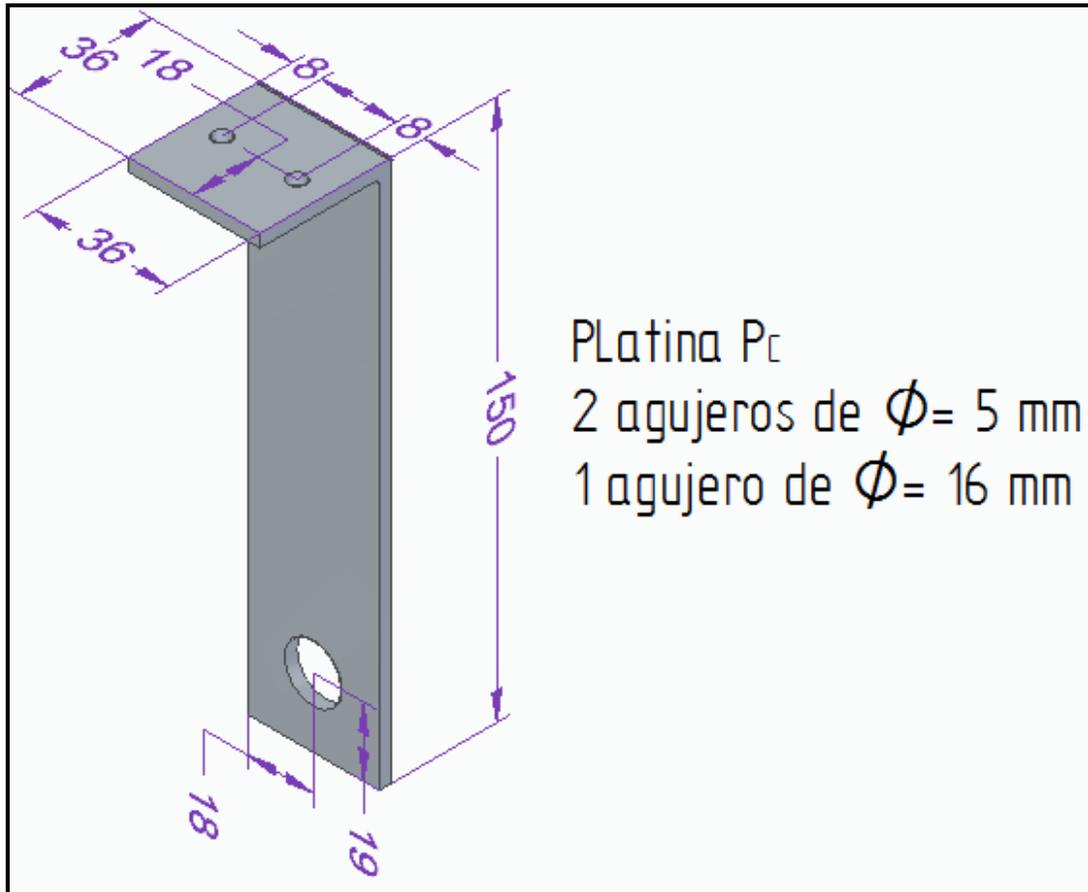
Platinas P\_1.



**Nota.** En la figura anterior se muestran las dimensiones de las platinas P<sub>A</sub> y P<sub>B</sub> en milímetros

**Figura 49.**

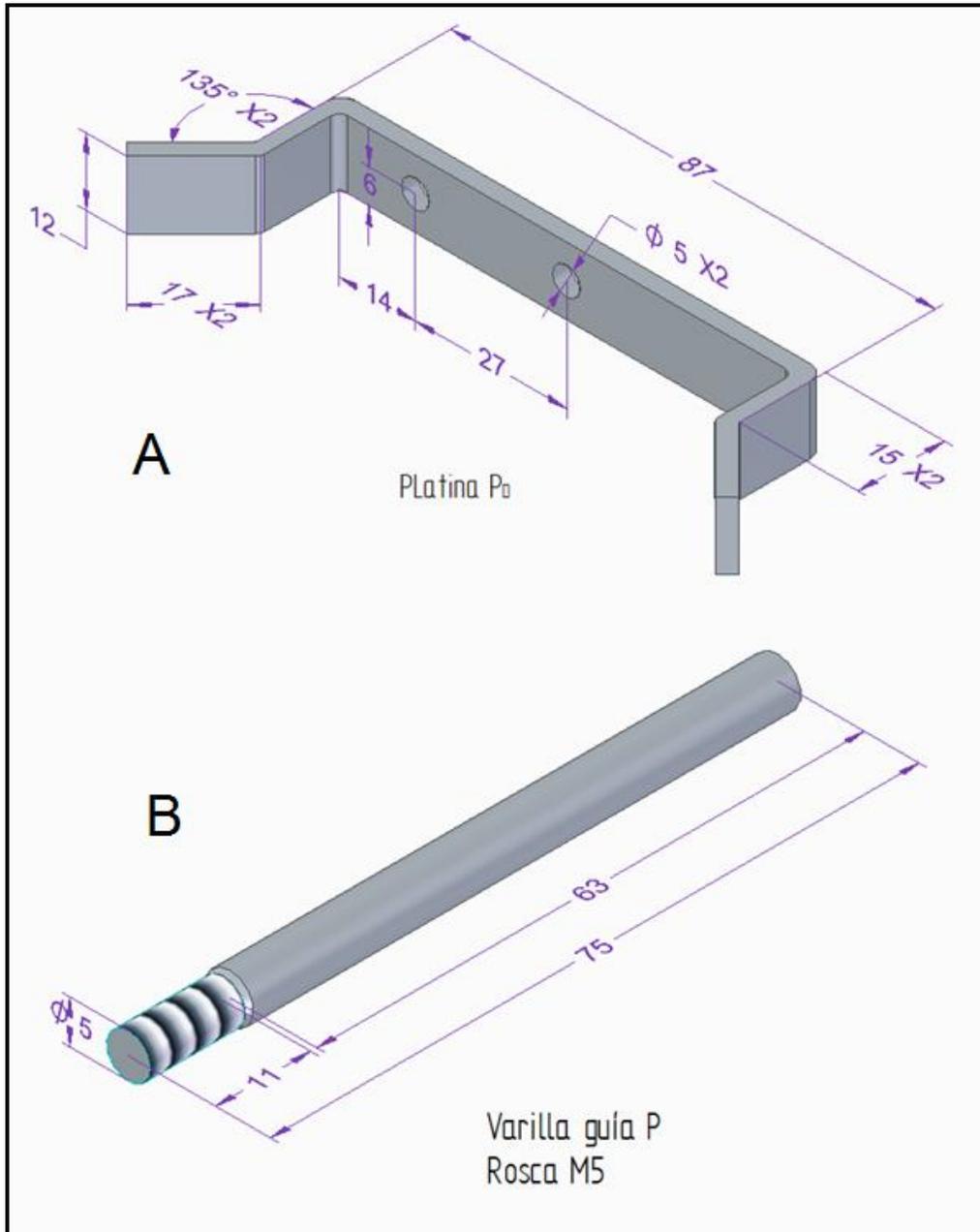
Platinas P\_2.



**Nota.** En la figura anterior se muestran las dimensiones de la platina P<sub>c</sub> en milímetros

**Figura 50.**

Platinas P\_3.



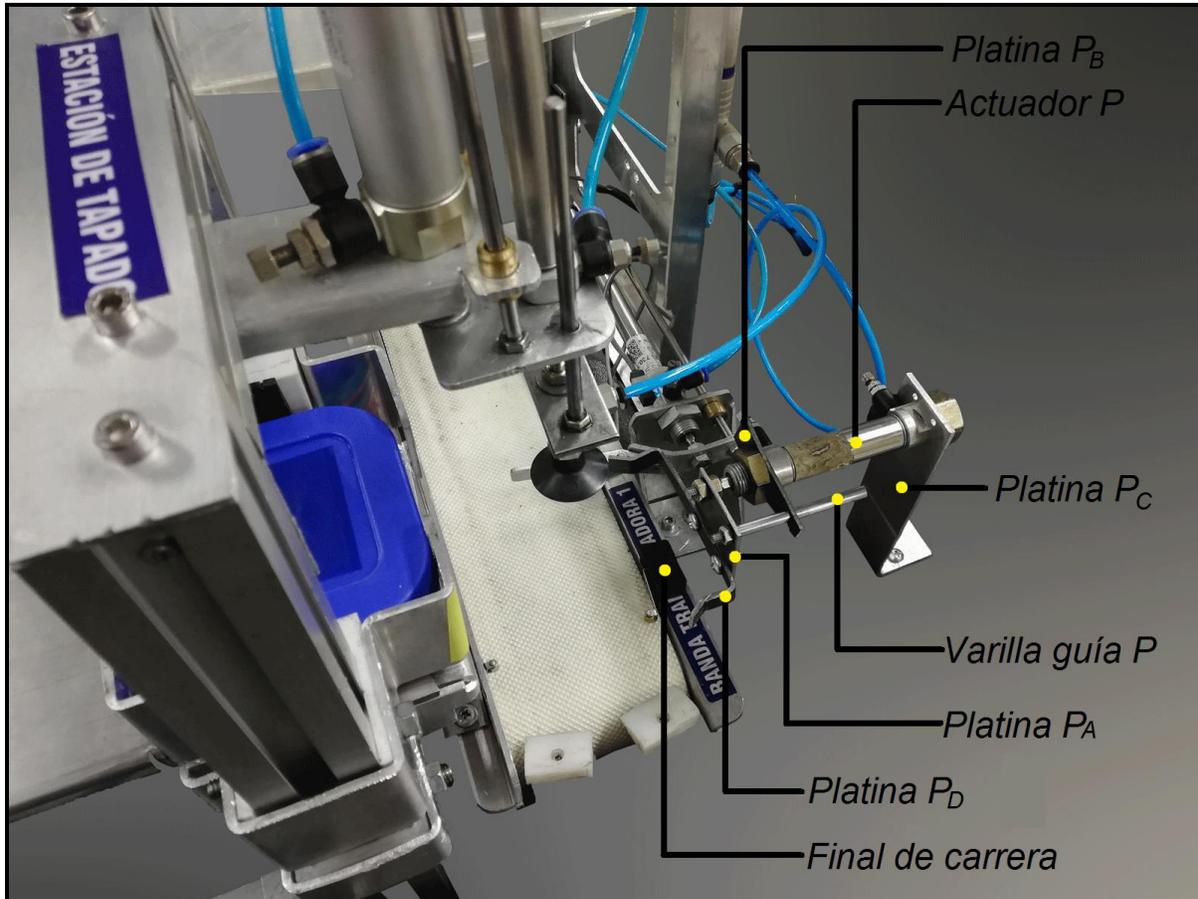
**Nota.** En la figura anterior se muestran las dimensiones de la platina P<sub>0</sub> y la varilla guía P en milímetros

Con las piezas fabricadas se procede con el montaje del actuador P, inicialmente se unen las platinas P<sub>A</sub> y P<sub>D</sub> con ayuda de dos tornillos auto perforantes, luego la platina P<sub>C</sub> es instalada con dos tornillos auto perforantes a la estructura base (figura 7), la platina P<sub>A</sub>

se sujeta en un extremo del vástago del actuador P, al mismo tiempo que la platina P<sub>B</sub>. Por último, se posiciona la varilla guía P, alineando los respectivos agujeros de la platina P<sub>A</sub> con la platina P<sub>B</sub>, siendo ajustada con una tuerca a un extremo, el ensamble completo es mostrado en la figura 51.

**Figura 51.**

*Montaje del Actuador P y final de carrera.*



**Nota.** En la figura se puede observar el montaje realizado para el actuador P y el final de carrera.

El actuador P es sometido a pruebas de funcionamiento, permitiendo detectar el choque de la tapa y las platinas F<sub>S</sub> cuando los actuadores G y H realizan su desplazamiento positivo conjunto. La acción correctiva frente a este problema, se resume en el desmonte por segunda vez del módulo completo, con el fin de correrlo para atrás e impedir el choque, por otra parte, el racor que va a la toma de aire comprimido trasera del actuador F, es sustituido por uno nuevo, puesto que, este presentaba fuga de aire.

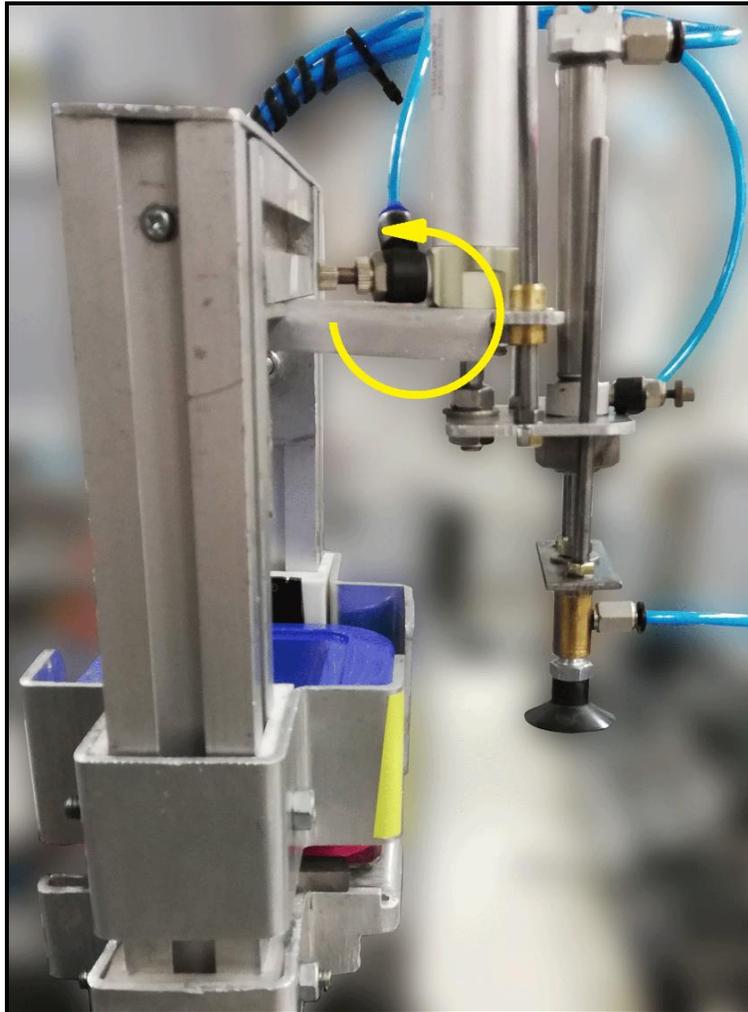
Con las acciones correctivas tomadas, nuevamente se realizan pruebas de funcionamiento, para observar el comportamiento del módulo, obteniendo resultados más eficientes. En este punto, las tapas eran colocadas en algunas ocasiones, generando incertidumbre de saber cuándo la tapa será colocada o no, pero luego de diferentes pruebas, fue detectado el error que generaba la duda con los recipientes tapados y no tapados.

La responsabilidad de la incertidumbre, es gracias a la platina  $G_B$  y la velocidad con que sale el actuador G, pues el diseño de la platina  $G_B$  contemplaba un pequeño doblez, haciendo que los actuadores G y H no realizaran un desplazamiento positivo vertical aceptable. La velocidad de salida del actuador G fue calibrada con la válvula de estrangulación presente en el racor, permitiendo aumentar el ingreso del aire al cilindro y por lo tanto su velocidad, por otro lado, la platina  $G_B$  fue ligeramente doblada como se muestra en la figura 52.

Para finalizar el proceso de intervención, las piezas como lo son: varillas guía K, varillas guía G, varilla guía P, platina A, platina K, y platina G son lubricadas y así brindar una movilidad más fluida de las piezas, corrigiendo por completo la falla funcional expuesta en la tabla 8.

**Figura 52.**

*Dobles de GB.*

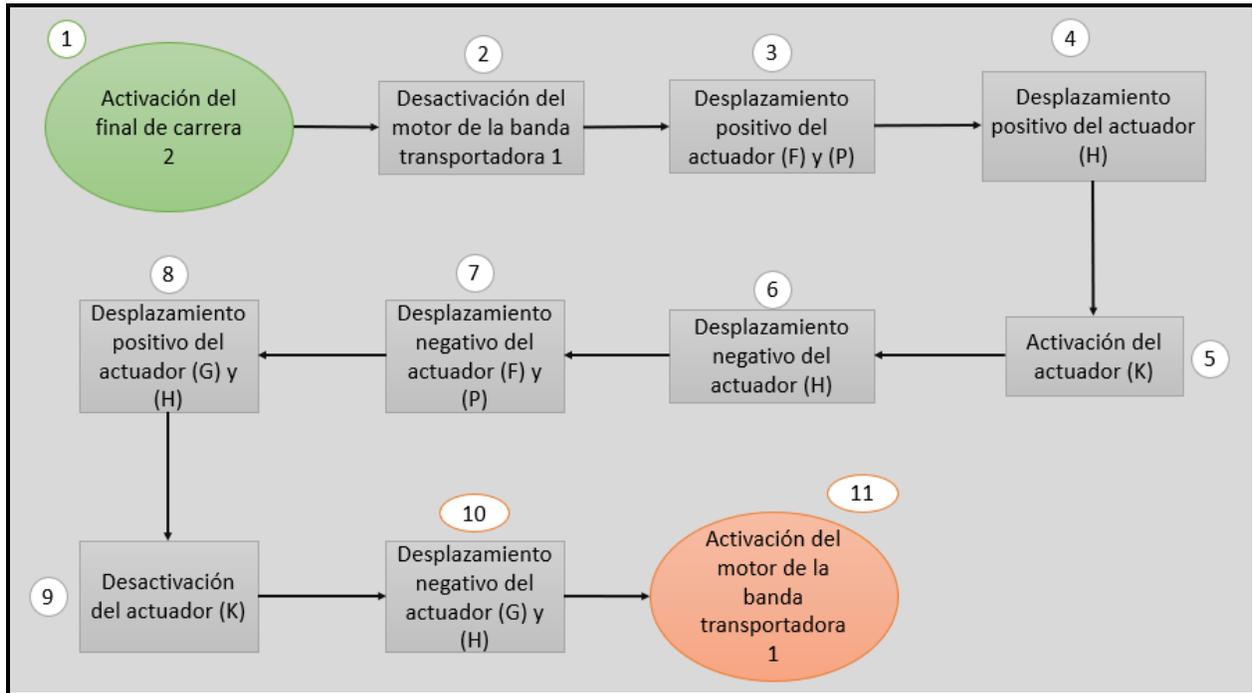


**Nota.** En la figura se muestra en qué sentido se dobló la platina G<sub>B</sub>.

Al final del proceso de intervención, el diagrama de flujo queda como se puede observar en la figura 53.

**Figura 53.**

*Diagrama de flujo actual del módulo tapado.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases nuevas que realiza el módulo para tapar el recipiente.

#### 4.4 Módulo de control de calidad

Cuando el recipiente ya es tapado, continua el proceso de clasificación de este. Pero antes de ser clasificado, al recipiente se le estudian dos características con las que ya cuenta en esta fase del proceso, la primera de ellas será el color de la tapa que fue colocada en el módulo anterior y la segunda corresponde al peso del recipiente.

Gracias al resultado arrojado por este módulo, los demás entraran en juego. Si el color de la tapa es diferente de rojo o azul, este será rechazado por color, si el peso no corresponde al adecuado, este será rechazado por peso, pero si las condiciones del producto final son óptimas, este será clasificado posteriormente en un almacén.

Para que se pueda dar lo expuesto anteriormente, el módulo consta de dos actuadores neumáticos (actuador I e actuador J) que pueden ser observados en la figura 55 y 56 respectivamente. El actuador J empuja el recipiente posicionándolo en la celda de carga

(figura 55) cuando ejecuta J+, luego este retorna a su posición inicial mientras un sensor de color (parallax ColorPal mostrado en la figura 58) realiza la lectura del color de la tapa, enviando un valor hexadecimal a la tarjeta Arduino UNO (figura 58), con el fin de transfórmalo en un valor RGB y determinar el color de la tapa.

La secuencia electro neumática que gobierna el funcionamiento de este módulo es observada en la siguiente tabla:

**Tabla 9.**

*Secuencia electroneumática del módulo 3.*

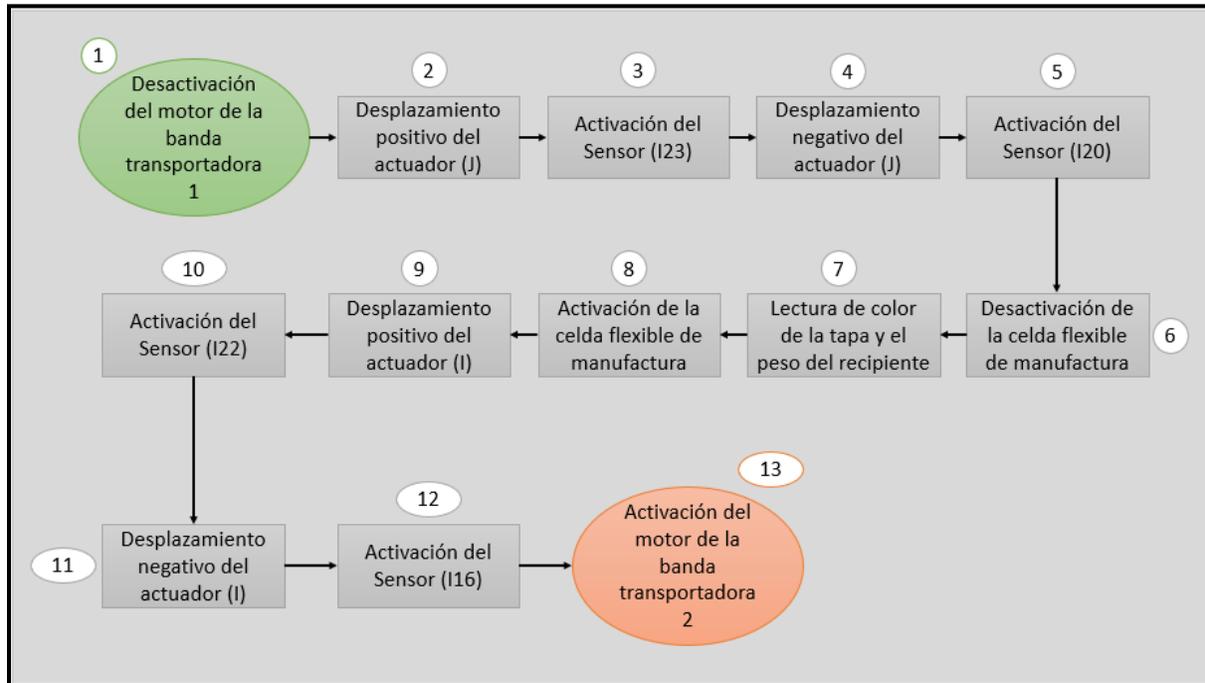
J+	J-	I+	I-
----	----	----	----

**Nota.** La tabla muestra la secuencia electroneumática que realiza el módulo de control de calidad.

#### 4.4.1 Diagrama de flujo del módulo de control de calidad

Figura 54.

Diagrama de flujo del módulo de control de calidad.



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases que realiza el módulo para obtener datos del recipiente y realizar una clasificación posterior.

Los elementos principales que componen el módulo son:

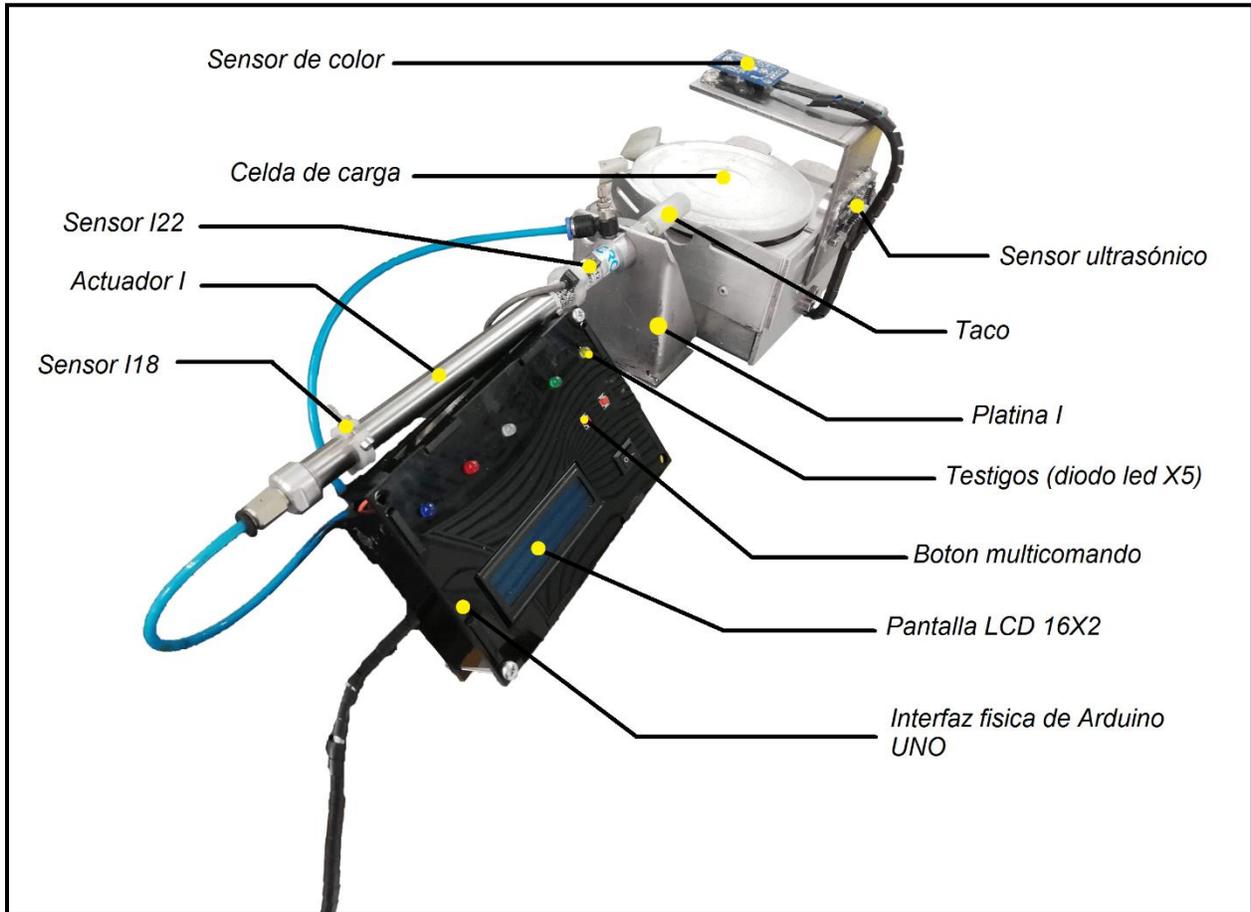
- 4 mangueras neumáticas
- 2 cilindros neumáticos de doble efecto
- 4 sensores de posición (reed)
- 2 electroválvulas 5/2 biestables
- 1 sensor ultrasónico
- 1 sensor de color
- 1 sensor de peso
- 1 pantalla LCD 16 X 2
- 1 tarjeta Arduino uno
- 5 transistores TIP122

- 1 interfaz física de Arduino
- 1 báquela universal

Algunos de estos elementos pueden ser observados en las figuras 55 y 56.

**Figura 55.**

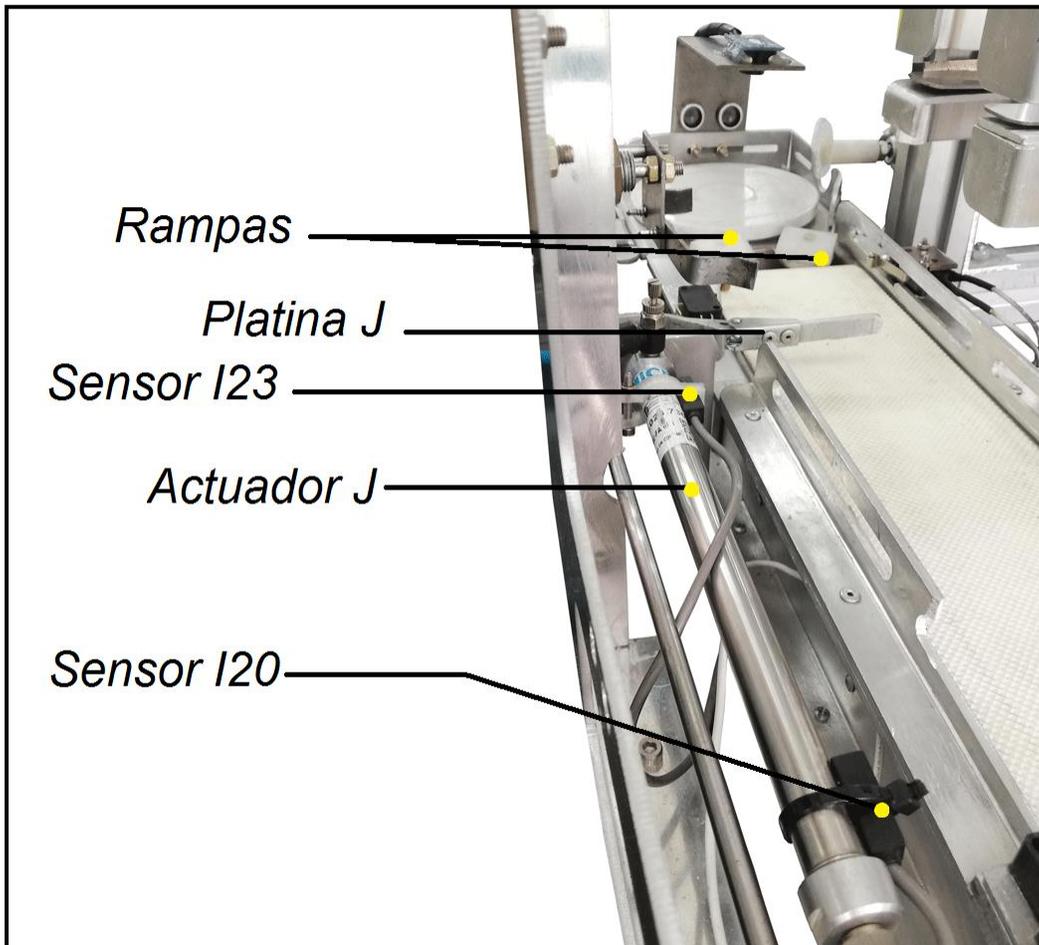
*Módulo control de calidad vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de control de calidad.

**Figura 56.**

*Módulo control de calidad vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de control de calidad.

#### 4.4.2 Análisis detallado de fallas

**Tabla 10.**

*Análisis detallado de fallas del módulo control de calidad.*

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Control de calidad.	Determinar el color de la tapa y, el peso del recipiente para su clasificación.	Los resultados expuestos por el módulo son erróneos.	1. Arduino UNO (figura 58)	Mala clasificación del recipiente.	Incertidumbre en la clasificación del recipiente.
			2. Conexiones (figura 57)	Desenergización de los demás módulos.	La celda flexible no es automática.
			3. Actuador I (figura 55)	Mal posicionamiento del recipiente en la banda transportadora	El recipiente no es transportado por la banda, para su posterior clasificación, en algunas ocasiones.

**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo de control de calidad.

Luego de realizar pruebas de campo, son observados los siguientes modos de falla que impiden el correcto funcionamiento del módulo y, por lo tanto, de la celda flexible de manufactura.

4.4.2.a. Modo de falla #1: cuando el recipiente es posicionado en la celda de carga, la tarjeta Arduino UNO se encarga de analizar el producto y enviar señales al PLC para continuar con el proceso. Pero las acciones que realmente se presentaban son:

- Incertidumbre en la detección del recipiente.
- Algunas veces accionaba el PLC sin previa indicación.
- En la pantalla LCD (figura 58) se observaban valores errados.
- Ingenium [19] propone calibrar la celda de carga desde la interfaz física (figura 55) cada vez que se fuera a utilizar, pero al querer hacerlo, este no surtía efecto alguno, pues no ejecutaba el proceso de calibración

Las razones de dicho comportamiento son desconocidas, pues como se ha comentado anteriormente, esta compañía no entregó el backup de la programación.

4.4.2.b Modo de falla #2: para que el Arduino UNO generara los resultados y los enviara al PLC, los demás módulos tenían que ser desenergizados, ya que, la conexión de esta tarjeta venía enlazada a un contacto normalmente cerrado del relé del motor eléctrico de la banda transportadora 1.

4.4.2.c. Modo de falla #3: es observado cuando el actuador I realiza su desplazamiento positivo para empujar el recipiente a la banda transportadora 2. La posición del recipiente depende de la fuerza con que este es empujado, pues la incorrecta instalación del racor en la vía delantera del actuador, golpea el recipiente por una de sus caras a una rapidez considerable, ocasionando el volcamiento del recipiente algunas veces, impidiendo la clasificación de este.

Se observa que el diseño y el montaje de la platina I (figura 55) no ofrece una alineación adecuada, además el taco diseñado (figura 55) exhibe un área de sección transversal reducida, repercutiendo con el empuje del recipiente y generando el volcamiento de este.

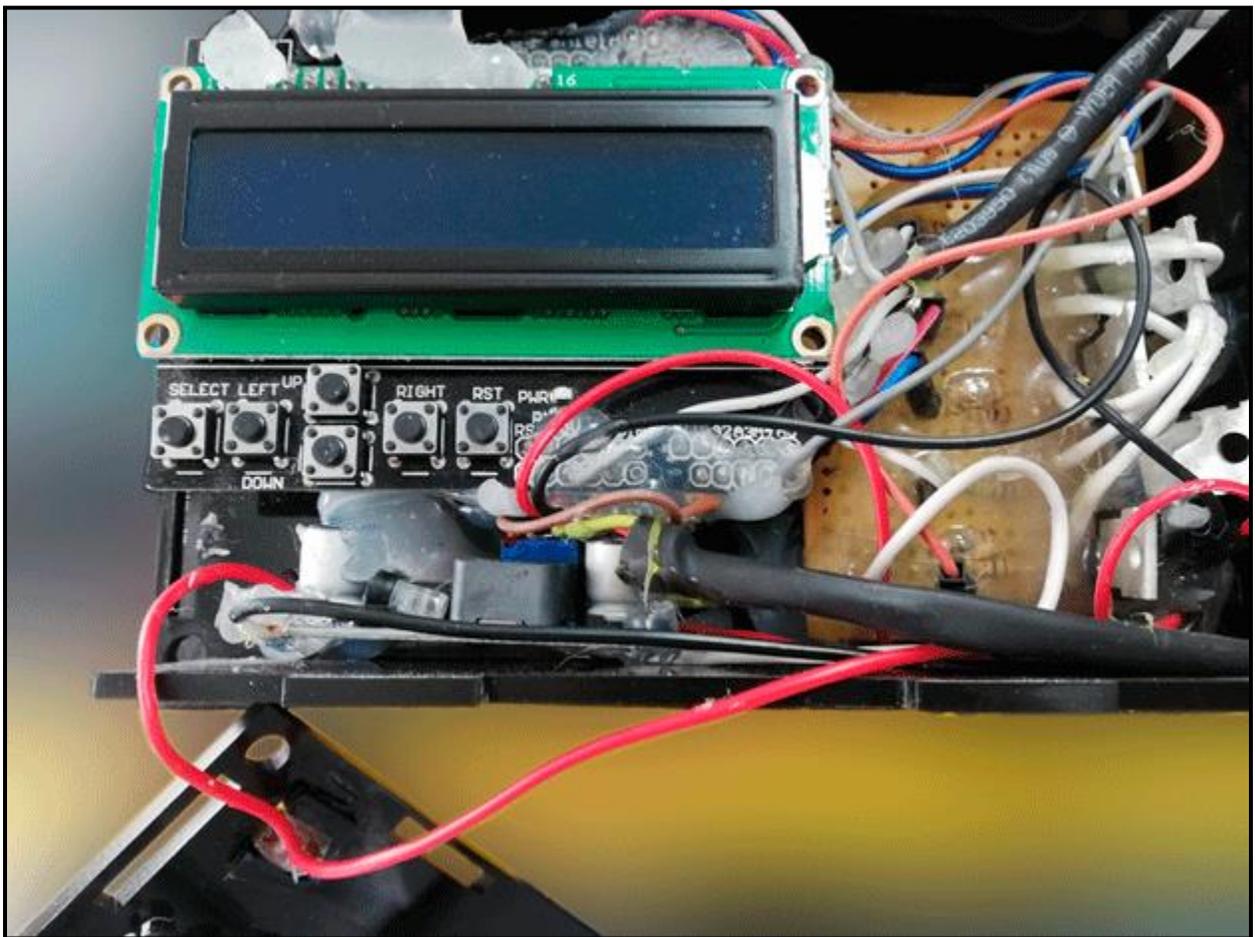
### 4.4.3 Intervención realizada para solucionar las fallas

4.4.3.a. Para la solución al modo de falla #1: inicialmente se realiza un desmonte completo del módulo, con el fin de observar los componentes instalados y las razones del mal funcionamiento.

Como no se contaba con la programación de respaldo (backup), la acción correctiva tomada es, destapar la interfaz física de Arduino y observar las conexiones que presentaba internamente.

**Figura 57.**

*Interfaz física destapa*



**Nota.** En la figura se puede observar la silicona esparcida por todos los componentes electrónicos, estropeando a la mayoría de estos.

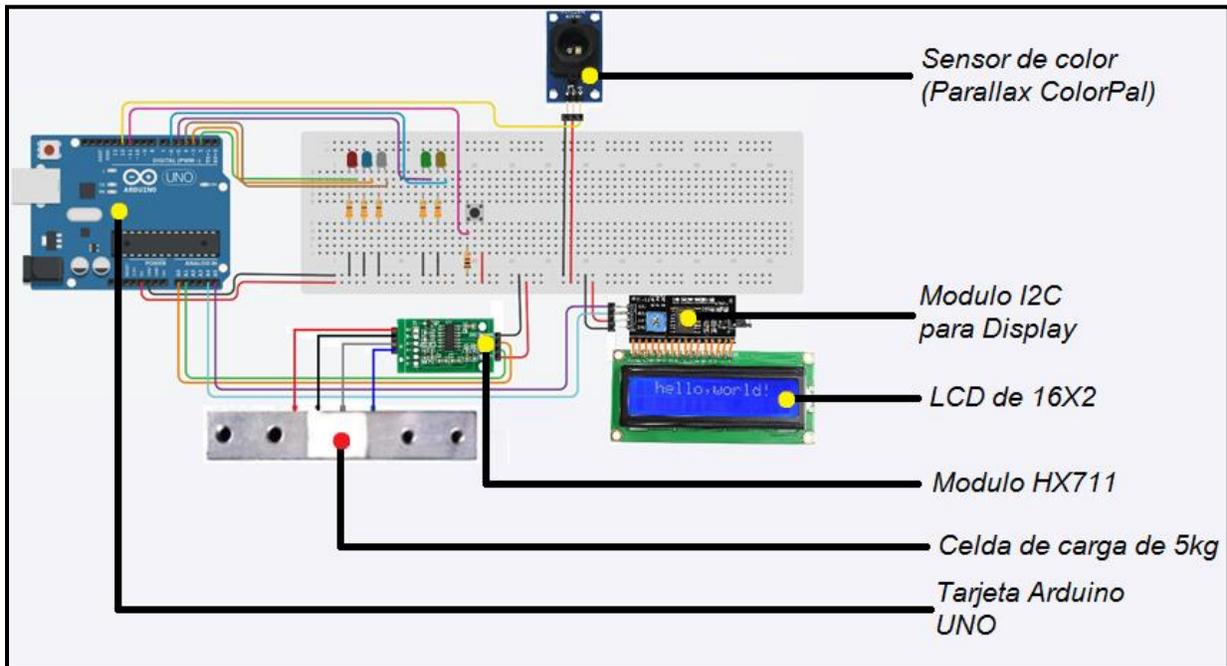
En la figura 57 se contempla una cantidad excesiva de silicona recubriendo todo el circuito eléctrico, siendo imposible recuperar cualquier componente que estuviese allí dentro, como lo es la pantalla LCD 16X2, tarjeta Arduino UNO, báscula universal y la interfaz física, así que, son desmontados los sensores de peso y color (elementos externos a la interfaz) con el fin de realizarles pruebas de funcionamiento en una nueva tarjeta de Arduino, pues con la que se contaba, se estropeo por la desconexión forzosa de componentes adheridos con silicona.

Este módulo no podría ser utilizado, hasta que los componentes de adquisición y procesamiento de datos, estuvieran funcionando de alguna manera. Los componentes principales, para realizar pruebas de funcionamiento son: sensor de color, sensor de peso, pantalla LCD 16X2 y tarjeta Arduino UNO.

Se adquiere una nueva tarjeta Arduino UNO y una pantalla LCD de 16X2, ya que, son elementos indispensables para hacer las pruebas de campo necesarias. Los sensores de color y peso demostraron funcionalidad con los códigos llamados “PROGRAMA\_DE\_PRUEBA\_DE\_SENSOR\_DE\_COLOR” y “PROGRAMA\_DE\_PRUEBA\_DE\_CELDA\_DE\_CARGA” respectivamente, mientras que la pantalla es probada con el código “PROGRAMA\_DE\_PRUEBA\_DE\_LCD\_16X2” (estos códigos se encuentran en el CD de backups (anexo C)), luego se realiza un montaje en protoboard como se ve en la figura 58, con el objetivo de observar el funcionamiento en conjunto de los componentes ahí descritos.

**Figura 58.**

*Montaje de prueba en protoboard.*



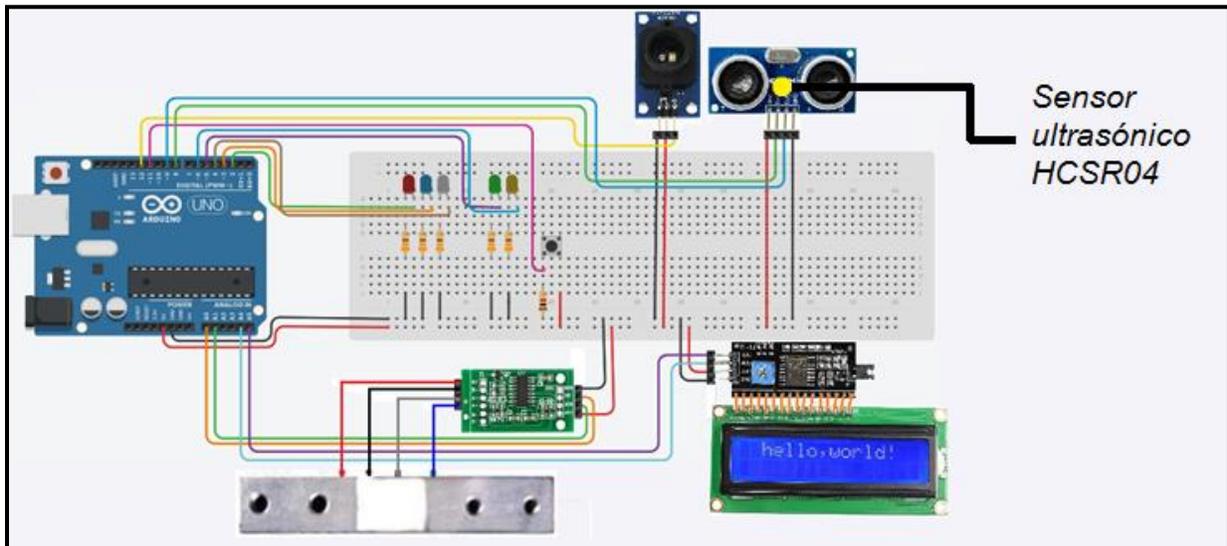
**Nota.** La figura muestra la conexión inicial que se realiza, para probar los componentes descritos y poner en marcha el módulo de control de calidad.

Este montaje concibe estudiar el comportamiento de los elementos descritos en la figura 58, permitiendo identificar la necesidad de un sensor ultrasónico, pues con la ausencia de este sensor, en todo momento el Arduino UNO está recibiendo lecturas del Parallax y del módulo HX711. El sensor ultrasónico detecta el recipiente colocado en la celda de carga (figura 55) con un rango de operación entre uno y cuatro centímetros, permitiendo que el circuito se energice y realice las respectivas mediciones.

La conexión del sensor ultrasónico puede ser observada en la figura 59, mientras que su programación en el CD de backups (anexo C). Además, se actualiza el código general para el funcionamiento en conjunto con los componentes descritos en la figura 58.

**Figura 59.**

*Conexión eléctrica del ultrasónico.*



**Nota.** En la figura se observa la conexión eléctrica del sensor ultrasónico a la tarjeta Arduino UNO.

Se utilizaron cinco salidas de la tarjeta de Arduino UNO, asignando los siguientes parámetros:

- AZUL
- ROJO
- NO COLOR
- PESO NO
- PESO SI

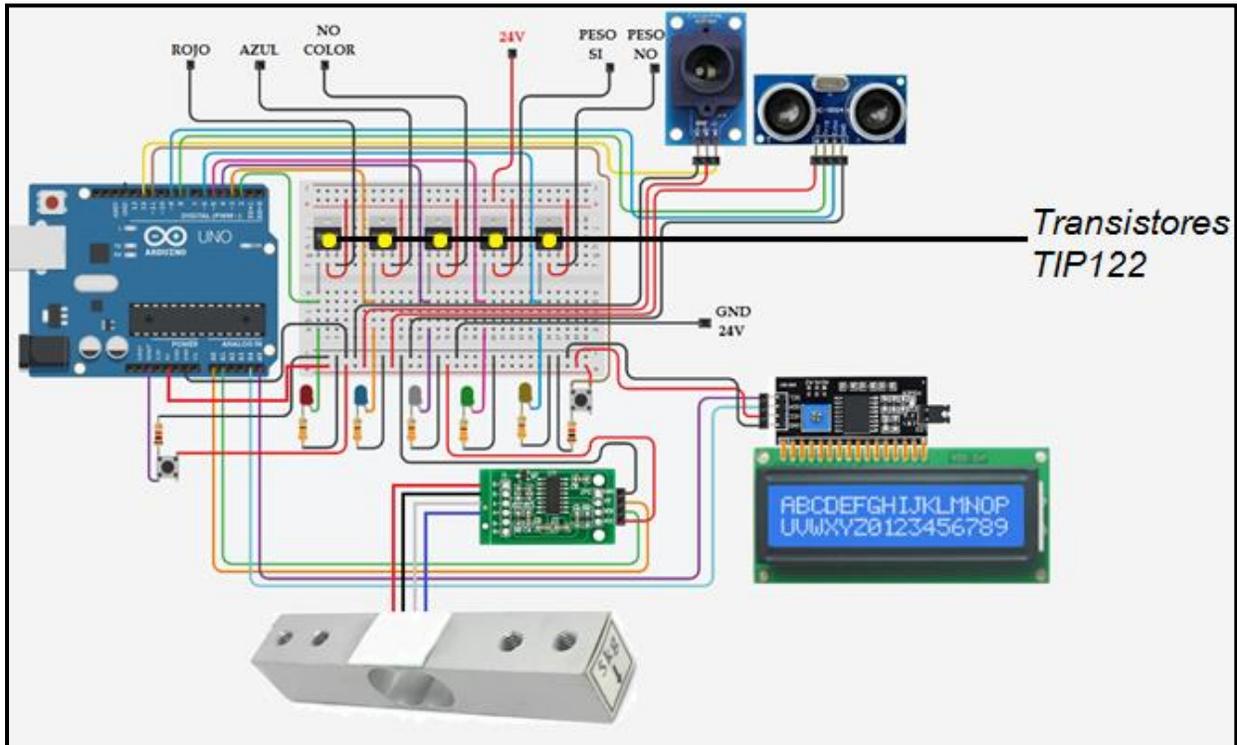
Estas salidas del Arduino UNO son conectadas a las entradas I3, I4, I5, I6 e I7 del PLC, estableciendo comunicación entre ellos, ya que, dependiendo de las decisiones tomadas por el Arduino UNO, el PLC termina el proceso de clasificación. Pero el PLC para trabajar adecuadamente, requiere señales de veinticuatro voltios (24V) a sus entradas, mientras que el Arduino UNO genera pulsos de salida de cinco voltios (5V).

La acción tomada frente al nuevo inconveniente presentado, condujo a la incorporación de los transistores TIP122 observados en la figura 60, los cuales ofrecen teóricamente

pulsos de 24V. Se realiza el montaje de cinco transistores, ya que, se requiere utilizar cinco entradas del PLC.

**Figura 60.**

*Conexión de los transistores TIP122.*



**Nota.** En la figura se observa la disposición de los transistores TIP122, para realizar pruebas de campo.

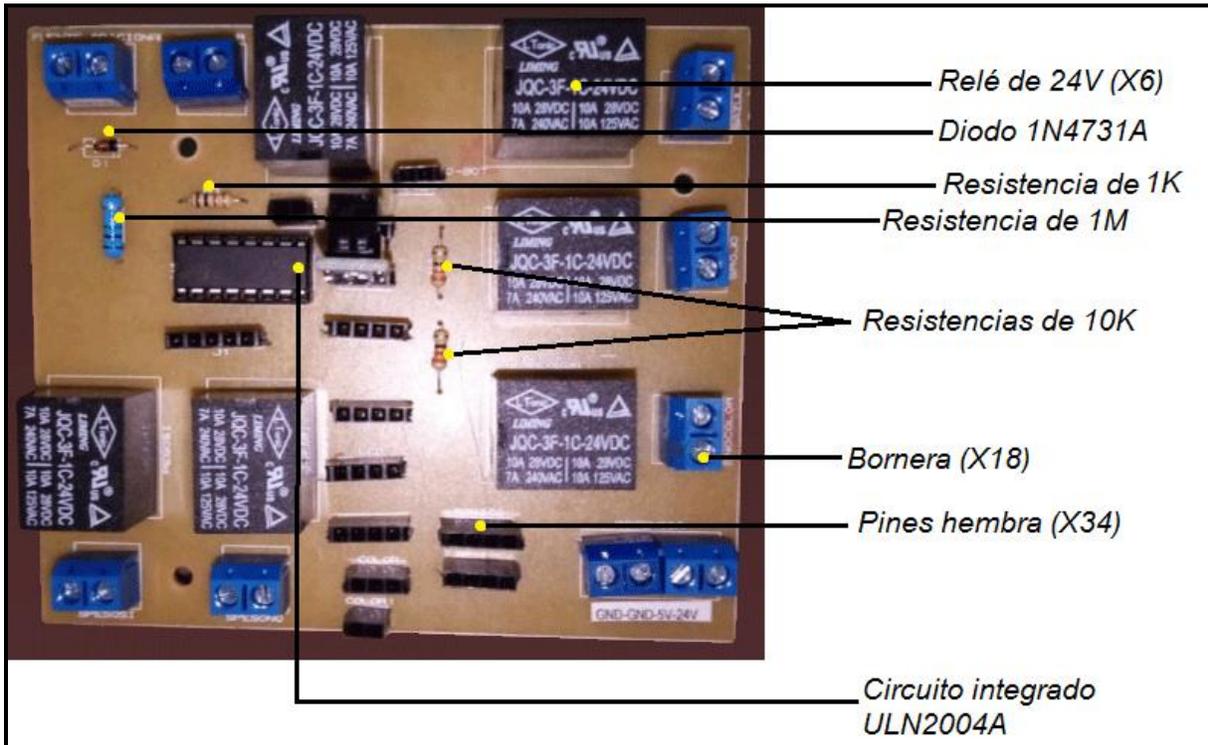
Luego de realizar pruebas de campo con el montaje propuesto en la figura 60, se identificó un nuevo inconveniente, pues estos transistores no funcionaban debido a que, entregan una señal de salida en corriente, mientras que el PLC recibe señales de entrada en voltaje, razón por la cual, el montaje propuesto se descartó.

La solución al modo de falla número 1 se presenta con el diseño e implementación de una tarjeta de potencia, la cual puede ser observada en la figura 61, el diseño se realiza en un software CAD llamado Proteus 8, donde se reemplaza el montaje en protoboard, y la báquela universal destruida debido al desmonte de la interfaz física. (figura 57). La

finalidad de la intervención realizada fue, llevar una clara distribución de componentes electrónicos y conexiones eléctricas, vistas en la figura 62.

**Figura 61.**

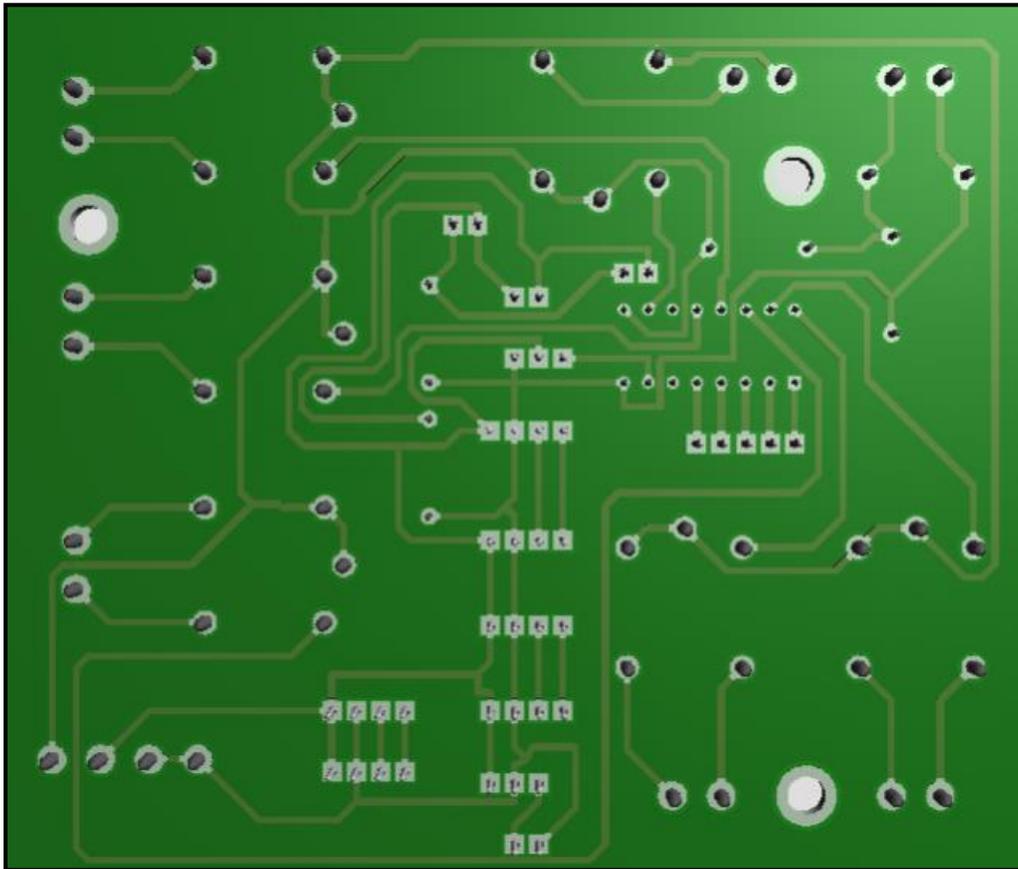
*Tarjeta de potencia.*



**Nota.** En la figura se puede observar la tarjeta de potencia reemplazando la váquela universal destruida.

**Figura 62.**

*Pistas de la tarjeta de potencia.*



**Nota.** La figura muestra la vista trasera de la tarjeta de potencia.

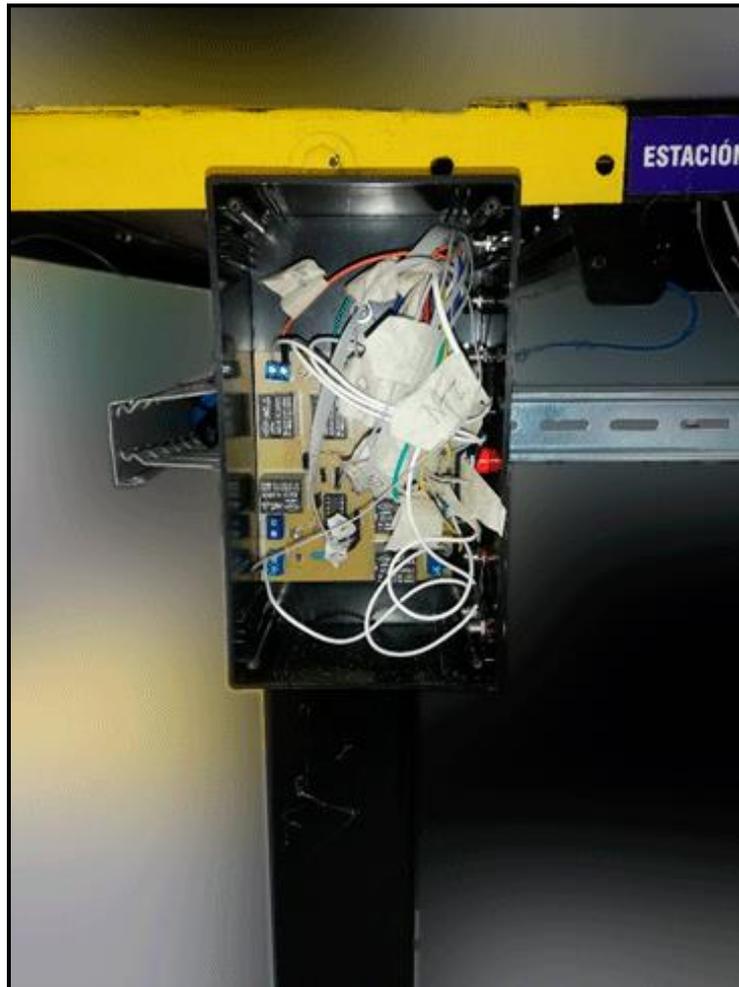
Con el propósito de conectar la tarjeta Arduino UNO al Jack de alimentación por donde pueden llegar a ingresar teóricamente 12V, se utilizó una fuente externa de doce voltios (12V) conectada directamente a los interruptores de alimentación, que contiene internamente el tablero eléctrico (figura 8), posteriormente se acopla un módulo reductor de voltaje (LM2596), con el fin de reducirlo hasta ocho voltios (8V), ya que, el Arduino UNO presentaba errores en su funcionamiento siendo alimentado con 12V y, como mínimo requiere 7V por dicha entrada.

Luego de realizar las conexiones a la tarjeta de potencia, se observa una gran cantidad de cables, así que, para ubicarlos adecuadamente, se adquiere una caja donde

internamente se posiciona la tarjeta de potencia y se une a la estructura base con ayuda de tornillos auto perforantes (ver figura 63).

**Figura 63.**

*Conexiones del módulo de control de calidad.*



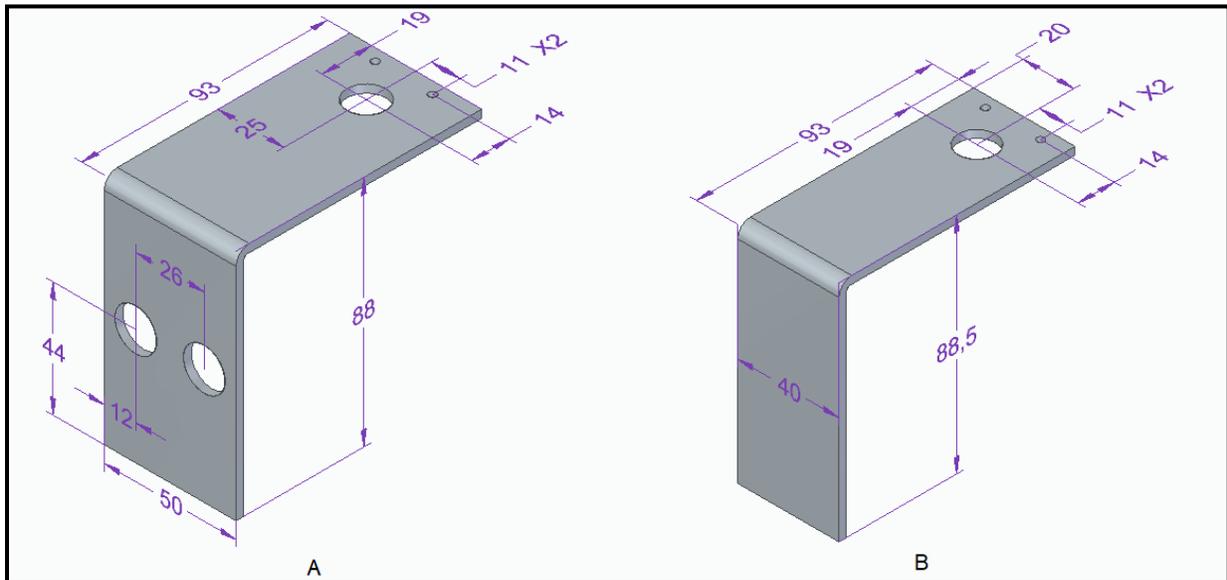
**Nota.** La figura muestra la ubicación de la tarjeta de potencia.

Cuando la tarjeta de potencia ha sido probada en conjunto con el Arduino UNO, evidenciando resultados favorables para la práctica, se procede con la construcción (figura 64) e implementación de una platina fabricada en acero hot roll A 36 con un espesor de 1/8 de pulgada (recuperada de retales del taller de máquinas y herramientas), que sostenga el sensor ultrasónico, pues la anterior no contemplaba un lugar para posicionarlo en el módulo. Además, se fabrica la nueva interfaz física de Arduino (ver

figura 65), ya que, como se comentó anteriormente, esta resulto en perdida cuando fue destapada, aparte, fueron añadidos diodos emisores de luz (leds), con el fin de observar rápidamente el resultado de clasificación por parte del Arduino UNO.

**Figura 64.**

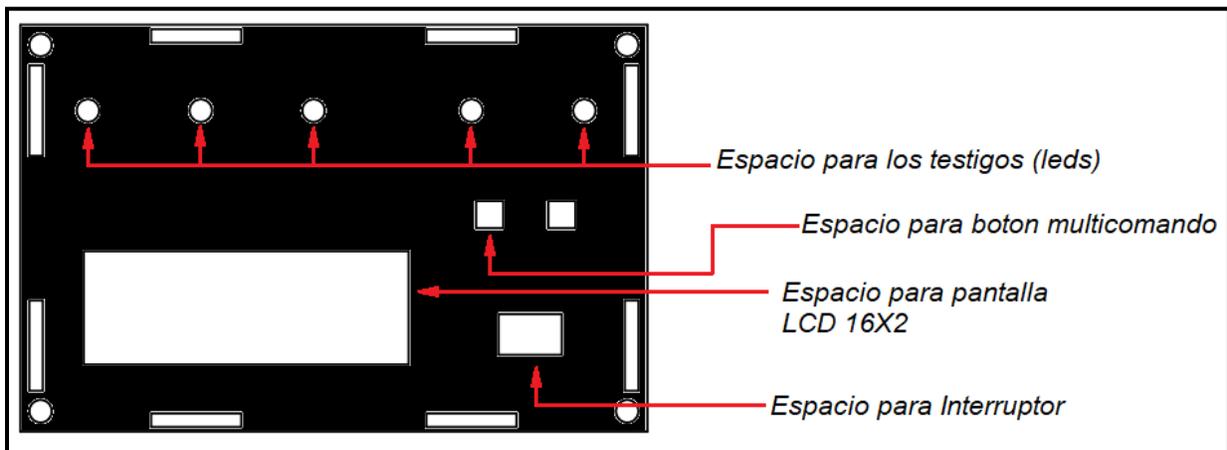
*Platina S.*



**Nota.** La figura (A) muestra la platina actualmente implementada, mientras que (B) es el diseño implementado por Ingenium.

**Figura 65.**

*Interfaz física nueva.*



**Nota.** En la figura se muestra la interfaz física de la tarjeta de Arduino UNO, adquirida.

Dando fin a la intervención realizada para la corrección al modo de falla #1, se calibra la celda de carga (figura 55) con ayuda de una gramera digital y un programa de calibración realizado a fin de eliminar la tara producida por los componentes vinculados a la celda de carga. Esto se consigue realizando una medición inicial del recipiente dosificado con cualquier cantidad y su correspondiente tapa en la gramera digital, para conocer su peso real. Apoyados en la ecuación 1 [20], se obtiene una escala por medio del valor tomado de la gramera digital (peso real) y el valor de lectura captado por la celda de carga y procesado por del Arduino UNO (valor de lectura).

**Ecuación 1.**

*Calculo de la escala.*

$$Escala = \frac{Valor\ de\ lectura}{Peso\ real}$$

Los valores obtenidos son expresados en la tabla 11.

**Tabla 11.**

*Calibración de la celda de carga.*

Peso real (kilogramos)	Valor de lectura	Escala
0,204	T82910	406422
0,459	T187010	407429
0,071	T28800	405634
0,488	T199930	409693

**Nota.** La tabla expresa la cantidad de pruebas realizadas y sus correspondientes valores de escala.

Los valores de escala obtenidos en la tabla 11 son promediados, dando como resultado 407295, con el fin de ingresar este valor en el programa global realizado para la manipulación completa del módulo de control de calidad (este código es encontrado en el CD de backups (anexo C) con el nombre de "PROGRAMA\_CONTROL\_DE\_CALIDAD").

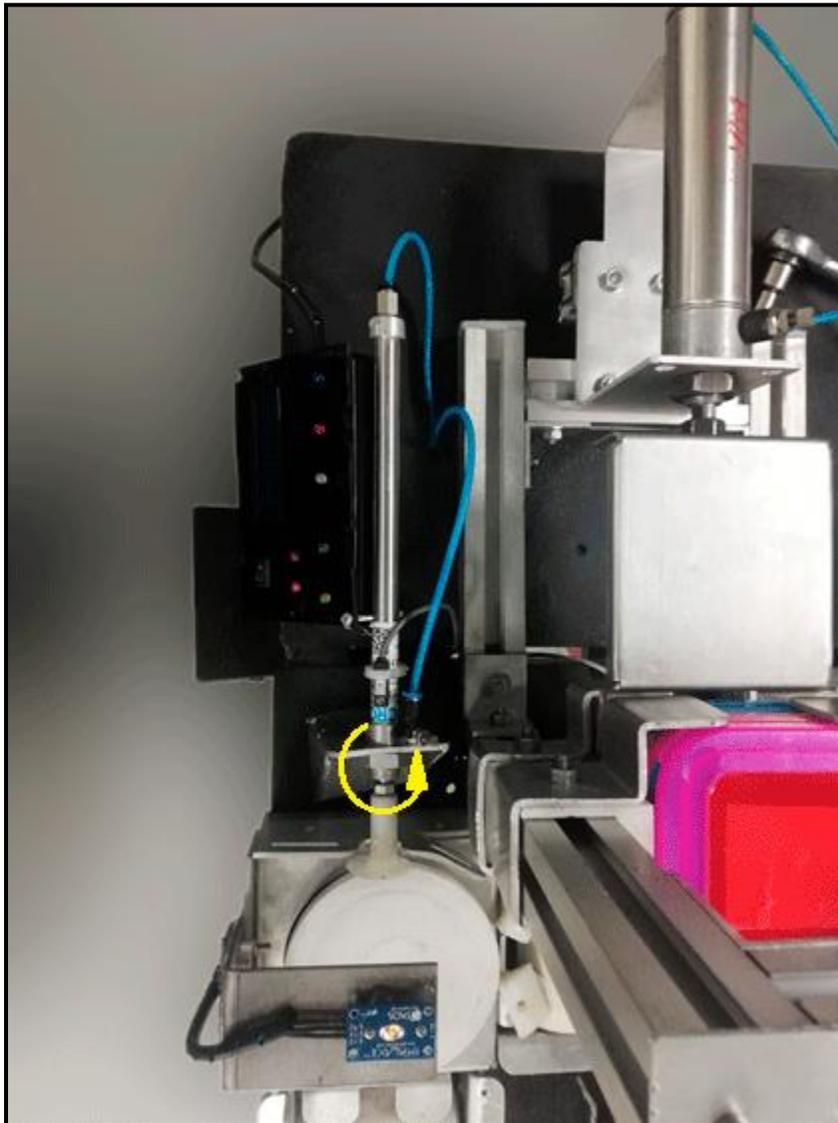
4.4.3.b. Para la solución al modo de falla #2: presentaba un problema de conexión grave, pues se encontró que el cable de alimentación de 24V responsable de alimentar los sistemas del módulo, así como las señales que envía la tarjeta Arduino UNO a las correspondientes entradas del PLC, estaban conectadas al relé que energiza el motor de la banda transportadora 1. Cuando se encontraba accionado el motor, la tarjeta Arduino y sus respectivos sensores dejaban de funcionar.

Esto es arreglo llevando este cable desde el módulo control de calidad a la fuente de alimentación de 24V directamente.

4.4.3.c. Para la solución al modo de falla #3: inicialmente se reposiciona dicho actuador como se muestra en la figura 66, realizando un pequeño dobles y reubicando la platina I (figura 55), con el fin de atacar el recipiente desde un ángulo más apropiado.

**Figura 66.**

*Dobles de la platina I.*



**Nota.** En la figura se muestra el sentido en que se reajusto el actuador I para lograr un rendimiento óptimo.

Debido al área de sección transversal reducida del taco, el golpe de este con el recipiente es el responsable del volcamiento, pues el actuador I al producir su movimiento I+, el taco impulsa el envase por la parte inferior y no hacía el centro. Después de regular los racores de ambas vías del actuador, no se lograba obtener resultados asertivos del posicionamiento del recipiente en la banda transportadora 2, así que, se realiza en material sobrante de un recipiente estropeado en pruebas de campo, una ampliación en

el área del taco, adhiriendo un inserto circular de 3 cm de diámetro aproximadamente, al extremo por donde impacta al recipiente, como se ve en la figura 67.

**Figura 67.**

*Inserto colocado en el taco del actuador I.*



**Nota.** La figura muestra una extensión en el diámetro del taco.

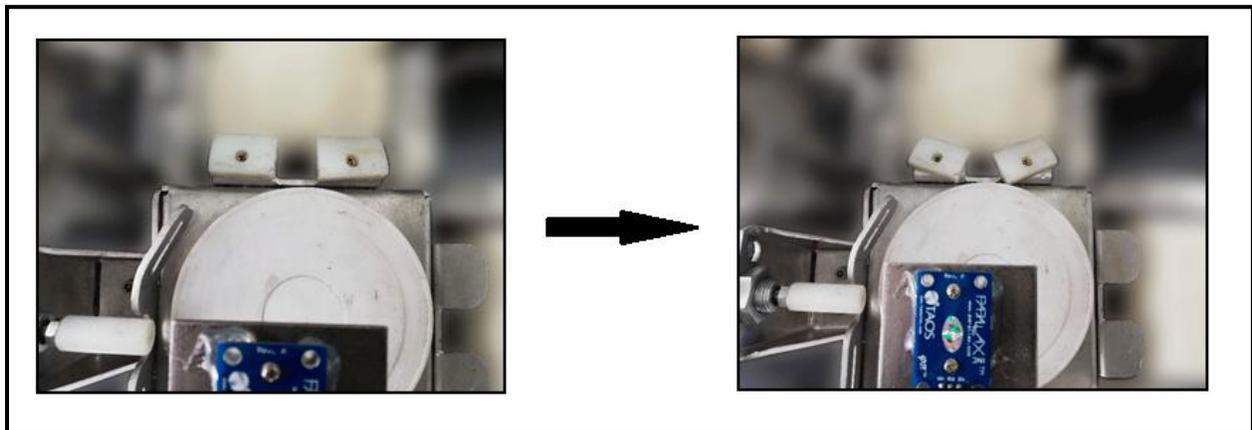
En el momento de realizar pruebas de funcionamiento con el actuador I, se presentó un nuevo inconveniente, pues el recipiente al salir del módulo de tapado, las rampas (figura 56) empezaron a impedir el paso del envase al módulo control de calidad. Entonces se

determina realizar un rebaje en las rampas, ya que, presentaban demasiadas imperfecciones en la superficie, pero cuando se decide realizar pruebas y observar el comportamiento de estas, el inconveniente se presenta en algunas ocasiones.

Para que el inconveniente expuesto anteriormente deje de presentarse ocasionalmente, las rampas son ligeramente giradas como se puede observar en la figura 68, obteniendo resultados eficientes con el paso del recipiente al módulo control de calidad.

**Figura 68.**

*Adecuación de rampas.*



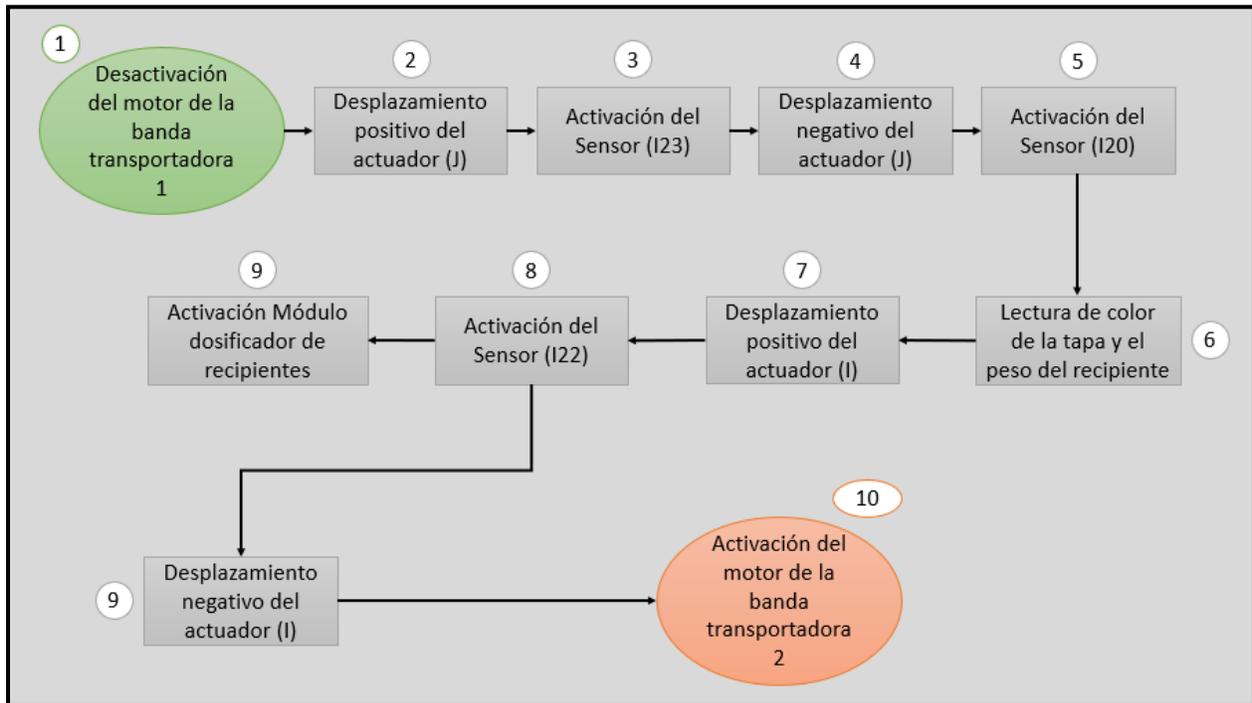
**Nota.** La figura muestra cómo fueron giradas las rampas del módulo de control de calidad, empezando la lectura de izquierda a derecha.

Finalmente se retira el sensor de posición (reed) I18 (figura 55), pues a lo largo de los ensayos con el módulo, se identificaron problemas con el funcionamiento del actuador I, ya que, dicho sensor dejó de funcionar, direccionando la programación a la implementación de un temporizador para suplir la función del sensor I18.

Al final del proceso de intervención, el diagrama de flujo queda como se puede observar en la figura 69.

**Figura 69.**

*Diagrama de flujo actual del módulo de control de calidad.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases nuevas que realiza el módulo para obtener datos del recipiente y realizar una clasificación posterior.

#### 4.5 Módulo de producto rechazado

Este módulo entra en acción si la tarjeta Arduino UNO (figura 58) detecta dos posibles fallos en la calidad del producto terminado, el primer fallo presentado en el producto corresponde al peso, si este no figura entre 200 y 350 gramos, el producto tendrá que ser rechazado. El segundo fallo que puede presentar el producto corresponde al color de la tapa, pues si esta no presenta coloración rojiza o azulada, el producto de igual manera tendrá que ser rechazado.

El módulo de control de calidad se encarga de enviar las correspondientes señales al PLC, donde este se encargará de poner en marcha los actuadores neumáticos si el producto presenta fallos en la calidad. Esto con el fin de clasificar el producto en el

almacén 2 (figura 71), el cual contempla los dos posibles rechazos existentes, por peso o por color.

Si el producto es considerado rechazado por el módulo control de calidad, el recipiente tiene que ser retirado de la banda transportadora 2 (figura 8) y, se logra mediante la secuencia electroneumática presentada en la tabla 12 o 13. Inicialmente se cuenta con el sensor capacitivo 3 (figura 71), el cual permite detectar el recipiente a lo largo de la banda, cuando el envase es detectado por el sensor, este envía la señal al PLC con el fin de poner en marcha el módulo de producto rechazado, empezando con el movimiento del actuador L (figura 71), L+, a fin de acercar los actuadores M y N a la banda (figura 72), los cuales se encargan de recoger el recipiente y posicionarlo en el almacén 2 dependiendo de los fundamentos del rechazo, pero, si es por ambos, predomina el rechazo por color.

Las secuencias electroneumáticas que gobiernan el funcionamiento de este módulo son observadas en las siguientes tablas:

**Tabla 12.**

*Peso.*

L+	M+	N+	M-	L/2	M+	N-	M-	L-
----	----	----	----	-----	----	----	----	----

**Nota.** La tabla anterior muestra la secuencia electroneumática en caso de darse un rechazo de producto por peso.

**Tabla 13.**

*Color.*

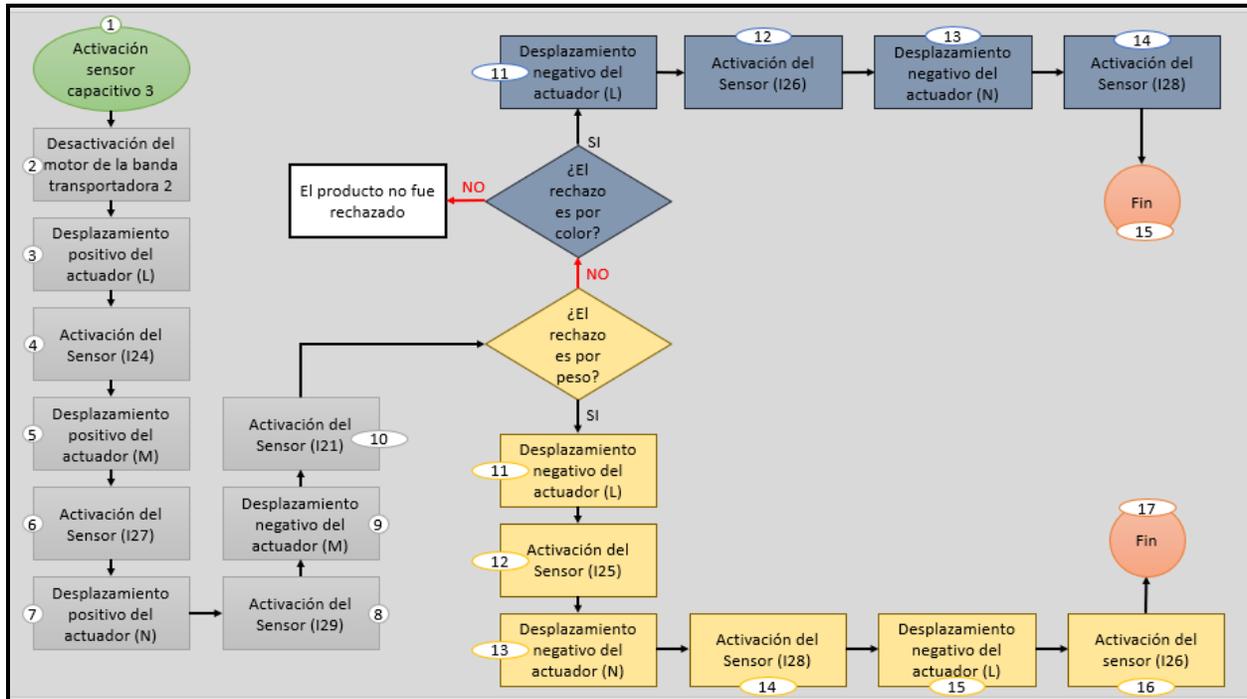
L+	M+	N+	M-	L-	M+	N-	M-
----	----	----	----	----	----	----	----

**Nota.** La tabla anterior muestra la secuencia electroneumática en caso de darse un rechazo de producto por color.

#### 4.5.1 Diagrama de flujo del módulo de producto rechazado

Figura 70.

Diagrama de flujo del módulo de producto rechazado.



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases que realiza el módulo para rechazar el producto y finalizar el proceso.

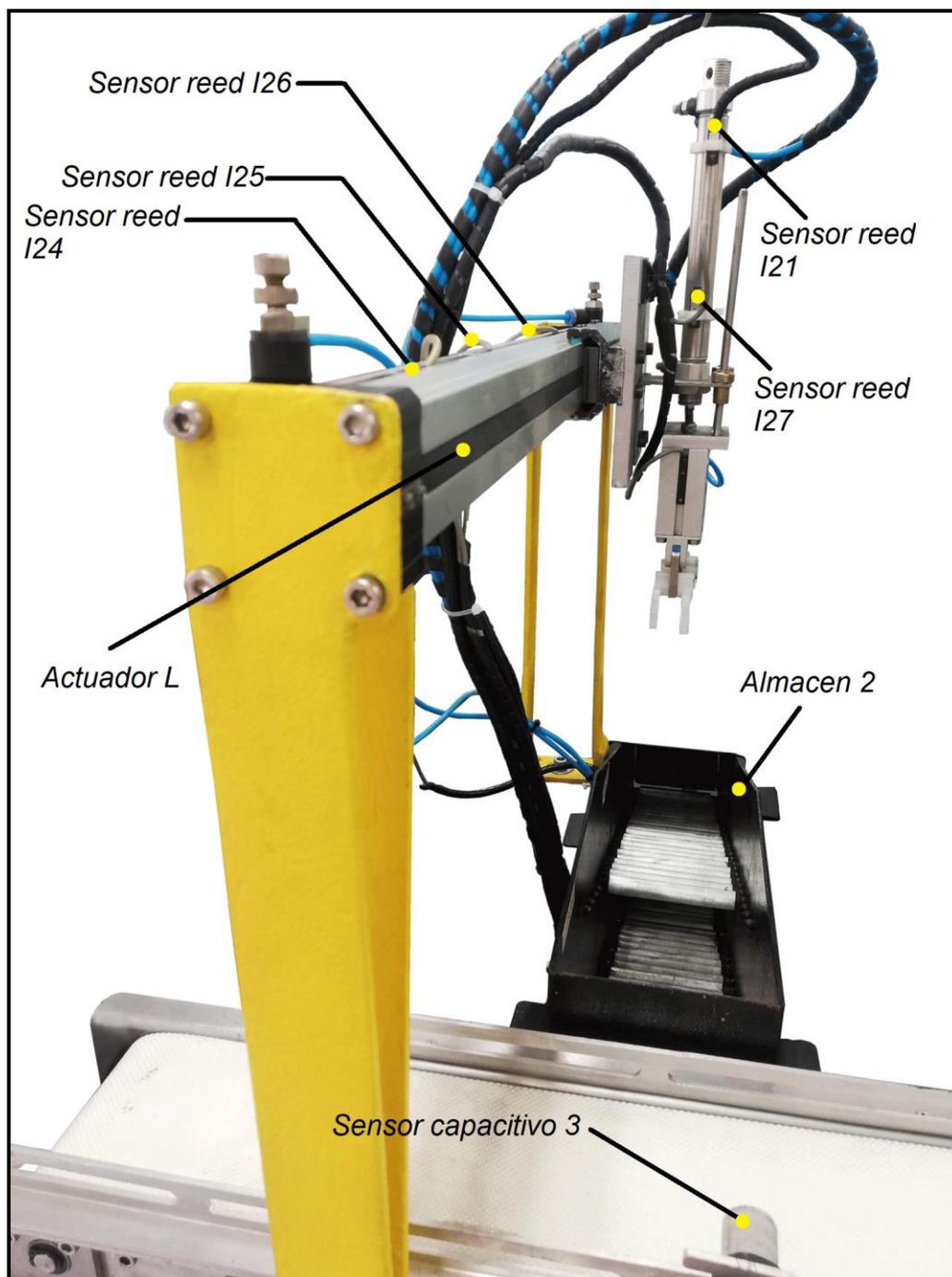
Los elementos principales que componen el módulo son:

- 6 mangueras neumáticas
- 1 cilindro neumático de doble efecto
- 1 cilindro neumático sin vástago doble efecto
- 1 pinza angular DHWS
- 1 almacén de producto rechazado
- 1 electroválvula 5/2 biestables
- 2 electroválvulas 5/3 con retorno de muelle
- 7 sensores de posición (reed)
- 1 sensor capacitivo

Algunos de estos elementos pueden ser observados en las figuras 71 y 72.

**Figura 71.**

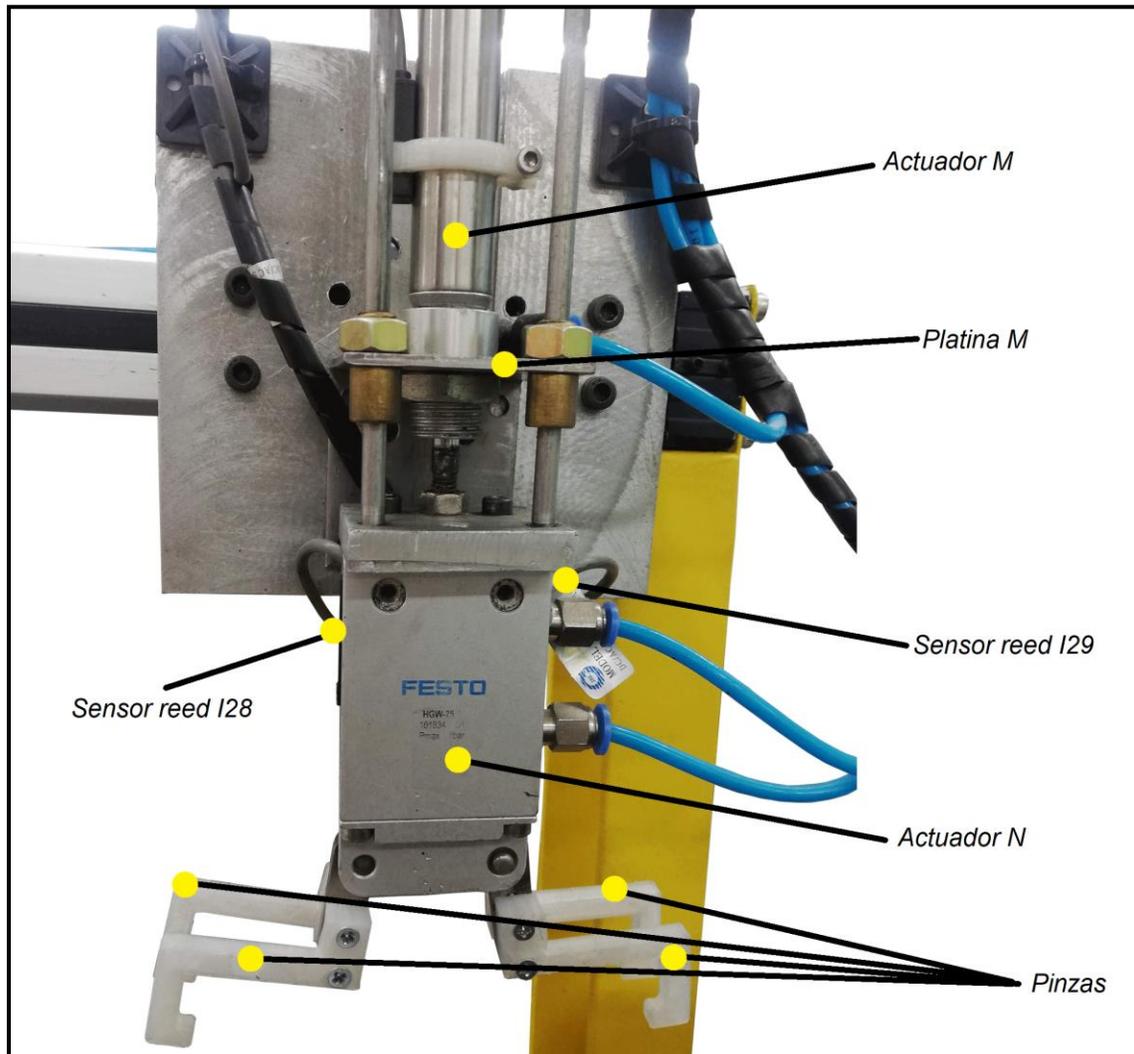
*Módulo de producto rechazado vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de producto rechazado.

**Figura 72.**

*Módulo de producto rechazado vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de producto rechazado

## 4.5.2 Análisis detallado de fallas

**Tabla 14.**

*Análisis detallado de fallas del módulo de producto rechazado.*

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Producto rechazado	Expulsar el recipiente que no cuente con las condiciones óptimas de clasificación, ya sea por peso o color.	El producto rechazado no es sacado del proceso.	1. Actuador L (figura 71)	Retroceso ineficiente del actuador L	Cuando el actuador L realiza su desplazamiento negativo, presenta un tipo de interferencia, retardando la operación de rechazo.
			2. Sensor capacitivo 3 (figura 71)	Detección incorrecta del envase	El sensor no detecta asertivamente el recipiente, aumentado el mal posicionamiento de este.
			3. Actuador M. (figura 72)	No mantiene su posición inicial cuando realiza M-	El recorrido con el recipiente presenta un Impedimento en la correcta clasificación de este en el almacén 2.

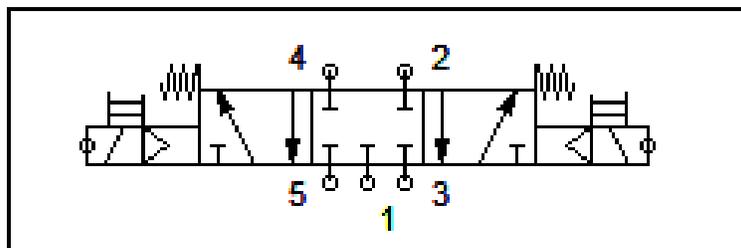
**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo de producto rechazado.

Al módulo se le realizan pruebas de funcionamiento, para observar las fallas que presenta y deducir la razón de la falla funcional expuesta anteriormente en la tabla 14.

4.5.2.a. Modo de falla #1: el actuador L presenta interferencia al realizar su desplazamiento negativo, debido al estado de la electroválvula al que está conectado, pues al ser una 5/3 biestable (figura 73), puede que, este fallando la programación, la conexión de aire o las cámaras que posee internamente. Esto obliga a que el actuador no realice un movimiento limpio y fino, sino que, por lo contrario, presente un movimiento obstaculizado y pausado a medida que se va frenando.

**Figura 73.**

*Electroválvula 5/3 biestable.*



**Nota.** En la figura se observa la representación esquemática de una electroválvula de tres posiciones y cinco vías.

4.5.2.b. Modo de falla #2: el inconveniente presentado en los módulos de dosificador de producto y de tapado, se repite en el de rechazo de producto debido a la baja eficiencia que presentaron los sensores capacitivos implementados en la celda flexible de manufactura, pues al no detectar el material del recipiente, abre las puertas a errores desastrosos para la operación, los cuales pueden ser observados en los módulos anteriormente nombrados.

4.5.2.c. Modo de falla #3: es detectado cuando la celda flexible se encuentra presurizada, pero en estado de reposo, esto quiere decir, que la celda no estaba siendo manipulada, el actuador M luego de unos pocos segundos de inactividad, debido a su instalación, disposición e ineficiencia de la electroválvula (5/3 biestable), permite que el actuador pierda la presión en su interior, para luego ser afectado por su propio peso y el del actuador N por estar unido a este, finalmente obligándolo a caer. Esto repercute en la clasificación del recipiente, ya que, el actuador M al no ser capaz de sostenerse a sí mismo, cuando recoge el envase experimenta una mayor fuerza y, a medida que el

actuador L realiza su desplazamiento negativo, el actuador M empieza a decaer con mayor rapidez.

#### **4.5.3 Intervención realizada para solucionar las fallas**

4.5.3.a. Para la solución al modo de falla #1: es iniciado el proceso de intervención con el desmonte de la electroválvula del tablero neumático (figura 8), pues luego de realizar la programación del módulo completo, el actuador L seguía presentando interferencia en su desplazamiento negativo. Cuando se realiza el desmonte de la electroválvula, se determina la razón del mal funcionamiento.

Primeramente, se observan las diferentes fugas que presentaba la electroválvula en el tablero neumático, esto debido a los racores neumáticos montados en la válvula, pues no estaban ajustados adecuadamente.

La corrección de la falla se da con la implementación de cinta teflón en los racores neumáticos, con el fin de reforzar el sello, y, un apriete adecuado de estos en la electroválvula.

4.5.3.b. Para la solución al modo de falla #2: Como se ha venido trabajando el inconveniente presentado por los sensores capacitivos, el procedimiento será el mismo que, el realizado en los módulos de dosificador de producto y tapado, retirando el sensor capacitivo e instalando un final de carrera con ayuda de la platina fabricada para tal fin, la cual podrá ser vista en la figura 45.

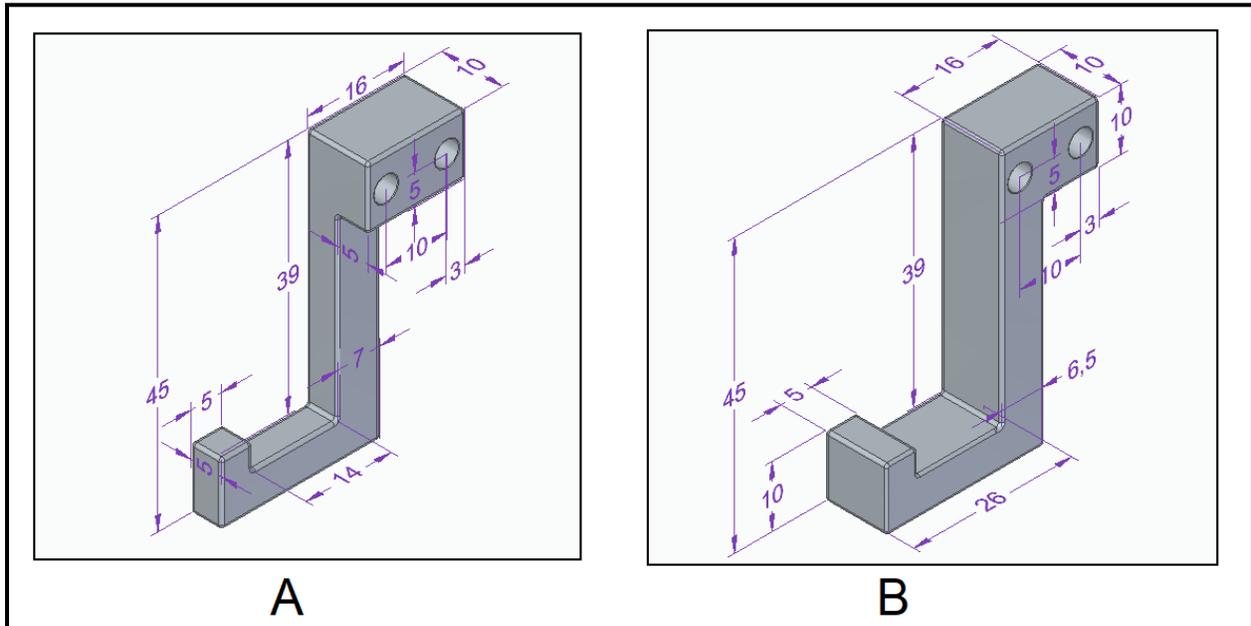
Antes de unir el final de carrera 3 (figura 71) a la banda transportadora 2, se calibra a la posición con la que debería llegar, pues esta debería estar inmediatamente debajo del actuador L. Luego de determinar la posición adecuada del final de carrera 3, este es incorporado al módulo con ayuda de dos tornillos autoperforantes en una de las guialderas de la banda.

Al realizar pruebas de funcionamiento, el final de carrera causo un daño en dos de las cuatro pinzas (figura 72) del actuador N, pues cuando el módulo entraba en funcionamiento para la clasificación de un producto rechazado por peso en el almacén 2, el actuador L posicionado en L/2, aguardaba a que se realizara la fracción de la secuencia electroneumática, M+, N-, M-, el recipiente quedo en una condición de alineación imperfecta con respecto al almacén 2, repercutiendo en las pinzas, ya que, el actuador M al realizar M+ con el fin de acercar el recipiente a dicho almacén, el envase choca con la arista de una de las paredes de este.

Las pinzas al estar fabricadas en un material polimérico no resistieron y presentaron fractura mecánica en el momento del impacto, así que, se toma la decisión de fabricar cuatro piezas de dimensiones similares a las pinzas (figura 72), con retales del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América. Las nuevas pinzas (pinzas 2) se fabricaron a partir de procesos de corte, mecanizado, perforado y lijado, dando como resultado cuatro piezas de la figura 74 (B).

**Figura 74.**

*Dimensiones de las pinzas nuevas.*



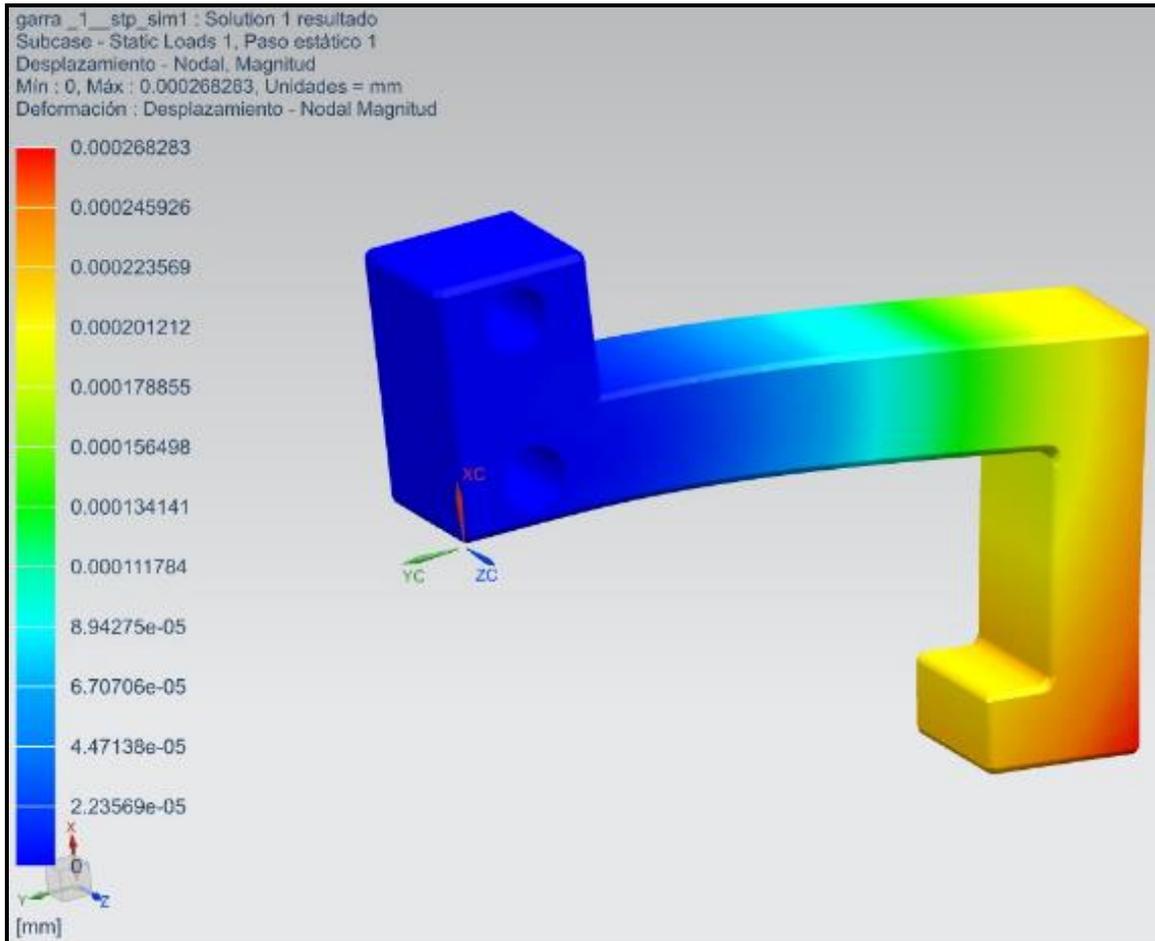
**Nota.** En la figura A son observadas las dimensiones de las pinzas rotas, mientras que la figura B muestra las dimensiones de las pinzas nuevas. Los agujeros de ambas figuras son pasantes con un diámetro de 4,5 milímetros.

Con el fin de verificar que las pinzas fabricadas cumplan con los requerimientos mecánicos para llevar a cabo el proceso correctamente y sin sufrir daños, se realiza un análisis por elementos finitos en estas piezas. Para ello, se determina que la carga a la que estarán sometidas es de 0,3Kg, sin embargo, el recipiente se apoya desde, al menos, dos de estas piezas por lo cual la carga neta que soporta cada pinza es de 0,15Kg.

Para realizar el análisis por elementos finitos se establece una malla tetraédrica de 2mm, este parámetro se selecciona teniendo en cuenta la geometría y dimensiones de la pieza a analizar, así como el número de elementos en que será dividida dicha pieza. También es importante tener en cuenta el esfuerzo de fluencia del acero 1020, el cual tiene un valor de 196MPa

**Figura 75.**

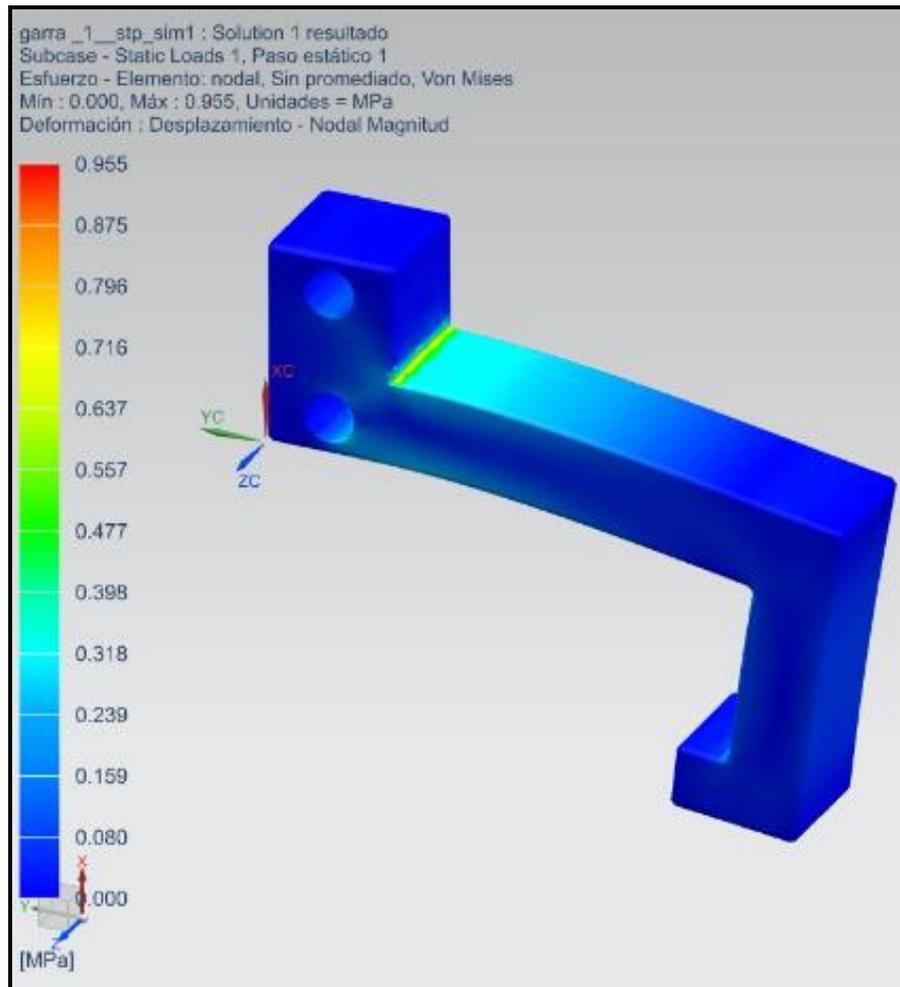
*Desplazamiento nodal.*



**Nota.** En la figura se observa el desplazamiento de los nodos obtenido por el análisis de elementos finitos.

**Figura 76.**

*Esfuerzo nodal.*



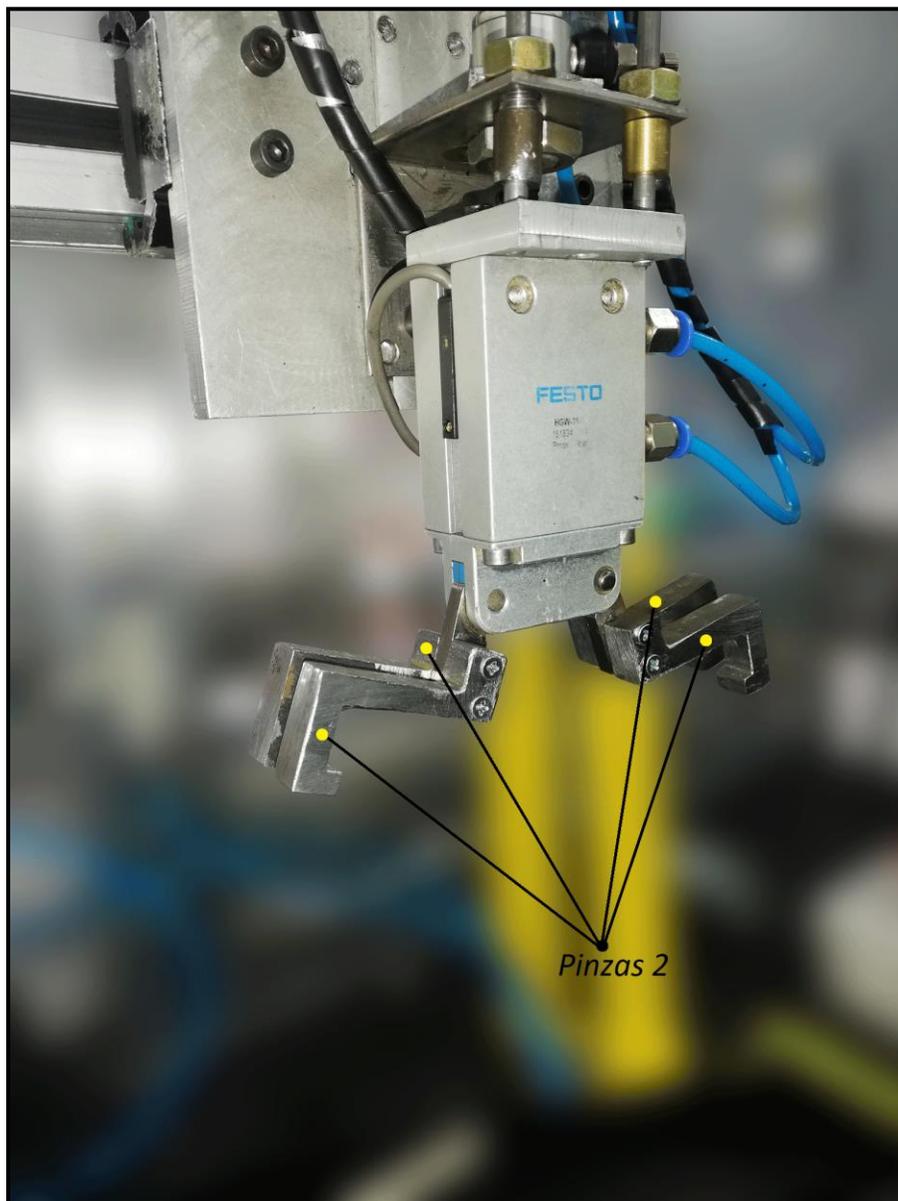
**Nota.** En la figura se observa el esfuerzo de los nodos obtenido por el análisis de elementos finitos.

Como se aprecia en la figura 75, la simulación arrojó un desplazamiento nodal completamente insignificante del orden de  $2,7 \times 10^{-4} \text{mm}$ , así mismo, en la figura 76 se puede apreciar que el esfuerzo máximo en magnitud tiene un valor de 0,955Mpa, siendo este muy inferior al esfuerzo de fluencia del material utilizado, garantizando así, que no se presentara una nueva ruptura de estas piezas durante el proceso.

Estas son integradas al actuador N donde pueden ser observadas en la figura 77

**Figura 77.**

*Pinzas 2.*



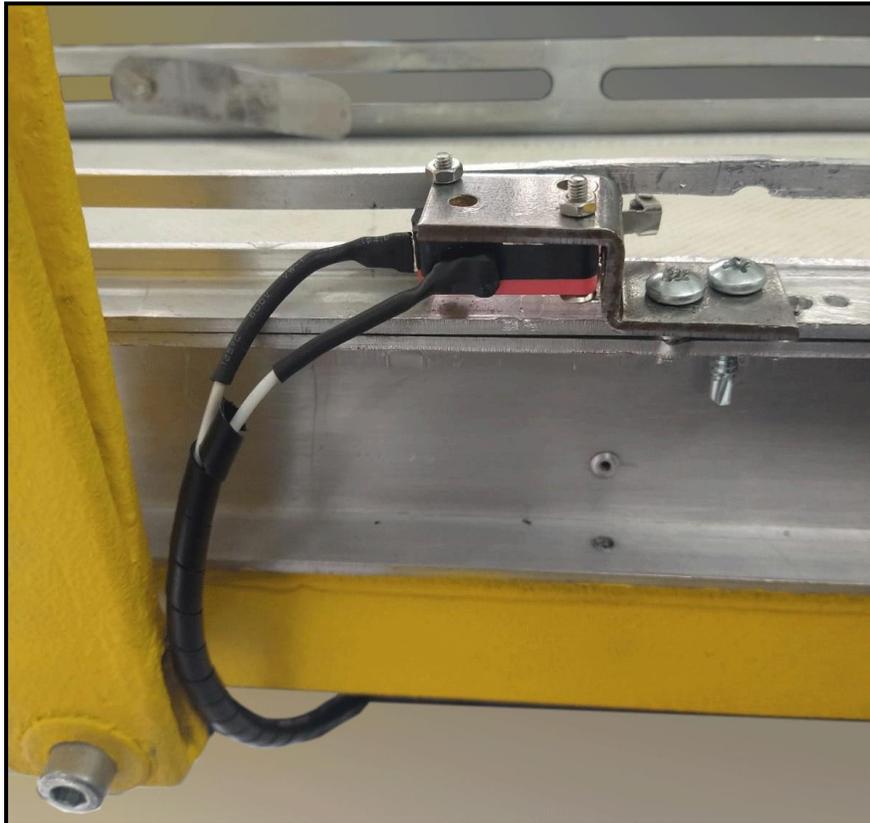
**Nota.** En la figura se observan las nuevas pinzas integradas al módulo de producto rechazado.

Luego de fabricar las pinzas 2, son acopladas al actuador N, posteriormente se vuelve a medir la posición adecuada para el final de carrera 3, obligando a rebajar una de las guialderas de la banda transportadora 2, pues debido a los parales (figura 78) el final de

carrera 3 no pudo ser ubicado de forma asertiva, presentando el inconveniente anteriormente expuesto.

**Figura 78.**

*parales de la gualdera de la banda transportadora 2.*



**Nota.** En la figura se muestra el paral rebajado de la gualdera de la banda transportadora 2 que impedía el correcto posicionamiento del final de carrera 3.

Corrigiendo el posicionamiento del final de carrera 3, culmina el proceso de intervención al segundo modo de falla, subiendo el actuador M un poco, pues las pinzas 2 en su fabricación presentaron un leve aumento en algunas dimensiones, afectando el recipiente con un fuerte impacto por parte de las pinzas nuevas en el momento de ser agarrado en la sección de la secuencia electroneumática M+, N+, M-.

El actuador M se logra subir aproximadamente 7 milímetros con ayuda de dos piezas fabricadas de retales del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América, posicionadas entre la platina M (figura 71) y el actuador M, donde pueden ser vistas en la figura 79. Esta acción alcanza una mejora notable en la eficiencia del módulo y por consiguiente en la eficiencia de la celda flexible de manufactura.

**Figura 79.**

*Platinas colocadas entre el actuador M y la platina M.*



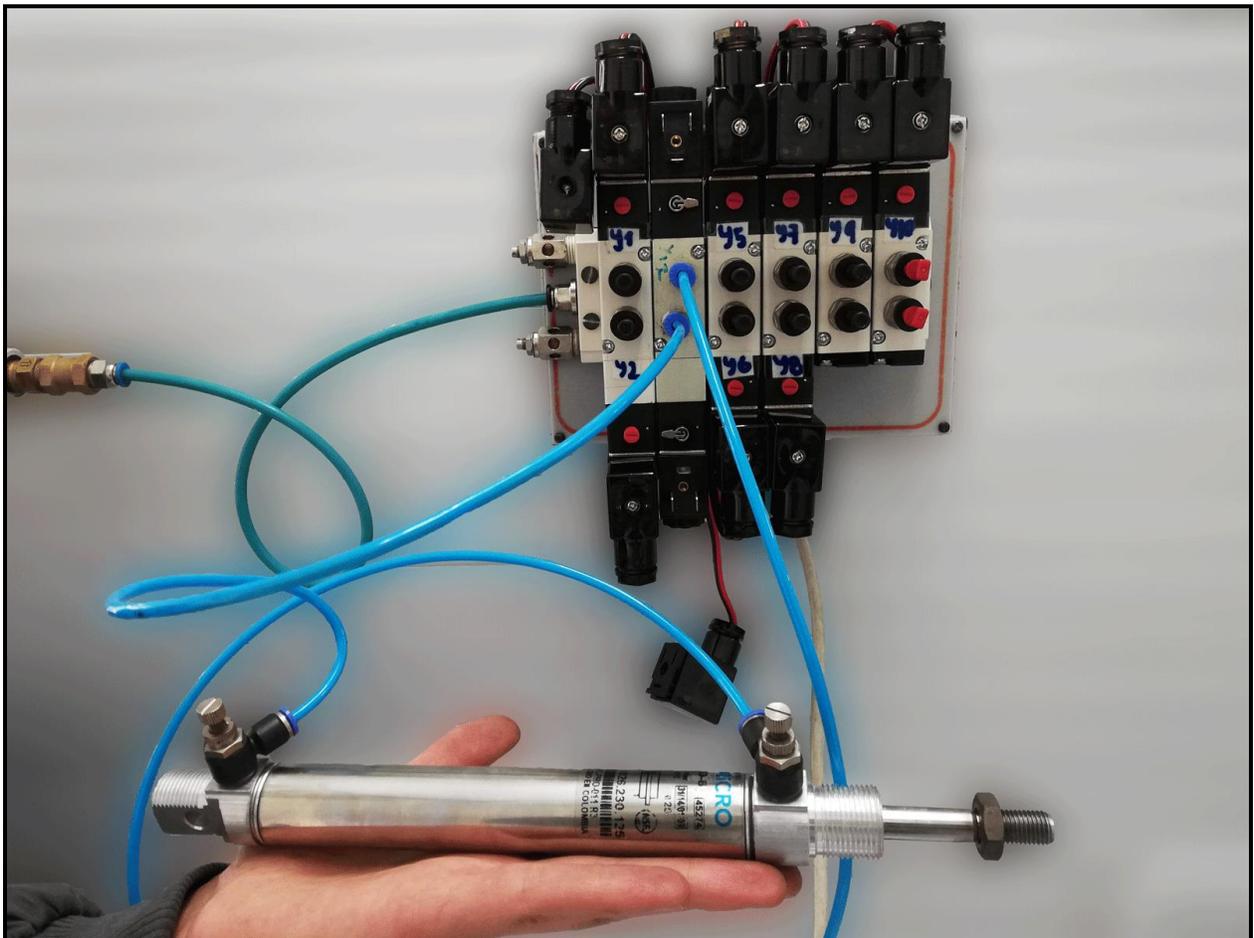
**Nota.** En la figura pueden ser apreciadas las platinas realizadas en el taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América.

4.5.3.c. Para la solución al modo de falla #3: el procedimiento para la corrección se asemeja al proceso realizado al modo de falla #1, se retira la electroválvula del actuador

M, con el fin de observar posibles fugas, después se realiza un montaje como se muestra en la figura 80, con ayuda de un cilindro neumático, mangueras neumáticas y la electroválvula del actuador M acomodada en un banco de electroválvulas del laboratorio de automatización de la Universidad de América, con el objetivo de observar el funcionamiento de esta siendo accionada manualmente.

**Figura 80.**

*Montaje de prueba para electroválvula 5/3 biestable.*



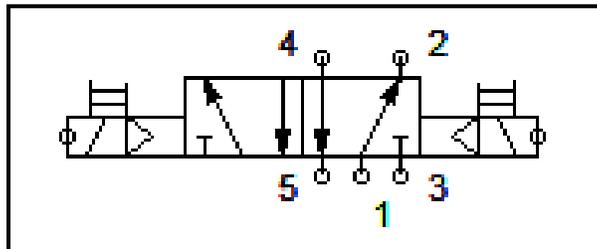
**Nota.** En la figura se muestra en montaje realizado para observar el funcionamiento de la electroválvula del actuador M.

Se determina la obsolescencia de la electroválvula en cuestión, permitiendo adoptar la determinación de reemplazarla, por consiguiente, se toma una de las válvulas del banco de electroválvulas. La electroválvula seleccionada para incorporar en el tablero

neumático (figura 8) corresponde a una 5/2 biestable (figura 81), pues debido a los movimientos que realiza el actuador M, no se argumenta utilizar una 5/3 biestable. El proceso de intervención del módulo de producto rechazado termina con la integración de la electroválvula nueva al tablero neumático, utilizando las mangueras y los racores neumáticos de la electroválvula obsoleta, quedando como se observa en la figura 82.

**Figura 81.**

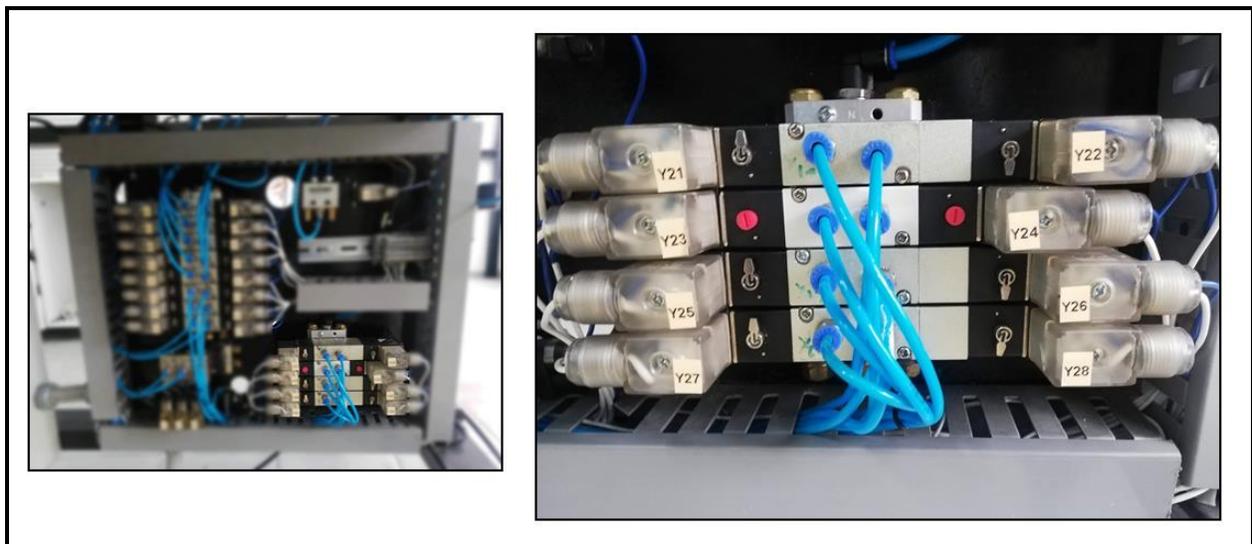
*Electroválvula 5/2 biestable.*



**Nota.** En la figura se observa la representación esquemática de una electroválvula de dos posiciones y cinco vías.

**Figura 82.**

*Electroválvula 5/2 instalada al módulo de producto rechazado.*

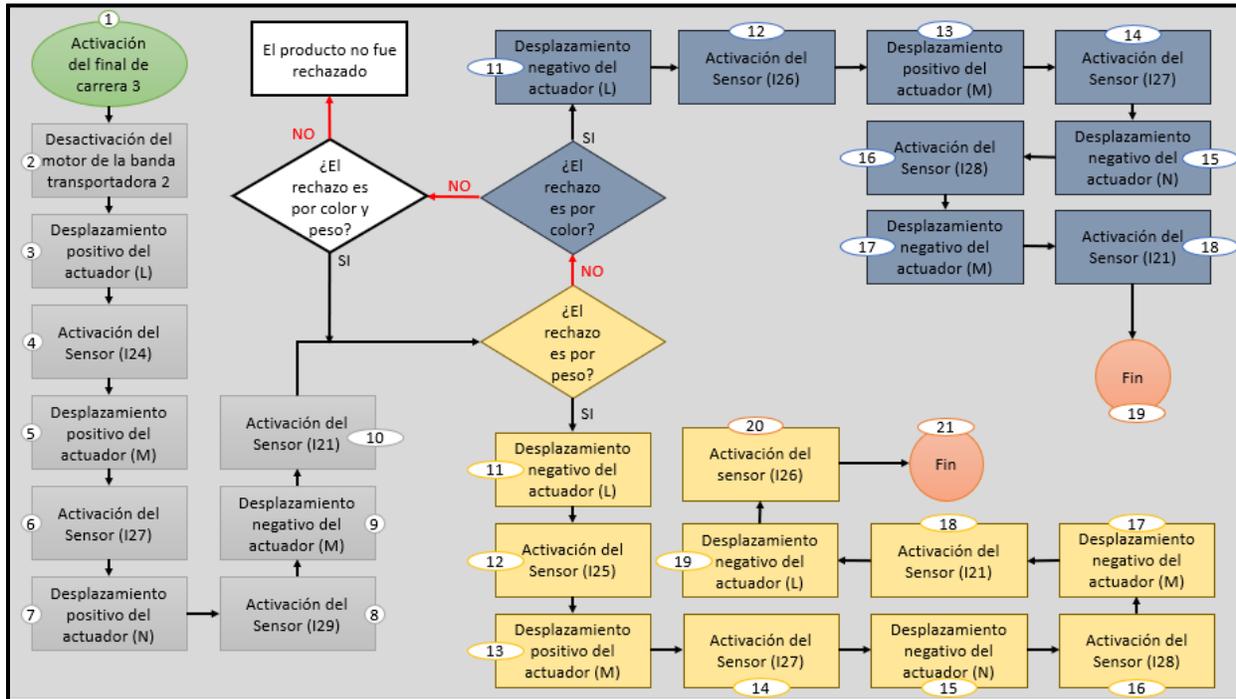


**Nota.** La figura de la derecha indica la posición de la electroválvula incorporada al proceso, mientras la figura de la izquierda muestra la ubicación del grupo de electroválvulas en el tablero neumático.

Al final del proceso de intervención, el diagrama de flujo queda como se puede observar en la figura 83.

**Figura 83.**

*Diagrama de flujo actual del módulo de producto rechazado.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases nuevas que realiza el módulo para rechazar el producto y finalizar el proceso.

#### 4.6 Módulo de distribución de productos

Al igual que el módulo anterior, este funciona gracias a las señales generadas por la tarjeta Arduino UNO (figura 58) y receptadas por el PLC, con el fin de iniciar el proceso de clasificación. Se da por entendido que, el producto terminado llega con estándares mínimos de calidad definidos en la descripción del módulo anterior.

A diferencia del anterior, los productos son dirigidos al almacén 3 (figura 85), los cuales no serán clasificados por rechazo de peso o color, si no por la tonalidad del color de la

tapa. El módulo tiene la misión de clasificar el producto terminado en dos variedades, azul o rojo.

La operación del módulo inicia si el módulo de control de calidad determina en la tapa de los recipientes, uno de los dos colores permitidos, si es rojo, el PLC pondrá a trabajar el actuador O cuando el recipiente sea detectado por el sensor capacitivo 4 (figura 86), luego de ser detectado, se da un tiempo de cinco segundos mientras el recipiente cae en el carro clasificador (figura 85). Con el recipiente posicionado en el carro, queda esperar el movimiento O+, el cual se encarga de empujar el recipiente al almacén 3, terminando el proceso de clasificación para el producto con tapa de color rojo.

En caso de que el producto lleve tapa de color azul, el proceso de clasificación es ligeramente diferente, pues cuando el recipiente es detectado por el sensor capacitivo 4 se esperan los mismo cinco segundos mientras el producto cae en el carro clasificador, posteriormente el actuador Ñ (figura 86) realiza su movimiento Ñ+, desplazando el carro clasificador a fin de posicionar el recipiente en el apartado de productos con tapa de color azul del almacén 3, entonces el actuador O efectúa O+, empujando el recipiente al almacén.

Las secuencias electroneumáticas que gobiernan el funcionamiento de este módulo son observadas en las siguientes tablas:

**Tabla 15.**

*Tapa roja.*

O+	O-
----	----

**Nota.** La tabla anterior muestra la secuencia electroneumática en caso de darse una clasificación de producto con un color de tapa roja.

**Tabla 16.**

*Tapa azul.*

N̄+	O+	O-	N̄-
-----	----	----	-----

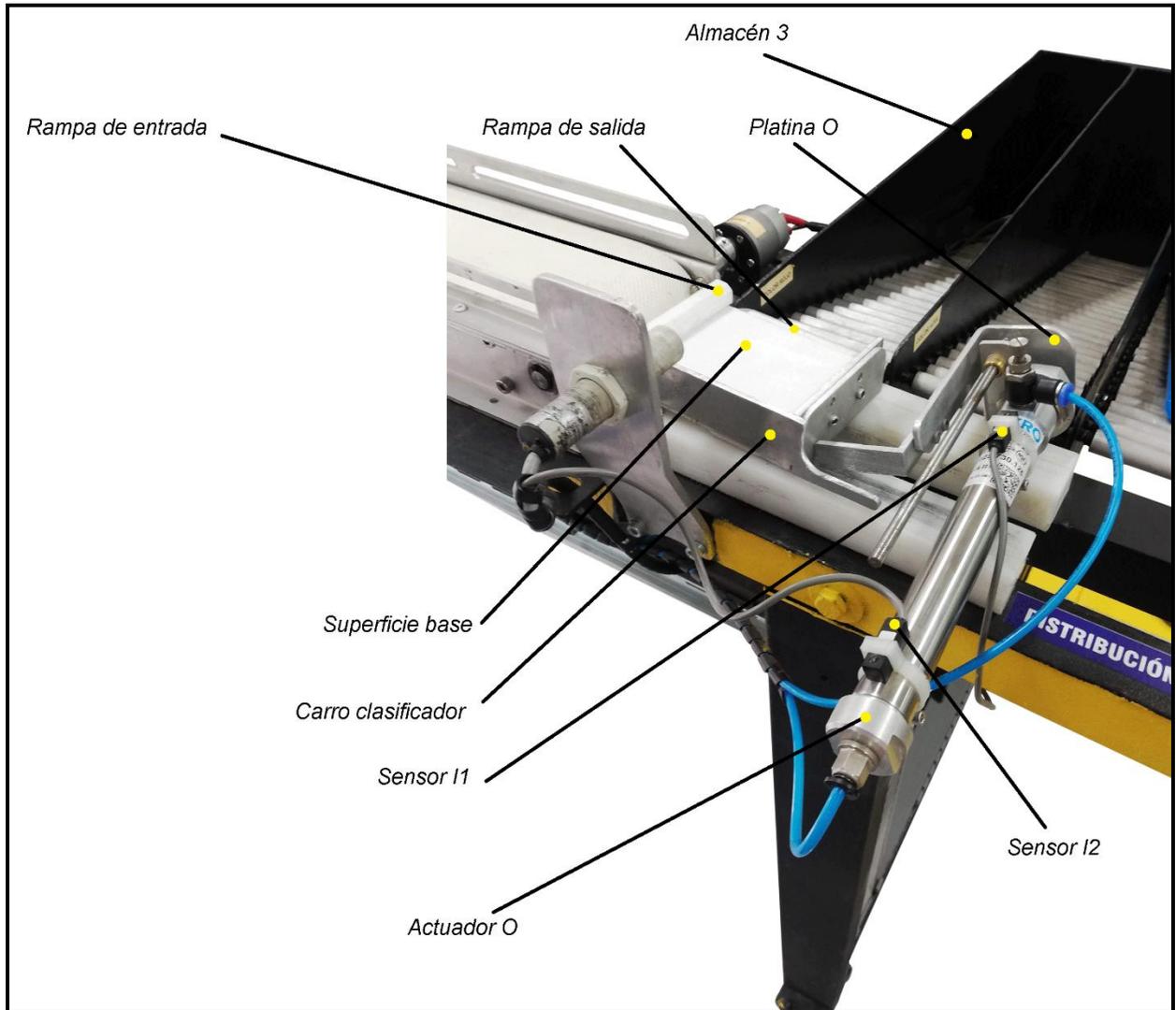
**Nota.** La tabla anterior muestra la secuencia electroneumática en caso de darse una clasificación de producto con un color de tapa azul.



Algunos de estos elementos pueden ser observados en las figuras 85 y 86.

**Figura 85.**

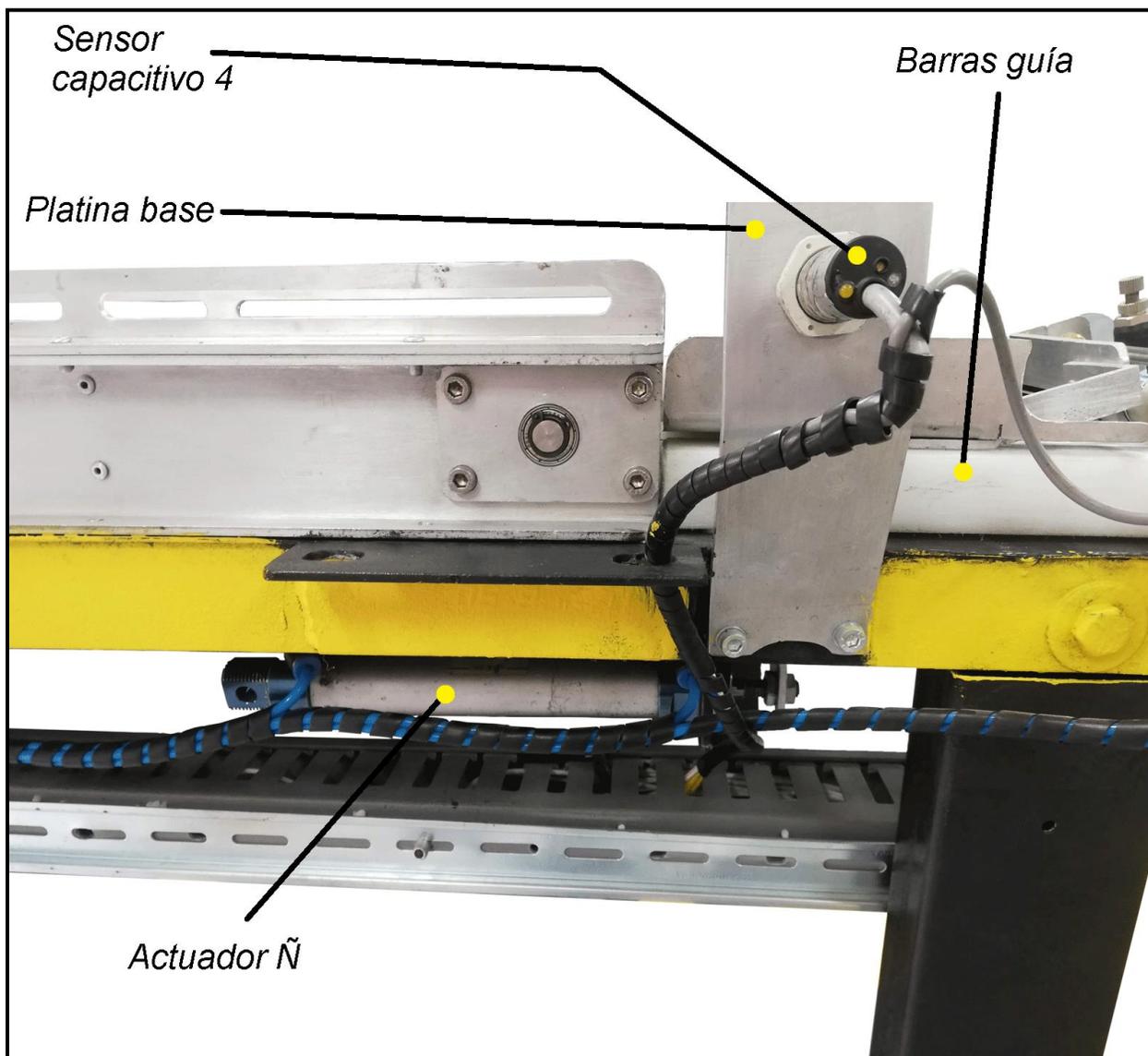
*Módulo de distribución de productos vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de distribución de productos.

**Figura 86.**

*Módulo de distribución de productos vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de distribución de productos.

## 4.6.2 Análisis detallado de fallas

Tabla 17.

Análisis detallado de fallas del módulo de distribución de productos.

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Distribución de producto	Clasificar el recipiente según sea el color de su tapa, luego de haber pasado los estándares de calidad mínimos requeridos.	No se realiza la respectiva clasificación del producto terminado en el almacén 3 (figura 85).	1. Platina O (figura 85)	Impide la existencia de una clasificación automática	La platina al presentar fractura con respecto al carro clasificador, impide el empuje del recipiente al almacén destinado a la clasificación del producto terminado.
			2. Sensor capacitivo 4 (figura 86)	Detección incorrecta del envase	El sensor no detecta asertivamente el recipiente, impidiendo el correcto funcionamiento del módulo.

**Tabla 17.** Continuación.

			3. Carro clasificador (figura 85)	El recipiente no ingresa al interior del carro	El producto terminado será imposible de clasificar si el módulo inicia su operación sin el recipiente al interior del carro clasificador.
--	--	--	-----------------------------------	--	---

**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo de distribución de productos.

Al módulo se le realizan pruebas de funcionamiento, para observar las fallas que presenta y deducir la razón de la falla funcional expuesta anteriormente en la tabla 17.

4.6.2.a. Modo de falla #1: la platina O nombrada así en este documento, inicialmente estaba contemplada en el diseño del carro dosificador, ya que, este se fabricó a partir de doblado en CNC de una platina de aluminio con un espesor de tres milímetros, pero como se expresa en la tabla 17 y, como se puede ver en la figura 85, esta platina presento ruptura debido al paso de estudiantes por el laboratorio de Automatización de la Universidad de América, pues el actuador O recibía varios impactos de diferentes estudiantes por la ubicación que le dio Ingenium [19] en el diseño planteado de la celda flexible de manufactura.

4.6.2.b. Modo de falla #2: los sensores capacitivos nombrados anteriormente se han dado por obsoletos para el proceso realizado por la celda flexible de manufactura, esto se debe a la ineficiente detección de materiales traslucidos, repercutiendo en la detección del recipiente y, por lo tanto, en la clasificación adecuada del producto terminado, pues al no detectarlo, el proceso realizado por el módulo de distribución de productos inicia en algunas ocasiones muy escasas. Este modo de falla no se diferencia de los anteriores sensores capacitivos tratados.

4.6.2.c. Modo de falla #3: es detectado cuando el recipiente finaliza su recorrido a través de la banda transportadora 2 (figura 8) para ser colocado en el carro clasificador, pues en este punto, el recipiente tendría que caer por acción de su peso al carro, pero lo que realmente sucede es que en diferentes ocasiones no cae al interior del carro, si no qué, una de las paredes del carro clasificador y la rampa de entrada (figura78) impiden el paso del recipiente al interior. La posición que presenta el recipiente al final de la banda transportadora 2 puede ser observada en la figura 87.

**Figura 87.**

*Posición del recipiente antes de ingresar al carro clasificador.*



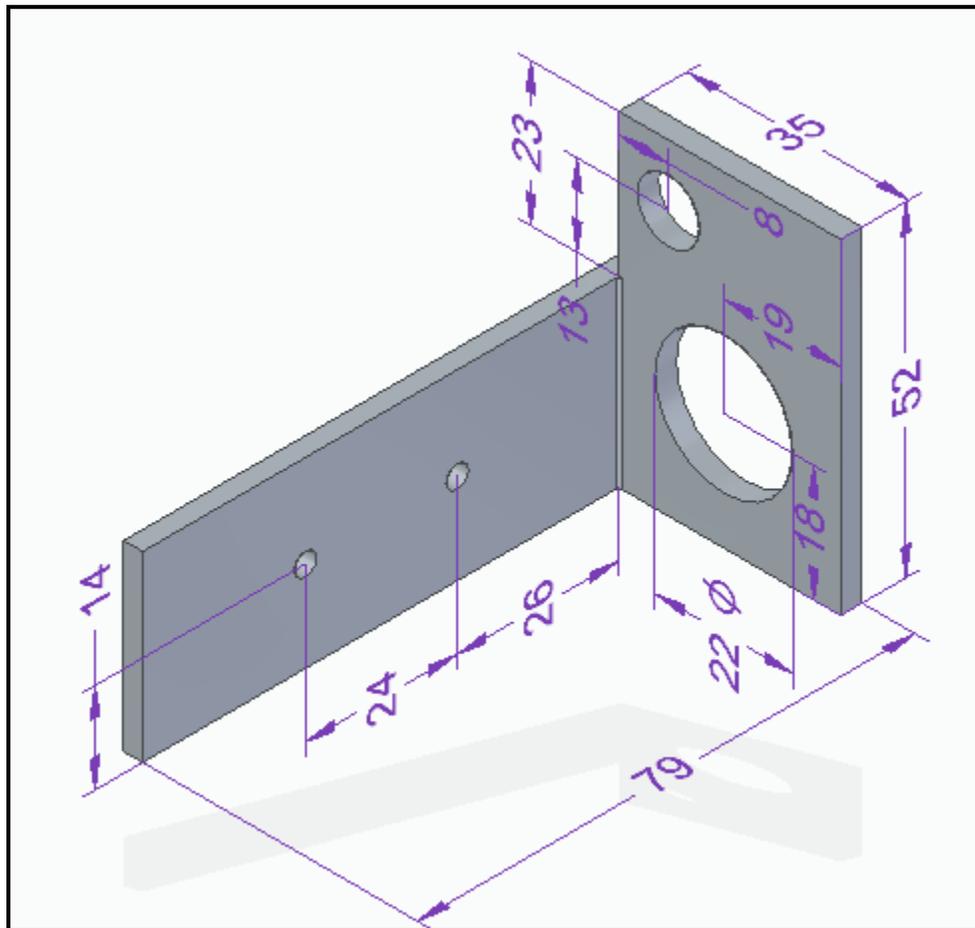
**Nota.** En la figura se puede observar la posición que presenta el recipiente antes de ingresar al carro clasificador, siendo obstaculizado por la rampa de entrada y una de las paredes del carro clasificador.

### 4.6.3 Intervención realizada para solucionar las fallas

4.6.3.a. Para la solución al modo de falla #1: es fabricada una platina con retales sacados del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América. Las dimensiones de esta platina, llamada en este documento platina O, son observadas en la figura 88, con el fin de darle solución a la falla presentada gracias a la fractura que presenta este elemento.

**Figura 88.**

*Platina O.*

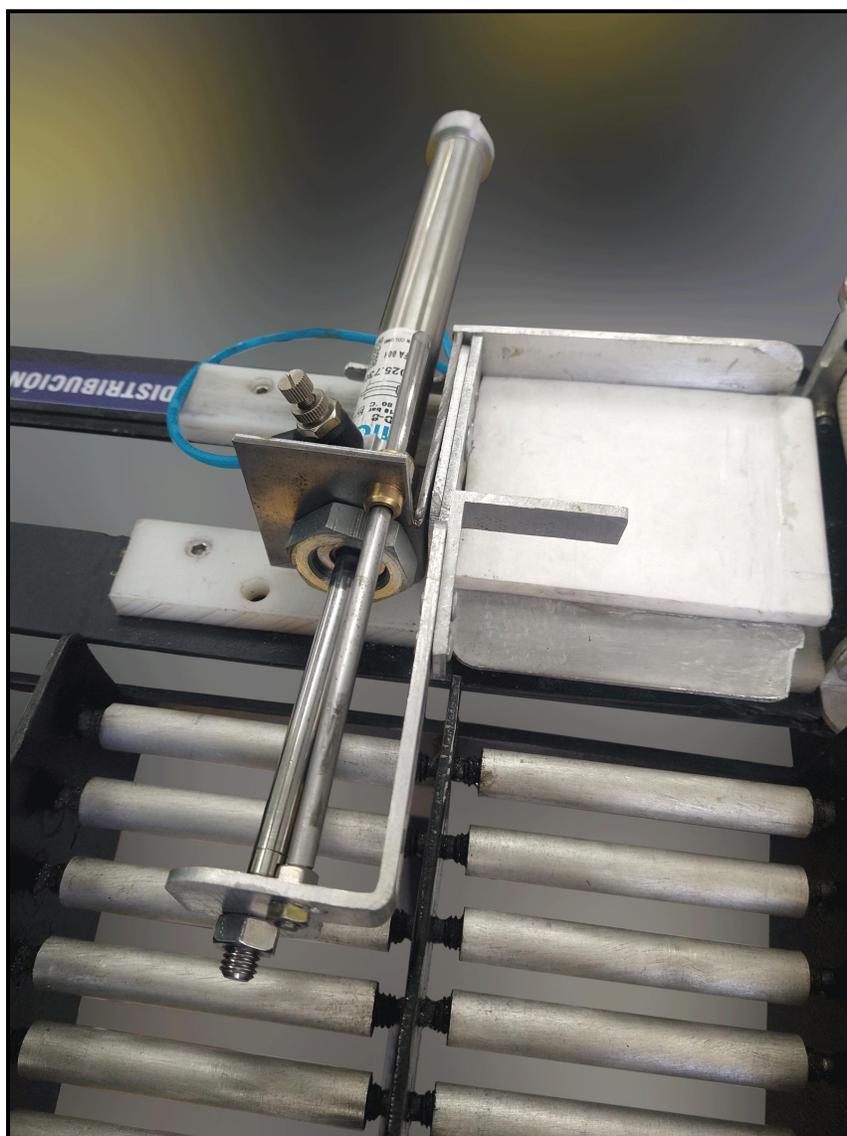


**Nota.** En la figura se ven las dimensiones en milímetros de la platina O fabricada en acero hot roll A36 con un espesor de 1/8 in. Las dimensiones de los agujeros no especificados corresponden a 10 milímetros y dos de 4,5 milímetros.

Luego de la fabricación, se procede a la integración de la platina O al módulo de distribución de productos (figura 89), así que, se desmonta el carro clasificador del actuador O y con ayuda de dos tornillos autoperforantes, es unida la platina O al carro clasificador, después se realiza el acople del actuador O con su correspondiente varilla guía, corrigiendo el modo de falla presentado.

**Figura 89.**

*Platina O integrada al módulo.*



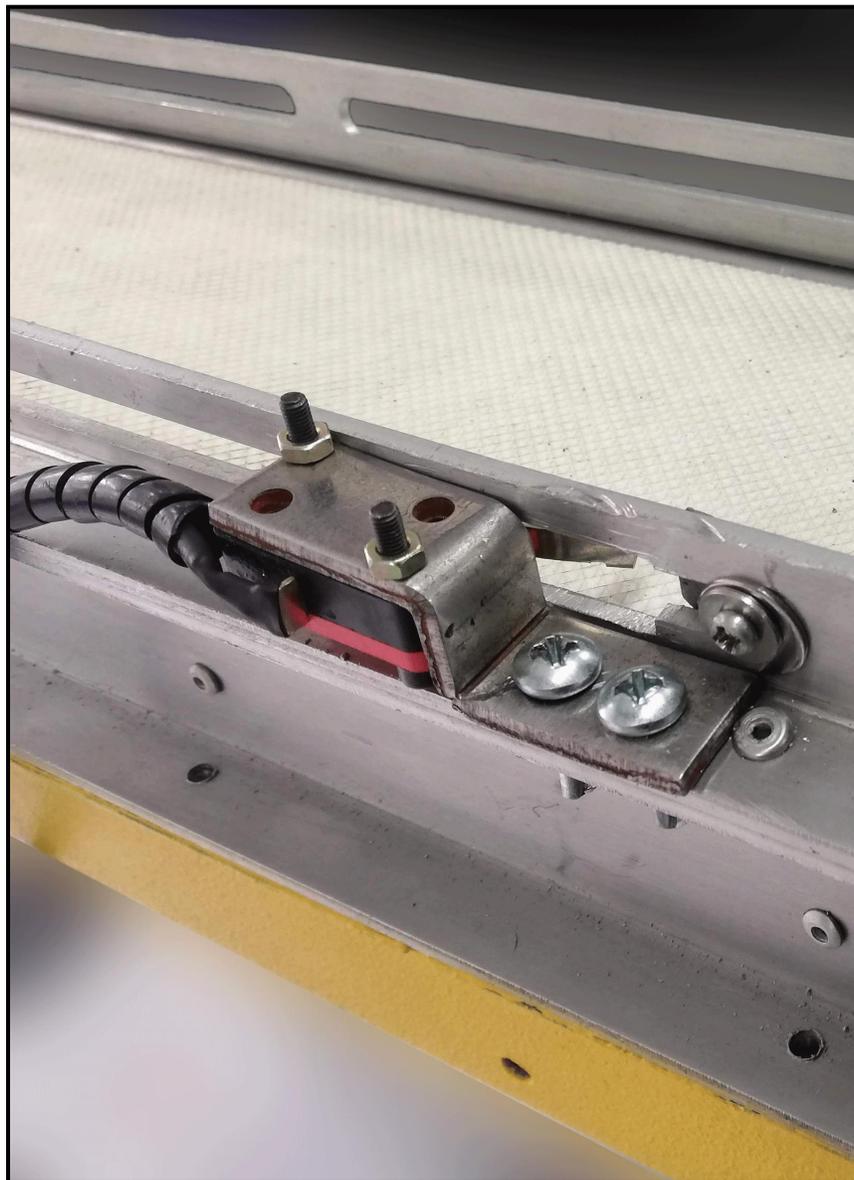
**Nota.** En la figura se puede observar el posicionamiento de la platina O en el carro clasificador.

4.6.3.b. Para la solución al modo de falla #2: el procedimiento realizado para la corrección al modo de falla, se da de la misma manera como se ha trabajado a lo largo de este documento. Inicia con el desmonte del sensor capacitivo 4 con su respectiva platina base (figura 86), posteriormente se calibra la posición del nuevo final de carrera 4, nombrado así en este documento.

El final de carrera 4 se junta con la platina sobrante de las fabricadas en la figura 45, para unir este conjunto a una de las gualderas de la banda transportadora 2 utilizando dos tornillos autoperforantes, luego se rebaja el agujero de la gualdera por donde ingresara la palanca y el rodillo de este, con el fin de evitar el inconveniente presentado en el módulo de tapado y su modo de falla #2. La posición del final de carrera 4 en la gualdera de la banda es mostrada en la figura 90.

**Figura 90.**

*Final de carrera 4 ensamblado.*



**Nota.** En la figura se muestra la ubicación del final de carrera 4 a lo largo de la gualdera de la banda transportadora 2.

4.6.3.c. Para la solución al modo de falla #3: inicialmente se opta por retirar la rampa de entrada, rampa de salida y la superficie base del carro clasificador, las tres piezas mostradas en la figura 85, buscando una caída libre de mayor altura del recipiente con respecto al interior del carro clasificador, pero luego de realizar pruebas de

funcionamiento con el módulo, generó posiciones indeseadas del producto terminado dentro del carro, provocando en varias ocasiones el volcamiento del recipiente.

En vista de que la acción tomada no presento resultados oportunos, se vuelve a poner la superficie base en el carro clasificador con ayuda de resina epóxica, sin antes pulir la plataforma del carro clasificador. No son colocadas las rampas de entrada y salida buscando de igual manera, una caída libre más generosa.

Para que exista una caída pulida se busca minimizar la fricción existente entre la base del recipiente y la banda, así que, se incorpora una varilla que actúe como un rodillo, permitiéndole al recipiente bajar y caer de manera apacible dentro del carro clasificador, como se observa en la figura 91.

**Figura 91.**

*Rodillo incorporado a la banda transportadora 2.*



**Nota.** En la figura se observa el rodillo fabricado con retales del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América. Tiene 4 milímetros de diámetro y es incorporado en la banda transportadora 2.

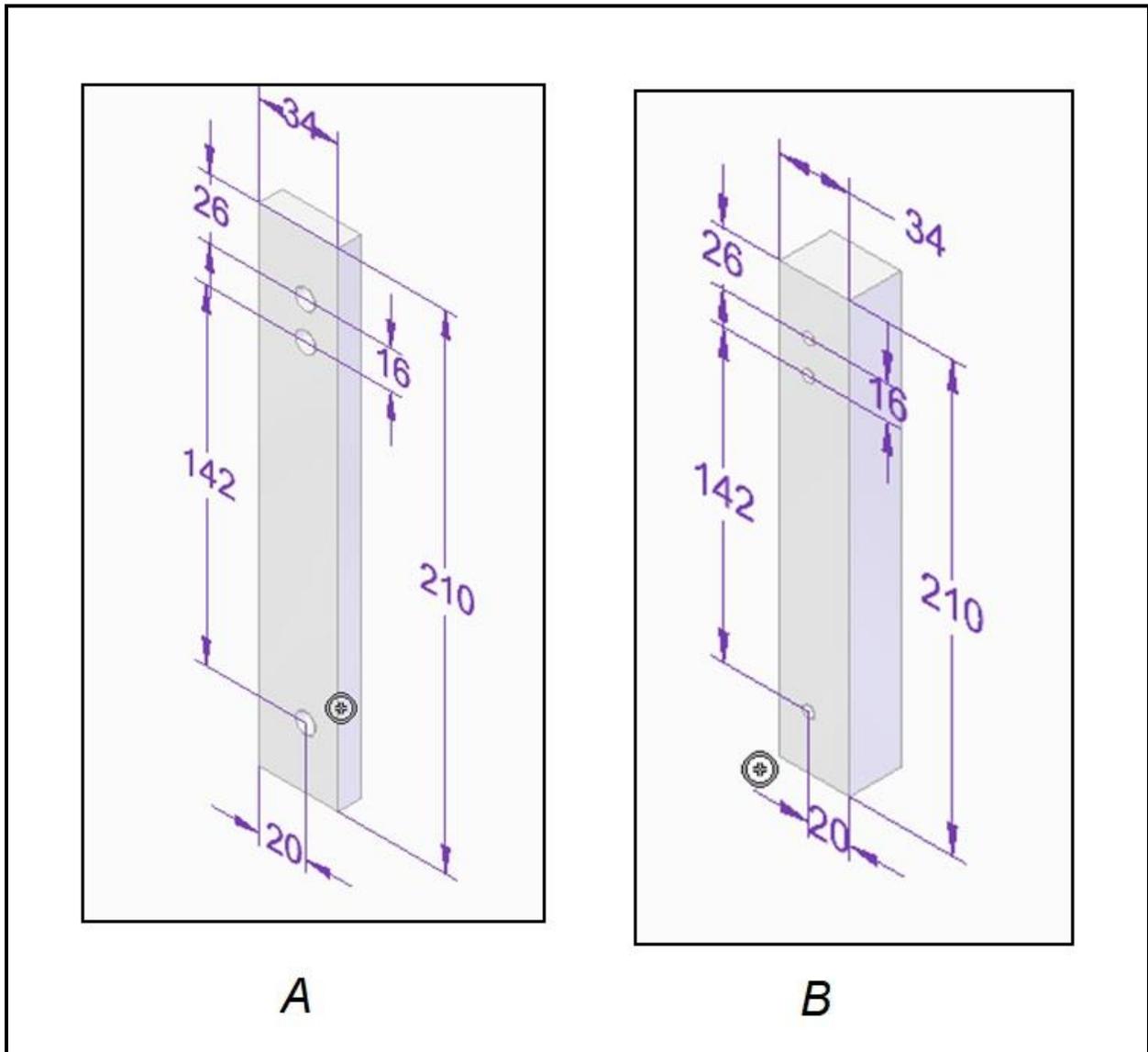
Al momento de realizar pruebas de funcionamiento para verificar el comportamiento de las acciones correctivas propuestas anteriormente, se determina un incremento en la eficiencia del módulo, pero no evitando la falla del todo, pues en algunas ocasiones el recipiente no ingresa asertivamente al interior del carro clasificador.

Se toma la decisión de bajar el carro clasificador 15 milímetros, retomando la idea inicial en la incrementación de la altura de caída libre experimentada por el recipiente, pues con ayuda del rodillo integrado al proceso, también se corrige el direccionamiento del recipiente al ingresar en el carro clasificador.

Para lograr esto, se utiliza una de las dos barras guía vistas en la figura 86, cortándola a la mitad con apoyo de la sierra sin fin de la Universidad de América, quedando dos barras guía nuevas con dimensiones observadas en la figura 92 (A).

**Figura 92.**

*Barras guía nuevas.*



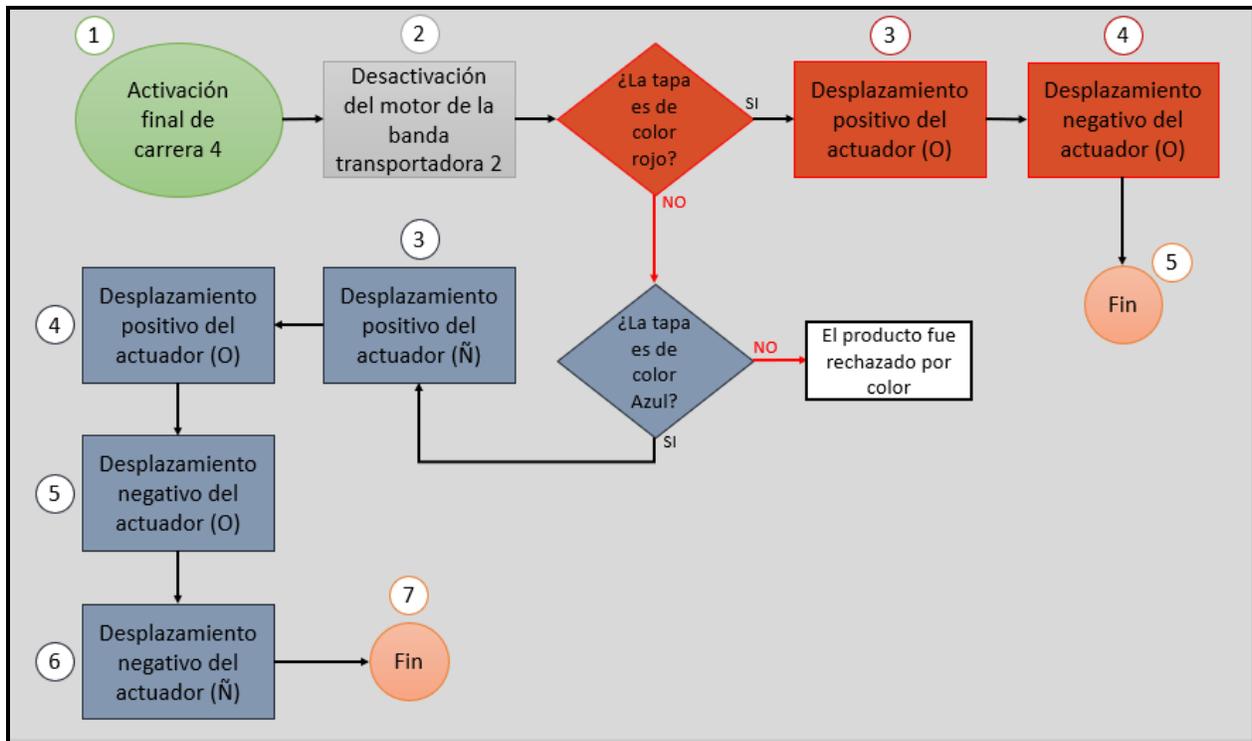
**Nota.** En la figura se observan las dimensiones en milímetros de las barras guía nuevas (A) con un espesor de 10 milímetros y las retiradas (B) con espesores de 25 milímetros

Gracias a la acción correctiva presentada anteriormente, se logra solucionar la falla presentada por el carro clasificador, desafortunadamente el sensor de posición I1 agoto su vida útil, pues este dejó de realizar la lectura del embolo luego de llevar a cabo varias pruebas de funcionamiento con el módulo. Por esta razón, se toma la decisión de retirar ambos sensores reed (I1 e I2) y controlar la operación del actuador O por medio de temporizadores, finalizando la intervención realizada al módulo de distribución de productos.

Al final del proceso de intervención, el diagrama de flujo queda como se puede observar en la figura 93.

**Figura 93.**

*Diagrama de flujo actual del módulo de distribución de productos.*



**Nota.** En la figura se observa a detalle las fases nuevas que realiza el módulo para clasificar el producto terminado y finalizar el proceso.

#### **4.7 Módulo de bandas transportadoras**

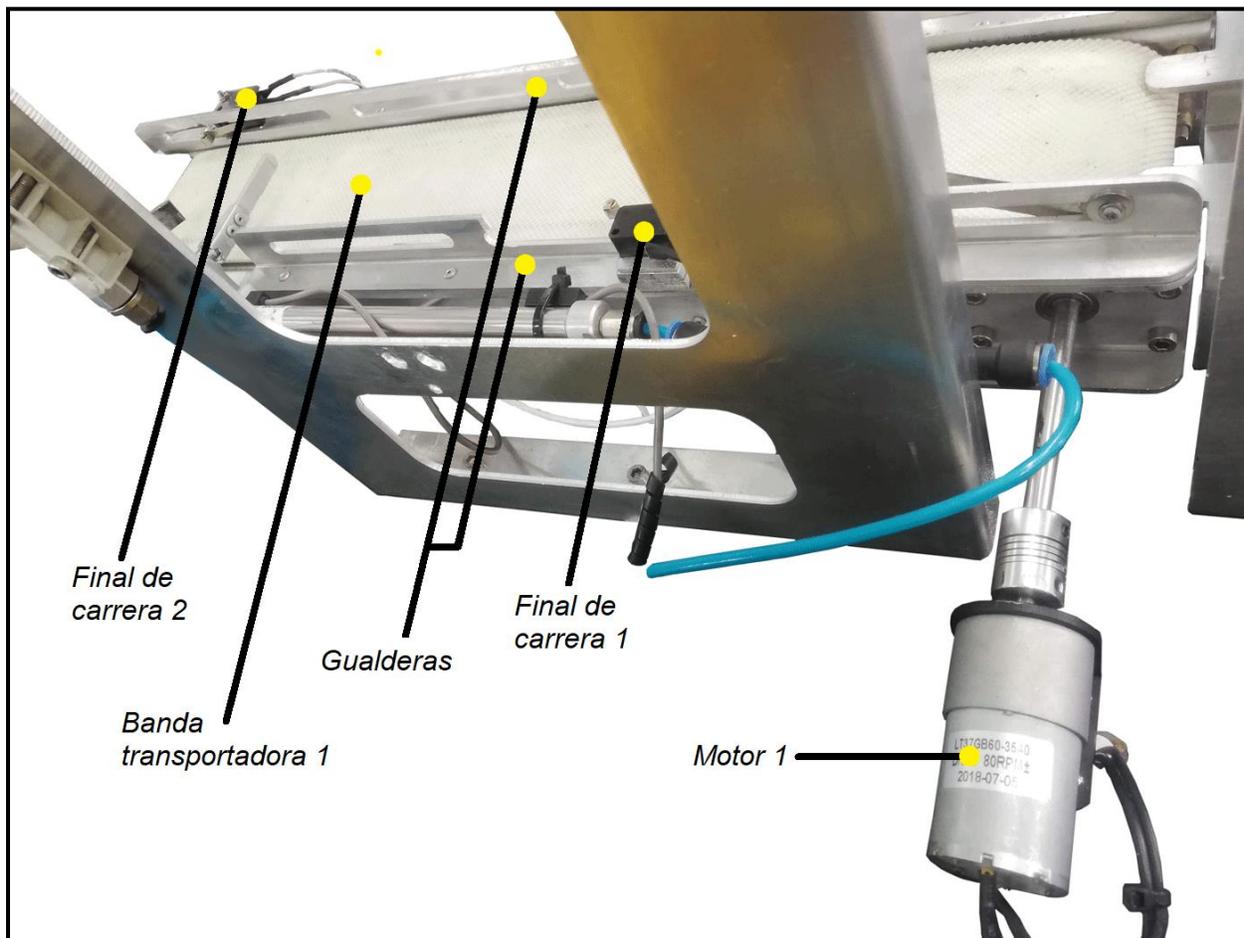
Debido a las intervenciones realizadas en los módulos anteriores, se han podido observar algunas modificaciones hechas a la banda transportadora 1 y la banda transportadora 2, pero a continuación se definirán los conceptos como su objetivo, lo que realizaban y la manera en que se corrigen las fallas presentadas.

El propósito de las bandas transportadoras es, como lo indica su nombre, transportar el recipiente a lo largo del proceso realizado por la celda flexible de manufactura, específicamente los módulos tratados anteriormente. Para lograr esto, las bandas cuentan con motores eléctricos de veinticuatro voltios (24V), los cuales impulsan las bandas por medio de un eje acoplado al eje de salida del motor.

Los sensores capacitivos 1, 2 y 3 (figuras 20, 39 y 71 respectivamente), dan paso a la desactivación de los motores eléctricos correspondientes, mientras que su activación se da por el proceso concluido de las respectivas estaciones. Existen excepciones para este comportamiento, por ejemplo, el módulo de distribución de recipientes y su sensor capacitivo 4 (figura 86), cuando este ha detectado el recipiente, debería iniciar un temporizador programado en el PLC, mientras esperaba el recorrido completo del recipiente por la banda transportadora 2 para ingresar al interior del carro clasificador (figura 85).

**Figura 94.**

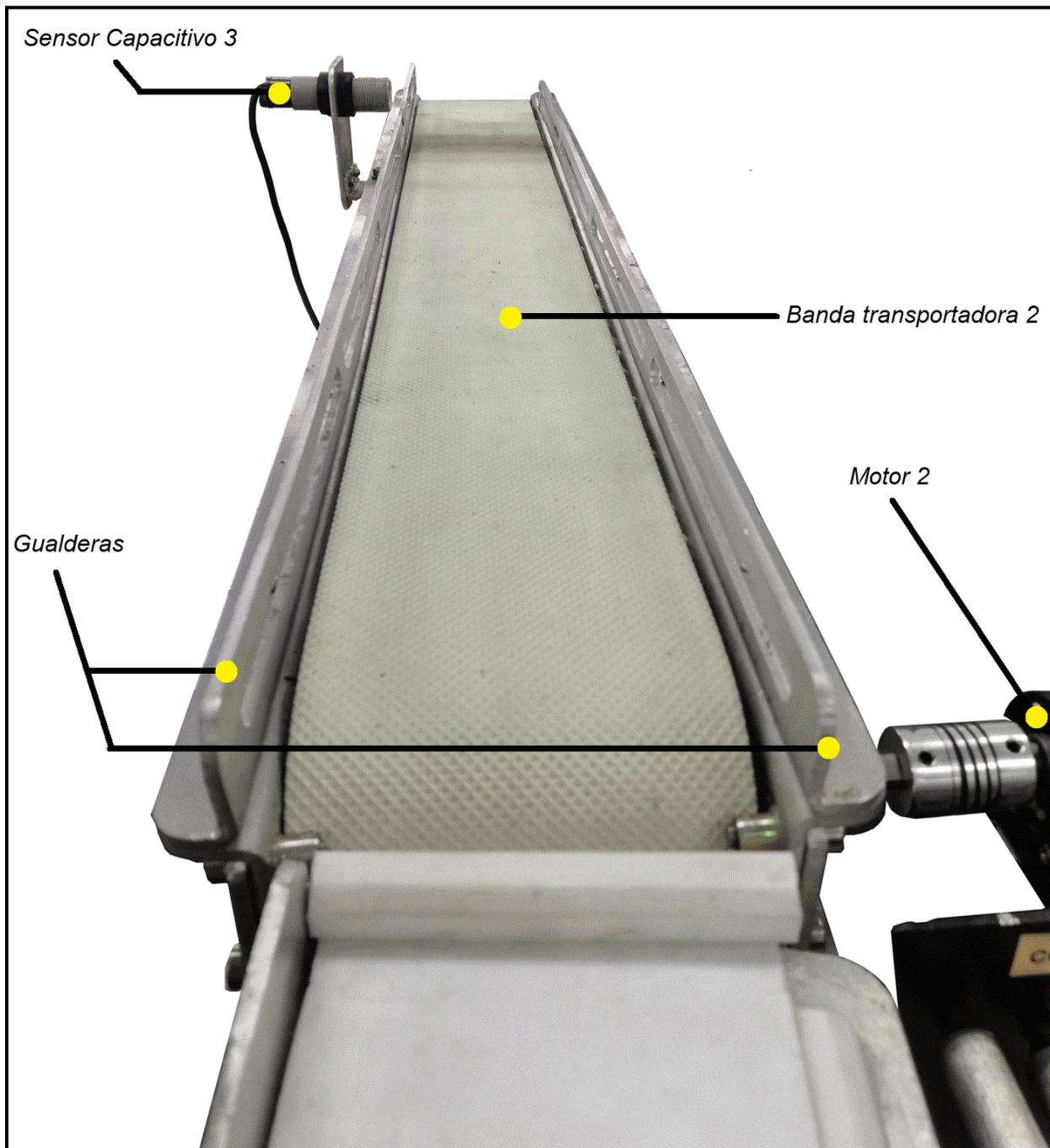
*Módulo de bandas transportadoras vista 1.*



**Nota.** En la figura se muestra la primera vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de bandas.

**Figura 95.**

*Módulo de bandas transportadoras vista 2.*



**Nota.** En la figura se muestra la segunda vista de algunos elementos cruciales para la comprensión del módulo de bandas.

#### 4.7.1 Análisis detallado de fallas

**Tabla 18.**

*Análisis detallado de fallas del módulo bandas transportadoras.*

Módulo	Función	Falla funcional	Falla potencial		
			Modo de falla	Causa	Efecto de falla
Bandas transportadoras	Transportar el recipiente y posicionarlo como lo requiera el módulo de trabajo correspondiente	Transporte ineficaz del recipiente a lo largo del proceso realizado por la celda flexible de manufactura	1. Motores (figura 94 y 95)	Paradas inesperadas	Retrasa el proceso que realiza la celda flexible de manufactura.
			2. Gualderas (figura 94)	Desacomoda el recipiente	Impide que se lleve adecuadamente el proceso de tapado.
			3. Recipiente (figura 13)	Posición indeseada	Diferentes módulos pierden eficacia en los correspondientes procesos que estén lleven a cabo.

**Nota.** En la tabla anterior se pueden observar las fallas presentes en el módulo de bandas transportadoras.

Al módulo se le realizan pruebas de funcionamiento, para observar las fallas que presenta y deducir la razón de la falla funcional expuesta anteriormente en la tabla 18

4.7.1.a. Modo de falla #1: el funcionamiento de los motores 1 y 2 (figuras 92 y 93) demostraban un esfuerzo mayor al mover la banda transportadora correspondiente, pero el motor 1 exhibía un fuerte sonido desde su interior, haciendo que, en el momento de su activación perturbara el proceso realizado por parte de la banda transportadora 1. Además, el producto de dosificación (como se habla en el módulo dosificador de

producto) al no ser el más indicado para llevar a cabo este proceso, terminaba en el interior de la banda 1 gracias a la pésima detección del sensor capacitivo 2 (figura 39), generando desgaste mecánico en los engranajes de la caja reductora del motor 1 y reduciendo la vida útil de este, al estar expuesto a una mayor resistencia por parte de la banda.

Aparte, ambos motores (figuras 92 y 93) no fueron capaces de soportar la carga exigida por la banda, repercutiendo en la velocidad entregada por ellos y en la velocidad con que se lleva a cabo el proceso realizado por la celda flexible de manufactura.

4.7.1.b. Modo de falla #2: luego de abrazar los recipientes con los amarres plásticos mostrados en la figura 16, una de las gualderas de la banda transportadora 1 interrumpía el paso del envase al módulo de tapado, pues la platina B (figura 12) al empujarlo hasta el módulo dosificador de producto y ser detectado por el final de carrera 1 (figura 11), el amarre plástico quedaba encima de la gualdera nombrada anteriormente, haciendo que el recipiente perdiera contacto con la banda y esta al ser activada no desplazara el recipiente, quedando inmóvil en el módulo dosificador de producto.

4.7.1.c. Modo de falla #3: a lo largo del recorrido realizado por el recipiente en ambas bandas transportadoras, aun se presentaban posiciones inadecuadas en algunas ocasiones, interfiriendo con el correcto funcionamiento llevado a cabo por los módulos de dosificado de producto, tapado, producto rechazado y el de distribución de productos, pues el recipiente contaba con un juego de 16 milímetros a lo ancho de las bandas transportadoras.

#### **4.7.2 Intervención realizada para solucionar las fallas**

4.7.2.a. Para la solución al modo de falla #1: como fue comentado anteriormente, se realiza una limpieza profunda de ambas bandas transportadoras, con el fin de sacar el producto incrustado internamente en ellas y observar el comportamiento de los motores expuestos a trabajo en vacío.

Posteriormente se realiza el desmonte completo de la caja reductora (figura 96) del motor 1, el cual presentaba ruidos extraños, permitiendo hallar polvillo incrustado en los dientes de los engranajes, así como se puede observar en la figura 97.

**Figura 96.**

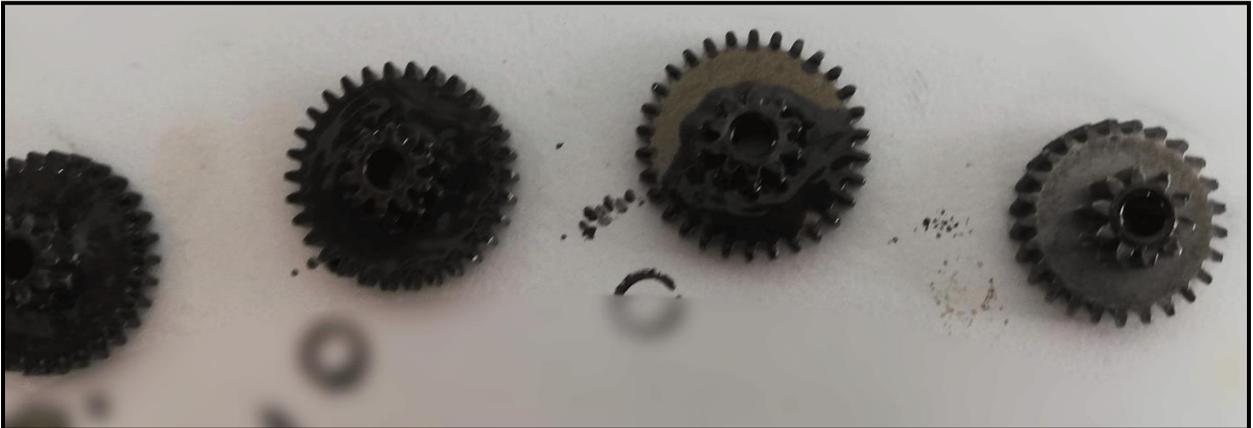
*Caja reductora del motor 1.*



**Nota.** En la figura se puede observar el estado de los engranajes de la caja reductora del motor 1.

**Figura 97.**

*Engranajes de la caja reductora.*



**Nota.** En la figura pueden se puede evidenciar el lubricante degradado, impidiendo el buen funcionamiento del motor.

Después de limpiar todos los componentes de la caja reductora, el motor es ensamblado, lubricado y colocado en su posición correspondiente, son realizadas algunas pruebas de funcionamiento, a fin de valorar el estado del motor 1, permitiendo identificar su ineficiente funcionamiento con respecto a la velocidad y fuerza requerida por la celda flexible de manufactura. Este procedimiento es efectuado al motor 2, comportándose de igual manera que el motor 1.

El modo de falla es corregido con la adquisición e integración de dos motores con caja reductora de 24V a 80 rpm con un eje de salida excéntrico. Estos motores logran transportar el recipiente a una mayor velocidad, permitiendo darles un uso a los variadores de velocidad contemplados en el diseño de Ingenium [1], pues anteriormente no se podía conseguir una variación en la velocidad de los motores, ya que, al reducir el PWM estos se apagaban, dando como resultado unos variadores de velocidad inservibles.

4.7.2.b. Para la solución al modo de falla #2: se realiza un desbaste en la zona de la gualdera de la banda transportadora 1 como se ve en la figura 98, con el fin de reducir el

grosor de la gualdera desde su parte más alta, y así, evitar el atascamiento presentado por el recipiente.

**Figura 98.**

*Gualdera rebajada de la banda transportadora 1.*

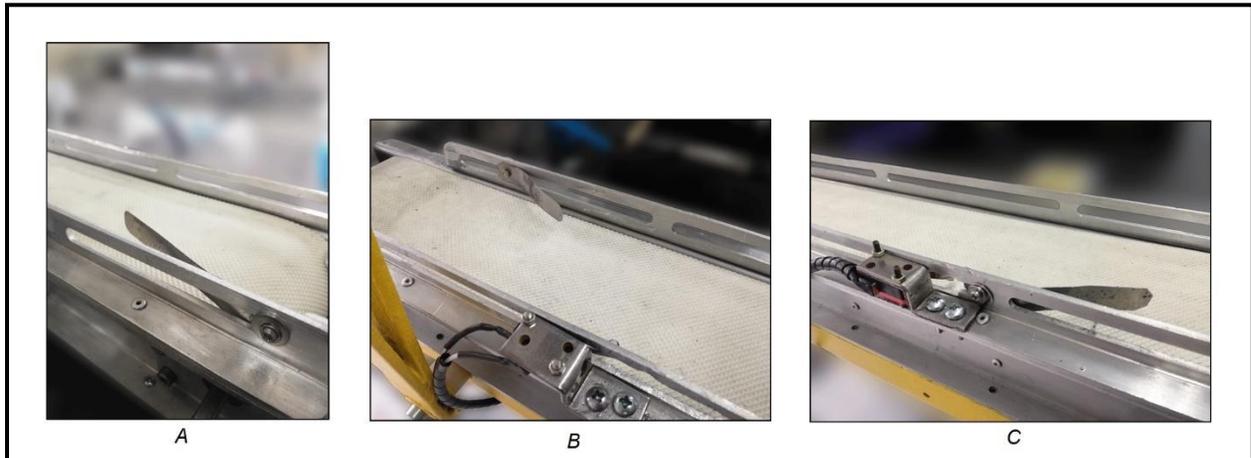


**Nota.** En la imagen se puede apreciar la manera en que se rebajó la gualdera que impedía el funcionamiento adecuado de diferentes módulos.

4.7.2.c. Para la solución al modo de falla #3: la posición adecuada del recipiente es uno de los parámetros de funcionamiento más críticos, pues es la encargada de definir el acierto del proceso realizado por los diferentes módulos, así que, se fabrican utilizan flejes de acero recuperados de retales del taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América, a fin de controlar en cierta manera la posición del recipiente a lo ancho de las bandas transportadoras.

**Figura 99.**

*Flejes acoplados.*



**Nota.** En la figura pueden ser observadas las láminas direccionadoras acopladas en las guialderas de las bandas transportadoras, donde el fleje de A corresponde a la salida del módulo dosificador de envases, B corresponde a la salida del módulo control de calidad y C corresponde a la entrada del módulo de distribución de productos.

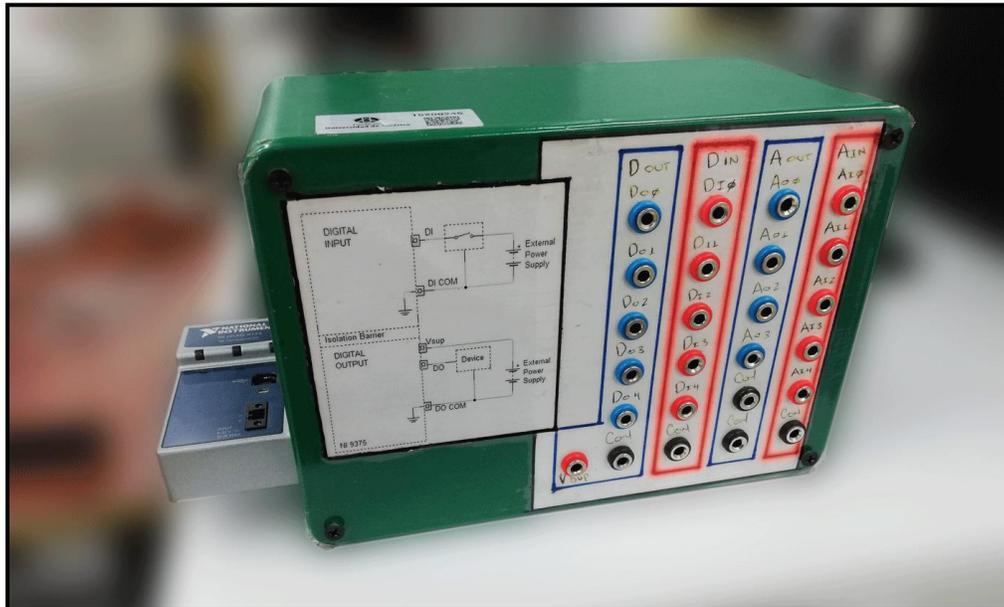
Terminadas las láminas direccionadoras necesarias para un correcto posicionamiento del recipiente a lo ancho de las bandas, estas son integradas al módulo como se puede observar en la figura 99. Esta acción correctiva permite disminuir el porcentaje de error en la posición requerida del recipiente en los módulos anteriormente descritos.

#### **4.8 Módulo DAQ**

El módulo en cuestión tendrá como objetivo principal la monitorización de los productos terminados dados por el proceso que lleva a cabo la celda flexible de manufactura, así mismo, permitirá el inicio y la detención remota de dicho proceso con ayuda de una tarjeta National Instruments cDAQ-9174 vista en la figura 100 y el software LabView.

**Figura 100.**

*National Instruments cDAQ-9174.*



**Nota.** En la figura puede ser observada la tarjeta utilizada para la actualización tecnológica de la celda flexible de manufactura.

#### **4.8.1 Intervención realizada.**

Para llevar a cabo el proceso de actualización, inicialmente es aprovechado el diseño del circuito eléctrico de la tarjeta de potencia observada en la figura 61, ya que, por medio de los contactos normalmente cerrados de los relés puestos allí y la tarjeta Arduino UNO, (figura 58) serán obtenidas las señales de AZUL, ROJO, NO COLOR, PESO NO y PESO SI. Esto se realiza con el fin de llevar un conteo de los productos terminados, pues el encargado de definir si el recipiente es clasificado en el almacén 2 (figura 71) o el almacén 3 (figura 85) y posteriormente finalizar el proceso de la celda flexible de manufactura es el módulo de control de calidad.

Para tener una manipulación asertiva y sencilla de las señales descritas anteriormente, son integrados nueve bornes a la caja donde está ubicada la tarjeta de potencia (ver figura), discriminando las señales enviadas por la tarjeta Arduino UNO necesarias para la actualización.

**Figura 101.**

*Bornes colocados en la caja de la tarjeta de potencia.*



**Nota.** En la figura se muestran los bornes colocados en la cada dónde se encuentra la tarjeta de potencia diseñada en el módulo de control de calidad.

Como se expuso anteriormente, el módulo en cuestión podrá operar de forma remota el inicio y la detención del proceso, así que, para dar alcance a lo propuesto, los bornes correspondientes a INICIO y RESET vistos en la figura 101, serán operados por medio de pulsos de 24V enviados directamente al PLC. Los bornes correspondientes a 24V y GND se obtienen de la fuente inicialmente instalada en la celda por Ingenium.

Luego de realizar las respectivas conexiones de dichos bornes, se procede con el diseño de una interfaz de usuario en el software LabView, donde la persona con interés de manipular la celda flexible de manufactura, podrá hacerlo de forma sencilla e intuitiva.

Una manipulación remota de forma simple de la celda flexible de manufactura, se da por medio de los elementos descritos en la tabla 19.

**Tabla 19.**

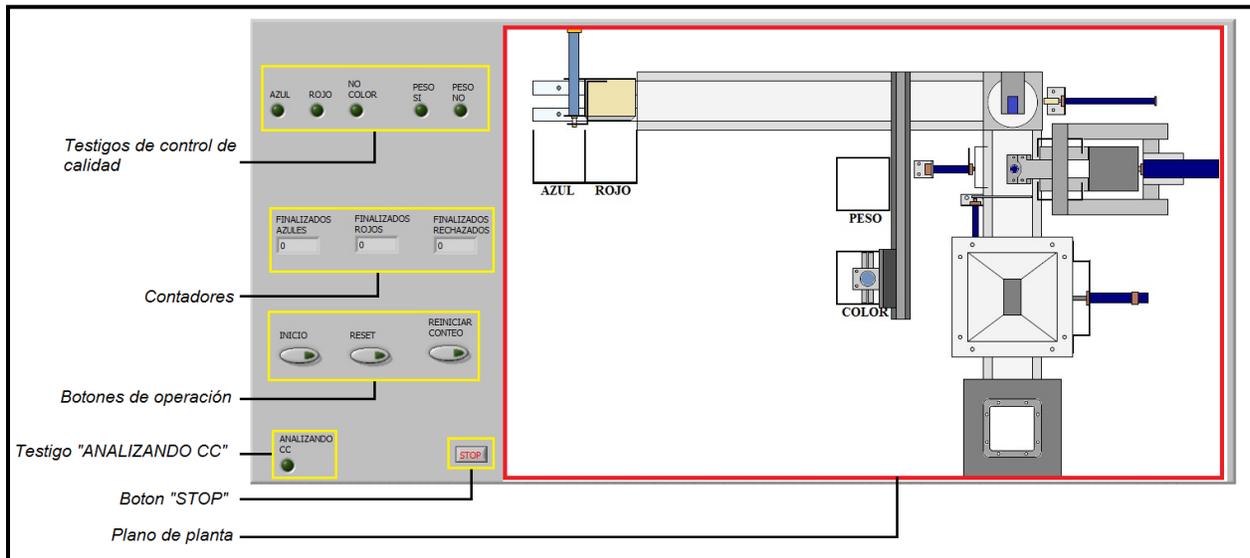
*Componentes de la interfaz de usuario.*

Componentes	Función
<b>Testigos de control de calidad</b>	Son empleados cinco testigos lumínicos, con el fin de observar rápidamente las características principales del producto terminado.
<b>Contadores</b>	Son utilizados tres contadores, con el fin de verificar la cantidad de productos terminados en tiempo real, ya sea por su rechazo, color de tapa azul o color de tapa roja.
<b>Botones de operación</b>	Se utilizan tres botones (INICIO, RESET y REINICIAR CONTEO), tal como sus nombres lo indican, permiten iniciar el proceso, detenerlo llevando los diferentes actuadores a su posición inicial y el botón que vuelve en ceros los tres contadores respectivamente.
<b>Testigo “ANALIZANDO CC”</b>	Es un testigo lumínico que cumple la función de informar al usuario el momento en que se está efectuando el análisis del control de calidad.
<b>Botón “STOP”</b>	Es un botón cuyo objetivo se resume en la detención del programa “CFM_DAO” (incluido en el CD de backups (anexo C))
<b>Plano de planta</b>	Es un dibujo a escala que representa la vista superior de la celda flexible de manufactura, el cual muestra la animación del proceso, dejando ver ocasionalmente una vista lateral cuando el movimiento de los actuadores no logra ser observado desde su vista de planta.

**Nota.** Los componentes descritos en la tabla podrán ser observados en la figura 102.

**Figura 102.**

*Interfaz de usuario.*



**Nota.** En la figura se pueden observar los componentes incluidos en la interfaz de usuario.

A continuación, se da lugar a la programación en la ventana de LabView destinada para tal fin, utilizando el lenguaje de diagrama de bloques para la construcción del programa “CFM\_DAQ” (incluido en el CD de backups (anexo C)). Dada la escases en entradas digitales de la que dispone la tarjeta National Instruments cDAQ-9174, no es posible monitorear en tiempo real el proceso que realiza la animación, pues para esto se necesitaría señales de todos los sensores de posición instalados en los actuadores de la celda.

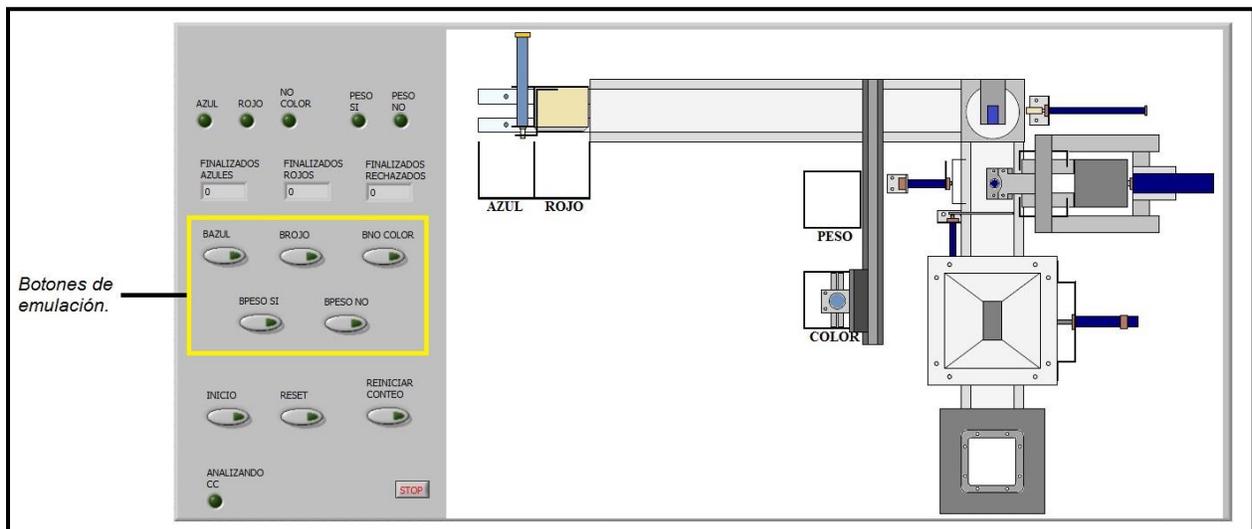
La faltan de un sensor capaz de realizar la lectura cuando el dosificado de envases finalice, repercute en la animación realizada del proceso, pues al no tener una señal que detecte la ausencia de recipientes en la jaula (figura 11), esta dará continuidad hasta el módulo de control de calidad, esperando a recibir las señales de salida por parte de la tarjeta Arduino UNO, sin embargo, a falta de un envase en la línea de producción, las señales no serán emitidas, por lo cual se deberá oprimir el botón RESET, luego reabastecer los módulos que lo requieran y presionar el botón de INICIO para reanudar el proceso.

Posteriormente se realiza la conexión entre la tarjeta National Instruments cDAQ-9174 y el módulo DAQ, la cual se muestra detalladamente en el manual de operación y mantenimiento (anexo B). Gracias a la facilidad de conexión y desconexión, el módulo ofrece gran versatilidad con respecto al montaje, ya que, no requiere la tarjeta National Instruments cDAQ-9174 acoplada a la estructura base (figura 8) de la celda flexible de manufactura, proporcionando la seguridad de ser retirada y debidamente guardada, tan pronto deje de ser utilizada.

Adicionalmente se deja entregado en el CD de backups (anexo C), una simulación del proceso que realiza la celda flexible de manufactura, donde, a diferencia del programa utilizado para el control, esta cuenta con cinco botones adicionales observados en la figura 103, con el fin de emular las señales de salida por parte de la tarjeta Arduino UNO como lo son: AZUL, ROJO, NO COLOR, PESO SI y PESO NO. Esto permite evidenciar la animación del proceso sin la necesidad de hacer uso de la tarjeta National Instruments cDAQ-9174.

**Figura 103.**

*Programa de simulación.*



**Nota.** En la figura se muestra la interfaz de usuario del programa de simulación.

Culminando el proceso de intervención, para dar alcance a la actualización tecnológica de la celda flexible de manufactura, se hace uso de la aplicación TeamViewer, disponible gratuitamente para Windows, Mac OS, iOS y Android, con el fin de manipular el programa realizado en LabView y por consiguiente la celda, a través de internet utilizando cualquiera de los sistemas operativos anteriormente mencionados.

#### 4.9 Guías de laboratorio y manual de operación y mantenimiento.

Las guías de laboratorio realizadas para las prácticas de laboratorio correspondientes a las asignaturas del programa de Ingeniería Mecánica como lo son: instrumentación y control de procesos, automatización industrial e instrumentación virtual, se encuentran en el anexo A. De igual manera, el manual de operación y mantenimiento será encontrado en el anexo B.

#### 4.10 Análisis financiero

El objetivo de este capítulo es evaluar la inversión necesaria para llevar a cabo la optimización la celda flexible de manufactura didáctica de la Fundación Universidad de América, estos costos involucran costos de ingeniera, materiales y fungibles, Las tablas 20 a 23 muestran al detalle estos costos. Sin embargo, es importante resaltar que en estos no se tomaron en cuenta los costos de software que se incluyen en los costos generales de ingeniera dado que la universidad cuenta con las licencias de Siemens Solid Edge, National Instruments LabView, Microsoft Office y Festo FluidSim.

**Tabla 20.**

*Costos de ingeniería*

Ítem	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Total
Ingeniero 1	Horas	\$11.233	640	\$7.189.120
Ingeniero 2	horas	\$11.233	640	\$7.189.120
Total				\$14.378.240

**Nota.** En la tabla se muestran las horas trabajadas y su costo total

**Tabla 21.** Costos de materiales.

Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Tapa acrílica con corte laser	\$12.000	1	\$12.000
Display LCD 16x2	\$8.000	1	\$8.000
Resistencia eléctrica ½W	\$100	10	\$1000
Transistor TIP122	\$2.500	5	\$12.500
Jack Plug 5V	\$2.600	1	\$2.600
Diodo emisor de luz (LED)	\$200	5	\$1.000
Relé 24V	\$2.000	6	\$12.000
Final de carrera	\$2.500	4	\$10.000
Motor 24V con caja reductora 60RPM	\$192.000	2	\$384.000
Racor neumático	\$3.500	4	\$14.000
Regleta hembra	\$1.500	1	\$1.500
Placa de circuito impreso	\$25.000	1	\$25.000
Diodo zener	\$300	5	\$1.500
Módulo LM2596	\$8.000	1	\$8.000
Electroválvula 5/2	\$73.800	1	\$73.800
Unidad de mantenimiento con lubricador	\$153.300	1	\$153.300
Cilindro neumático	\$252.300	1	\$252.300
Tarjeta Arduino UNO	\$32.000	1	\$32.000
Sensor ultrasónico HC-SR04	\$8.000	1	\$8.000
tornillería	-	-	\$38.700

**Tabla 21.** Continuación.

Kit cables jumper x40	\$7.000	4	\$7.000
cable	\$400	32	\$16.000
pulsador	\$250	4	\$1.000
Esferas de vidrio x100	\$3.800	13	\$49.400
Lamina de acrílico negro	\$12.000	1	\$12.000
Lámina metálica reciclada	-	-	\$27.000
Varilla de acero	-	-	\$8.000
Total			\$1.171.600

**Nota.** En la tabla se muestran los correspondientes costos de los materiales utilizados en el proyecto.

**Tabla 22.**

*Costos de fungibles.*

Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Pasta para soldar	\$10.000	1	\$10.000
Cinta aislante	\$1.500	1	\$1.500
Termo-encogible	\$400	20	\$8.000
Soldadura de estaño	\$5.000	3	\$15.000
Kit de lijas	\$16.500	1	\$16.500
Resina epóxica	\$9.000	1	\$9.000
Resma de papel	\$10.000	1	\$10.000
Lubricante SAE para sistemas neumáticos	\$123.000/litro	1 litro	\$123.000
Kit de tintas para impresora	\$59.000	1	\$59.000
Cloruro de metileno	\$5.000	1	\$5.000

**Tabla 22.** Continuación.

Total	\$257.000
-------	-----------

**Nota.** En la tabla se muestran los costos correspondientes a fungibles utilizados en el proyecto.

**Tabla 23.**

*Costos totales.*

Costos de ingeniería	\$14.378.240
Costos de materiales	\$1.171.600
Costos de fungibles	\$257.000
Total	\$15.806.840

**Nota.** En la tabla se muestra el costo total del proyecto.

Teniendo en cuenta que este equipo es de carácter académico, siendo utilizado principalmente en prácticas de laboratorio de los programas de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecatrónica, no se obtendrán ingresos económicos directos por la realización de este proyecto.

## 5. CONCLUSIONES

Al realizar un diagnóstico detallado a la celda flexible de manufactura, se logró evidenciar un alto nivel de deterioro, así como múltiples fallas causadas por errores de diseño y montaje de la misma, por lo cual, se determinó una eficiencia inferior al 10%.

La metodología experimental aplicada a la solución de las diferentes fallas presentadas por la celda flexible de manufactura fue acertada, ya que, se utilizaron varias soluciones teóricas a las diferentes fallas, pero al aplicarlas estas resultaban ser ineficientes, razón por la cual se hizo necesario probar diferentes soluciones experimentales hasta encontrar la más idónea.

Una vez terminadas todas la intervenciones necesarias a los diferentes módulos de la celda flexible de manufactura, se realizan 100 pruebas, las cuales arrojan los resultados mostrados en la tabla 24, donde es apreciable que la eficiencia se aumentó en más del 80%

**Tabla 24.**

*Eficiencias.*

Eficiencia por módulos						
Dosificación de recipientes	Dosificación de producto	Tapado	Control de calidad	Producto rechazado	distribución de producto	Eficiencia general.
100/100	99/100	95/100	98/100	100/100	99/100	91%

**Nota.** En la tabla se muestra en el número de aciertos modulares por cien pruebas realizadas con la celda flexible de manufactura.

La actualización implementada en la celda flexible de manufactura permitirá a los nuevos estudiantes de la Fundación Universidad de América, profundizar en los conocimientos de adquisición de señales, así como en el diseño de interfaces hombre maquina (HMI) mediante el software LabView y sus periféricos

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ingenium ingeniería y consultoría LTDA, «Manual general y mantenimiento,» INGENIUM LTDA, Bogotá D.C., (s.f).
- [2] W. Martínez Urrutia, M. Morales Granados y M. Jiménez, «Diagnóstico Celda de Manufactura,» 2020.
- [3] J. D. Fonseca Nuñez y J. A. Mora Durán, «Diseño e implementación de una celda flexible de manufactura a nivel didáctico,» Universidad de América, Bogotá D.C., 2011.
- [4] J. L. Ávila Ríos y B. J. Engativá Pardo, «Diseño e implementación de un sistema de control de calidad y almacenamiento para la celda flexible de manufactura de la Fundación Universidad de América,» Fundación Universidad de América, Bogotá D.C., 2015.
- [5] G. Basilio Sánchez, «Google Académico,» 10 09 2018. [En línea]. Available: [http://cienciorama.unam.mx/a/pdf/585\\_cienciorama.pdf](http://cienciorama.unam.mx/a/pdf/585_cienciorama.pdf). [Último acceso: 12 07 2021].
- [6] D. T. Matt, V. Modrák y H. Zsifkovits, Industry 4.0 for SMEs, Unión Europea : Palgrave macmillan, 2020.
- [7] E. Rimbau Gilabert y X. M. Triadó ilvern, «La flexibilidad laboral en la empresa,» *Capital humano: revista para la integración y desarrollo de los recursos humanos*, vol. 19, nº 197, pp. 38-48, 2006.
- [8] P&A GROUP, «tipos de procesos flexibles en las empresas: ¿cómo adaptarse al cambio?,» (s.f). [En línea]. Available: <https://blog.grupo-pya.com/tipos-procesos-flexibles-las-empresas-adaptarse-al-cambio/>. [Último acceso: 12 07 2021].
- [9] A. Rodríguez Penín, Sistemas SCADA, vol. Tercera edición, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2012.
- [10] K. Nand Jha, Handbook of Flexible Manufacturing Systems, New York: ACADEMIC PRESS, INC., 1991.

- [11] G. Lanza y S. Peters , «Springer,» Computer integrated manufacturaing, 06 jun 2019. [En línea]. Available: [https://link-springer-com.ezproxy.uamerica.edu.co/referenceworkentry/10.1007/978-3-662-53120-4\\_6676#howtocite](https://link-springer-com.ezproxy.uamerica.edu.co/referenceworkentry/10.1007/978-3-662-53120-4_6676#howtocite). [Último acceso: 15 Jul 2021].
- [12] F. Acuña, *Sistemas flexibles de manufactura (FMS)*, Latacunga: Universidad de las fuerzas armadas - ESPE, 2012.
- [13] P. Kumar, S. Singh y A. Singh, «Evolution, principles and recent trends in reconfigurable manufacturing system,» *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 3, nº 2249 – 8958, p. 1, 2013.
- [14] G. Kumar, K. Kumar y N. K. Batra , «Evolution, principles and recent trends in reconfigurable,» *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 12, nº 40, p. 2, 2019.
- [15] Universidad del país Vasco, *Sistemas de fabricación flexible*, Lejona, 2013.
- [16] N. w. Gleason, *Higher Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution*, Singapore: Palgrave macmillan, 2018.
- [17] SMC international training, «HAS-200,» 02 abr 2014. [En línea]. Available: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/172>. [Último acceso: 20 jul 2021].
- [18] R. Rivera Arias, *Diseño de contenido didáctico para la apropiación de conocimientos en automatización apoyado por la celda de manufactura flexible de la UNAD*, Palmira: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, 2018.
- [19] L. González y H. D. , *Metodología de la investigación : propuesta, anteproyecto y proyecto*, Cuarta edición ed., Ecoe ediciones, 2009.
- [20] N. mechatronics, «tutorial trasmisor de celda de carga HX711, balanza digital,» Naylamp Mechatronics SAC, 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/tbdb>. [Último acceso: 9 Marzo 2021].
- [21] A.J.M., «A.J.M. Hidráulica y Neumática,» [En línea]. Available: <https://www.ajm.es/conocenos/>. [Último acceso: 23 10 2020].
- [22] G. S. Varadan, «APPROPRIATE AUTOMATION FOR SMALL AND MEDIUM INDUSTRIES,» 1983.

- [23] P. D. Team, «Cellular Manufacturing: One-Piece Flow for Workteams,» Taylor & Francis.
- [24] M. Prada, M. Dominguez, J. Fuertes, P. Barrientos, C. Del Canto y S. Garcia , «Remote Laboratory with an Electro-pneumatic Classification Cell,» University of León, 2013.
- [25] L. D. Murillo Soto, «Diseño del programa de control para una celda de manufactura flexible didactica,» Escuela de Ingeniería Electromecánica, 2014.
- [26] J. Murillo, «Investigación de enfoque experimental,» [En línea]. Available: <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>. [Último acceso: 23 10 2020].
- [27] D. A. Castro Torres y D. S. Pantoja Farfán , «Diseño e implementación de un sistema de dosificación y transporte para la celda flexible de manufactura a nivel didáctico de la Fundación Universidad de América,» Fundación Universidad de América, Bogotá D.C, 2015.
- [28] S. C. Caraballo Beltran y O. J. Salamanca Martinez, *Diseño y fabricación de un dispositivo manipulador automatizado a nivel didáctico para almacenamiento en el laboratorio de Automatización de la Universidad de América.*, Bogotá D.C: Fundacion Universidad de América, 2012.
- [29] A. M. Ballesteros Solano y F. C. Caro Perez, «Diseño e implementación de un sistema de control de calidad automatizado por medio de visión artificial para el laboratorio de Instrumentación y Automatización de la Fundación Universidad de América,» Fundación Universidad de América , Bogotá D.C, 2012.
- [30] D. A. Alvarez Rodriguez y M. P. Chaque León , «proceso de reingeniería de la celda flexible de manufactura,» Fundación Universidad de América , Bogotá D.C, 2018.
- [31] MINDMAN, «Mindman Pneumatics,» [En línea]. Available: <https://www.mindman.com.tw/msg/AboutUs-Our-Future.html>. [Último acceso: 23 10 2020].
- [32] FESTO, «Festo Colombia: Inicio,» [En línea]. Available: [https://www.festo.com/cms/es-co\\_co/15918.htm](https://www.festo.com/cms/es-co_co/15918.htm). [Último acceso: 23 10 2020].

- [33] P. Croser, «Neumática: manual de estudio. Nivel básico,» 1991. [En línea]. Available: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/730>. [Último acceso: 07 07 2021].
- [34] Unitronics, «UNITRONICS®,» (s.f.). [En línea]. Available: <https://n9.cl/ker12>. [Último acceso: 07 07 2021].
- [35] F. Artagaveytia y J. G. Gutiérrez Zorrilla, «SENSORES CAPACITIVOS,» Eduard GL, Montevideo, 2013.
- [36] Autonics, «Serie CR,» (s.f.). [En línea]. Available: <https://n9.cl/l7o5v>. [Último acceso: 07 07 2021].
- [37] G. prede y D. Scholz, «Valvulas distribuidoras accionadas eléctricamente,» de *Electroneumática*, Denkendorf, Festo Didactic, 2009, p. 64.
- [38] RealPars, *What is the Automation Pyramid?:* (jun.11, 2018). Consultado: Julio. 13. 2021. [Video en línea]. Disponible: <https://n9.cl/q8im5>.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**  
**GUÍAS DE LABORATORIO**

Practica 1. Visilogic.

## *PRÁCTICA 1. VisiLogic*

En esta práctica se busca conocer el ambiente de programación VisiLogic mediante la generación de programas sencillos en lenguaje ladder, así como la creación de pantallas HMI que permitan el control de movimientos en sistemas neumáticos.

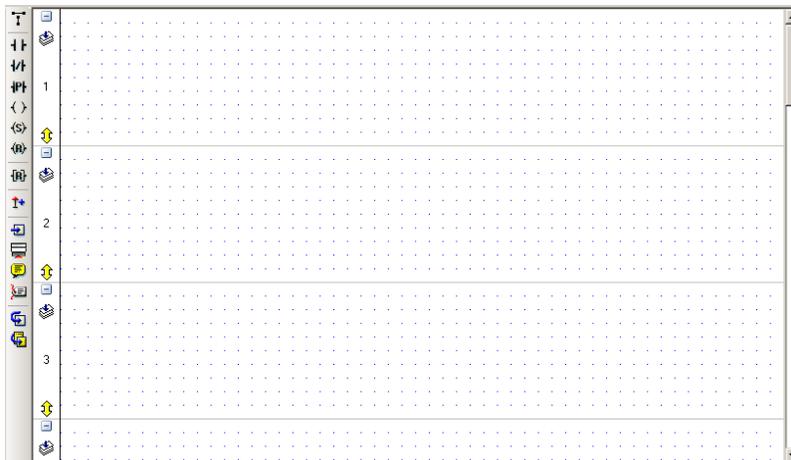
- ✓ Programación en lenguaje Ladder
- ✓ Creación de pantallas HMI

### **CRITERIO DE EVALUACION ABORDAR**

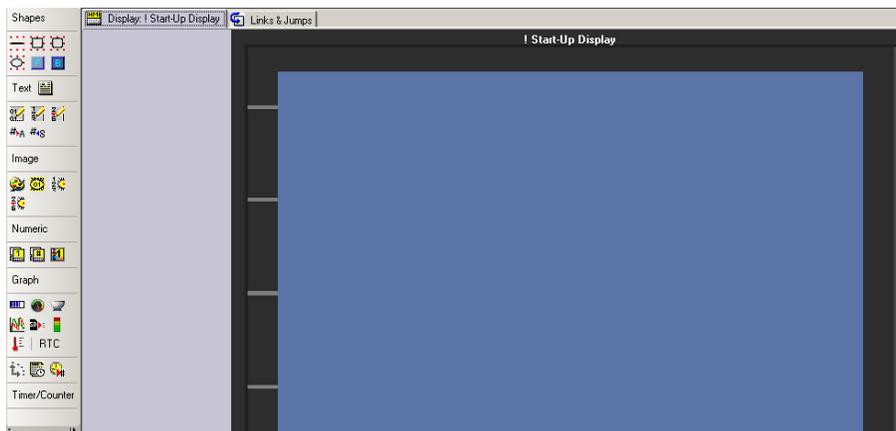
**CE 1** : reconoce las diferentes herramientas que ofrece el software VisiLogic para la programación de PLC's Unitronics.

### **SOPORTE TEÓRICO DE LA PRÁCTICA**

VisiLogic es un software desarrollado por Unitronics para la programación de sus PLC's de la series Vision y Samba. Este software brinda al usuario la capacidad de programar en lenguaje ladder y adicionalmente configurar la pantalla HMI para visualizar variables, generar gráficos, tendencias, etc existen dos ambientes principales dentro del software, uno para realizar la programación en lenguaje ladder en el cual se brindan herramientas propias de la programación ladder como son: elementos de conexión, contactos abiertos y cerrados, salidas simples, salidas de set o reset entre otros.



Por otra parte, el ambiente de HMI permite desarrollar las interfaces de usuario necesarias para cada proceso en particular. En este espacio de trabajo el software brinda herramientas graficas como son: creación de figuras geométricas, insertar cuadros de texto, insertar imágenes, insertar graficas entre otros.



Para el desarrollo de esta práctica se hace uso de un PLC Unitronics Vision570 con un módulo de E/S integrable V200-18-E62B, ESTO QUIERE DECIR QUE SE CUENTA CON 30 ENTRADAS Y 30 SALIDAS

### EQUIPOS A UTILIZAR

**PLC UNITRONICS VISION570 V200-18-E62B**



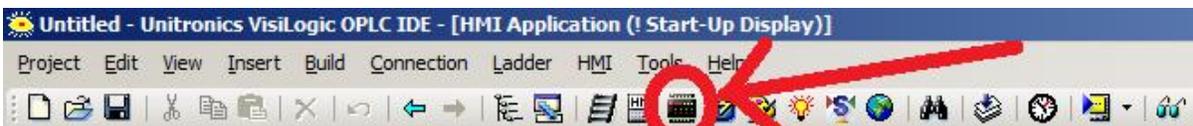
El PLC Unitronics Vision570 cuenta con una pantalla táctil de 5,7" de alta resolución para el diseño del HMI, así mismo, en este caso se hace uso de un módulo E/S integrado V200-18-E62B el cual cuenta con 30 entradas y 30 salidas digitales.

## CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA DIDACTICA

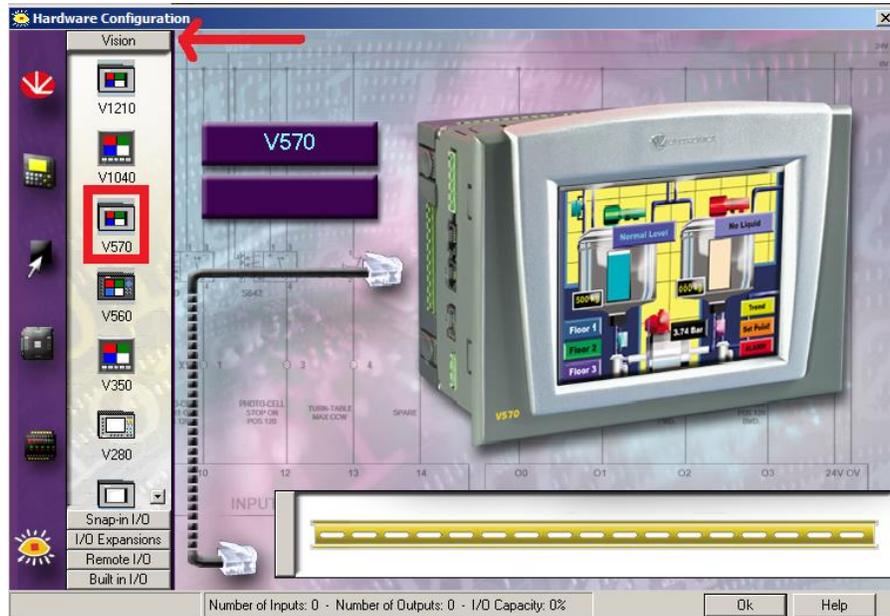


### ACTIVIDADES A REALIZAR

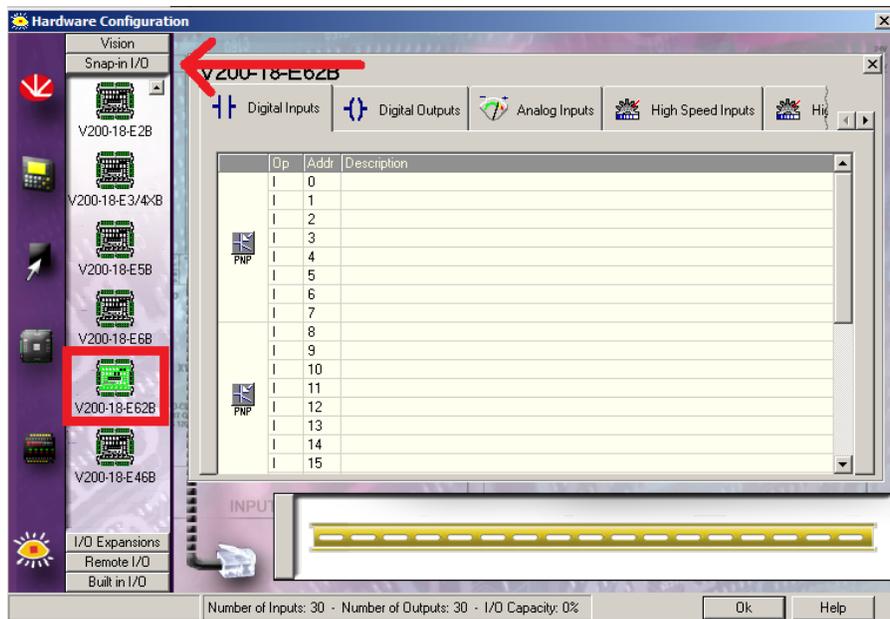
Antes de iniciar con el proceso de programación en el software VisiLogic, es necesario configurar el PLC que va a ser utilizado. Para esto, hay que dirigirse al icono "HW Configuration" ubicado en la barra de tareas.



Dentro de la ventana emergente, se debe asegurar que se encuentre desplegada la lista “Vision” ubicada en la parte izquierda para seleccionar la opción “V570”.



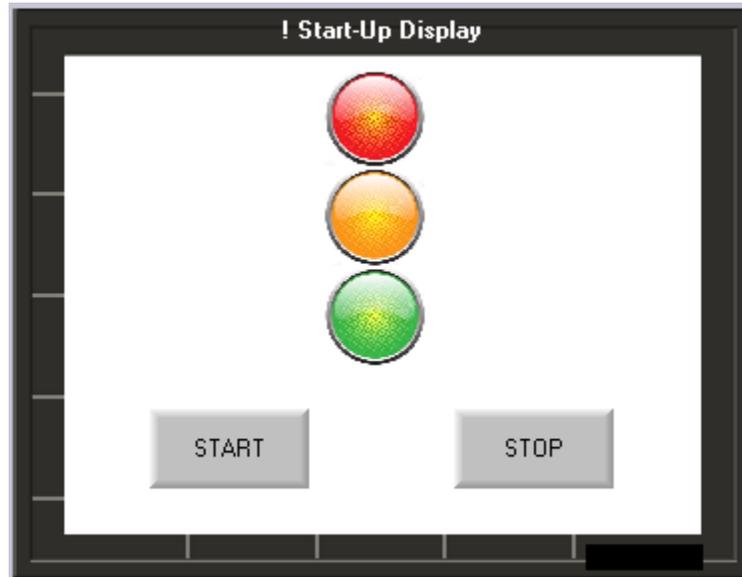
Una vez hecho esto, se debe desplegar la lista “Snap-in I/O” y en ella seleccionar la opción “V200-18-E62B”



Por último, se presiona el botón “OK” y el software ya está listo para trabajar.

**Realice las siguientes actividades:**

- Realice el diseño de un apantalla HMI donde se muestre un semáforo y dos botones, uno de inicio y uno de parada. Puede usar de referencia la siguiente imagen.



Tenga en cuenta que las imágenes deben ser cargadas desde la herramienta "Binary Image / Switch", esta herramienta le permitirá asignarle dos imágenes a una memoria, una para el valor alto y otra para el valor bajo.

- Cree un programa Ladder que permita el funcionamiento del semáforo en la pantalla HMI. Debe cumplir con la siguiente secuencia:
  - ✓ Rojo: 3 segundos
  - ✓ Rojo y amarillo: 1 segundo
  - ✓ Verde: 3 segundos
  - ✓ Amarillo: 1 segundo

Tenga en cuenta que la secuencia debe realizarse cíclicamente una vez se presione el botón de inicio y debe ser terminada inmediatamente se presione el botón de parada.

## Entregables:

1. Realice un documento en donde explique detalladamente el paso a paso que siguió para realizar la pantalla del HMI.
2. Adjunte al documento capturas de pantalla del programa Ladder que implemento para resolver el ejercicio y realice una breve explicación del mismo.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ Bustamante, J. (2016). Curso PLC y Programación: Todo Sobre PLC

## Practica 2. Programación de la celda flexible de manufactura.

# PRÁCTICA 2. PROGRAMACION CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA

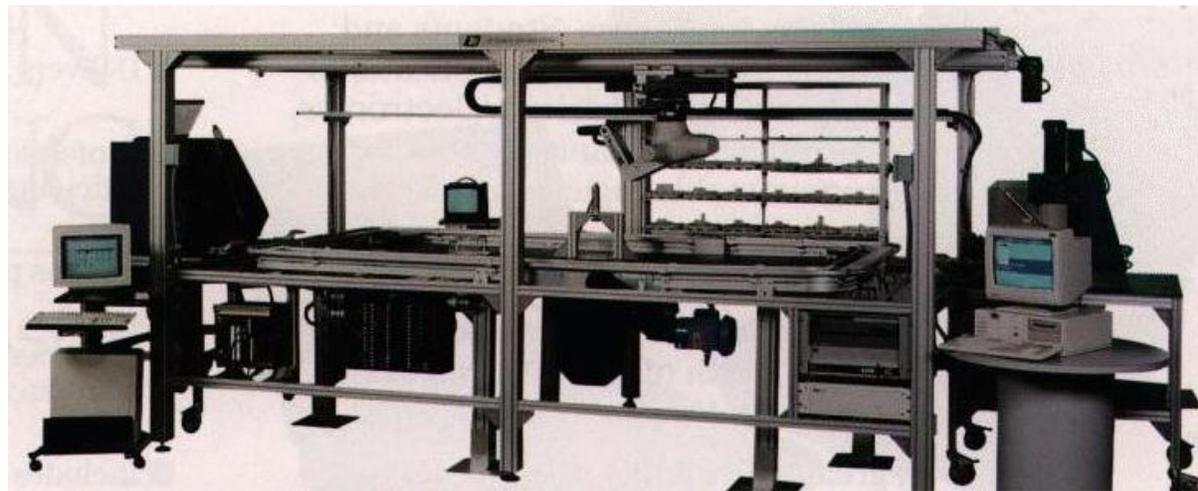
En esta práctica, el estudiante aplicara sus conocimientos de programación ladder y HMI en la intervención de un proceso real identificando la necesidad de cada módulo y creando una secuencia lógica que la satisfaga.

### CRITERIO DE EVALUACION ABORDAR

**CE 1 :** reconoce la situación problema y tiene la capacidad de crear secuencias lógicas para cada uno de los módulos de la Celda Flexible De Manufactura respetando los parámetros dados por el proceso.

### SOPORTE TEÓRICO DE LA PRÁCTICA

Una celda de manufactura es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etc. Comúnmente se dividen en diferentes equipos o mecanismos conocidos como módulos, en donde, cada uno cumple con una tarea específica dentro del proceso. Estas surgen debido a la creciente demanda del mercado y su necesidad de confiabilidad, ya que las celdas de manufactura permiten obtener altos estándares de calidad con una velocidad que para obreros humanos sería muy difícil e incluso imposible alcanzar.



Una de las desventajas más significativas en la aplicación de celdas de manufactura a procesos productivos, es que, al incorporar maquinaria de alta precisión, el costo de operación aumenta de forma importante, ya que el costo de estos equipos es elevado y requiere de personal especializado para su programación, mantenimiento y operación, así como el incremento en consumo de recursos como la energía eléctrica.

## EQUIPOS A UTILIZAR

### PLC UNITRONICS VISION570 V200-18-E62B

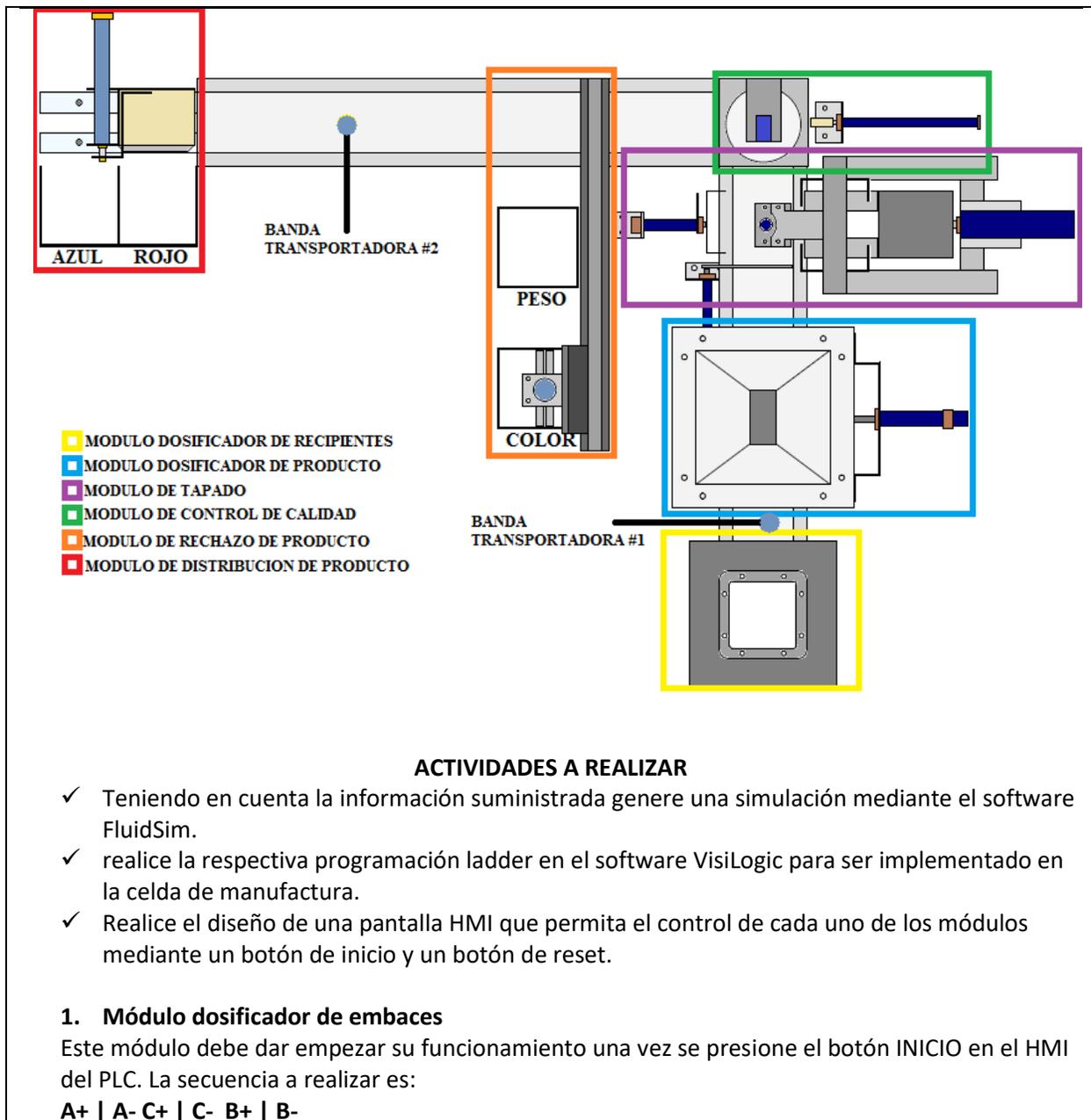


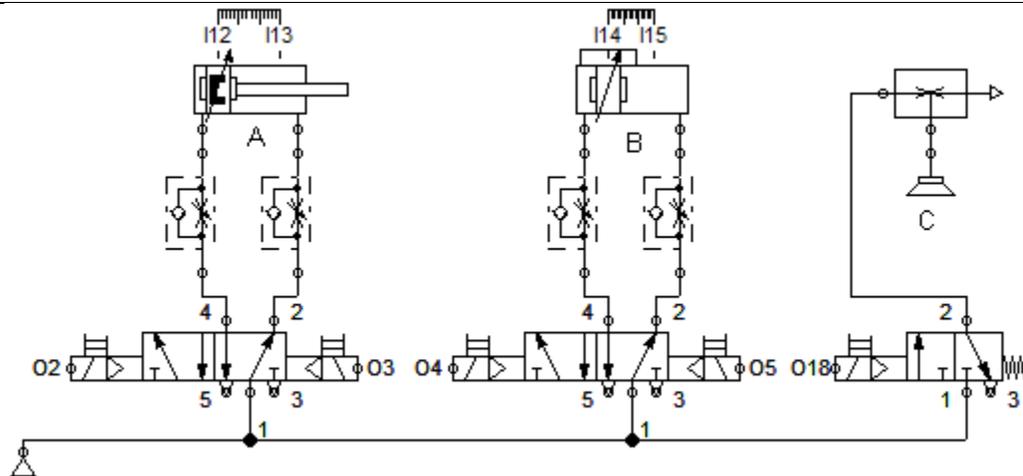
El PLC Unitronics Vision570 cuenta con una pantalla táctil de 5,7" de alta resolución para el diseño del HMI, así mismo, en este caso se hace uso de un módulo E/S integrado V200-18-E62B el cual cuenta con 30 entradas y 30 salidas digitales.

### CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA DIDACTICA

la Universidad de América tiene a su disposición una celda flexible de manufactura que se compone de 6 módulos:

- ✓ Módulo dosificador de recipientes
- ✓ Módulo dosificador de producto
- ✓ Módulo de tapado
- ✓ Módulo de control de calidad
- ✓ Módulo de rechazo de producto
- ✓ Módulo de distribución de producto



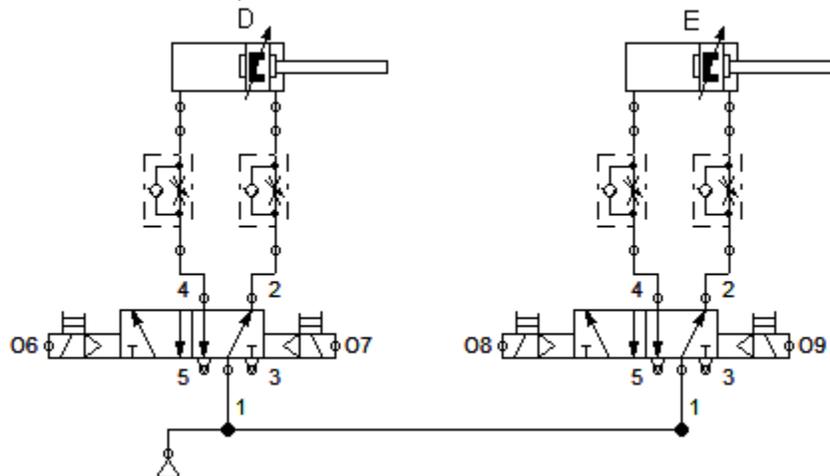


## 2. Módulo dosificador de producto

este módulo inicia su secuencia en el momento en que es presionado un final de carrera instalado en él, este final de carrera está conectado a la entrada "I18" del PLC, además este módulo incluye la activación del motor de la banda transportadora #1 notado como "M1", este motor esta operado por la salida "O0" del PLC. La secuencia que debe ejecutar este módulo es:

**D- | D+ | E- | E+ | M1+**

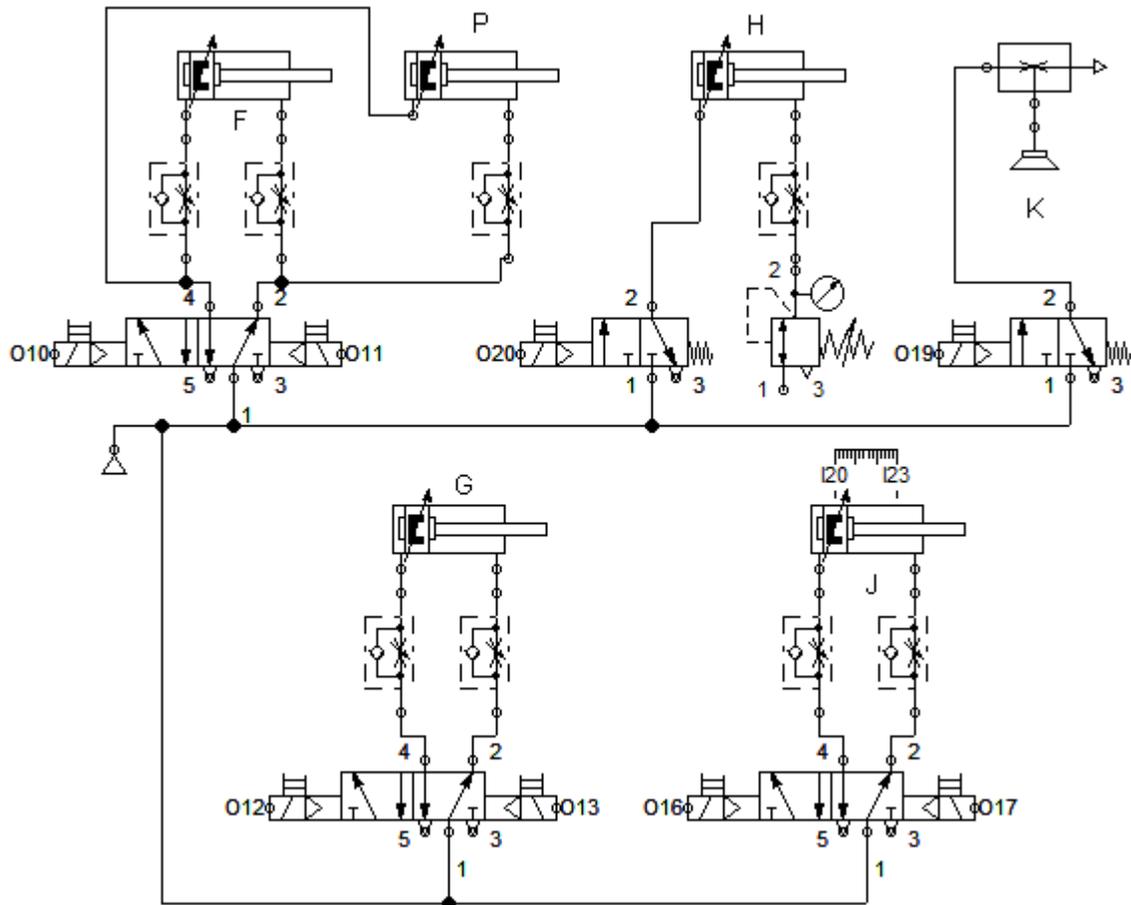
nota (la notación **M1+** o **M2+** se usa para indicar que el motor se enciende, y **M1-** o **M2-** para indicar que el motor se detiene)



## 3. módulo de tapado

Al igual que el módulo dosificador de producto, este módulo cuenta con un final de carrera que da inicio a su secuencia. Este final de carrera está conectado a la entrada "I9" del PLC. La secuencia para este módulo es:

**M1- | F+ P+ | H+ | K+ | H- | F- P- | H+ G+ | K- | H- G- | M1+ | 3Seg | M1- | J+ | J-**



#### 4. Módulo de control de calidad

este módulo cuenta con un sistema basado en arduino el cual cuenta con un sensor de color, un sensor de peso y un sensor ultrasónico, mediante el uso de este sistema el módulo puede determinar cuándo un producto es apto o rechazado y así enviar las señales correspondientes al PLC para dar inicio a diferentes secuencias. Las entradas utilizadas en el PLC para este fin son:

- ✓ I3 = AZUL
- ✓ I4 = ROJO
- ✓ I5 = NO COLOR
- ✓ I6 = PESO SI
- ✓ I7 = PESO NO

Utilizando estas entradas se pueden presentar 4 posibilidades que son:

- ✓ PRODUCTO ACEPTADO ROJO: este caso se presenta cuando son activadas de forma simultánea las entradas I4 y I6.
- ✓ PRODUCTO ACEPTADO AZUL: este caso se presenta cuando son activadas de forma simultánea las entradas I3 y I6.
- ✓ PRODUCTO RECHAZADO POR COLOR: este caso se presenta cuando es activada la entrada I5 pero no está activada la entrada I7.
- ✓ PRODUCTO RECHAZADO POR PESO: este caso se presenta cuando se activa la entrada I7 sin importar en qué estado se encuentren las otras 4 entradas.

Una vez se han activado las salidas correspondientes para cualquier caso se debe realizar la secuencia:

**M2+ I+ | I-**

Tenga en cuenta que el motor de la banda transportadora #2 está conectado a la salida “O1” del PLC, por otra parte una vez se alcance la posición I+ se debe iniciar automáticamente el proceso desde el módulo de dosificación de recipientes.

### 5. Módulo de rechazo de productos

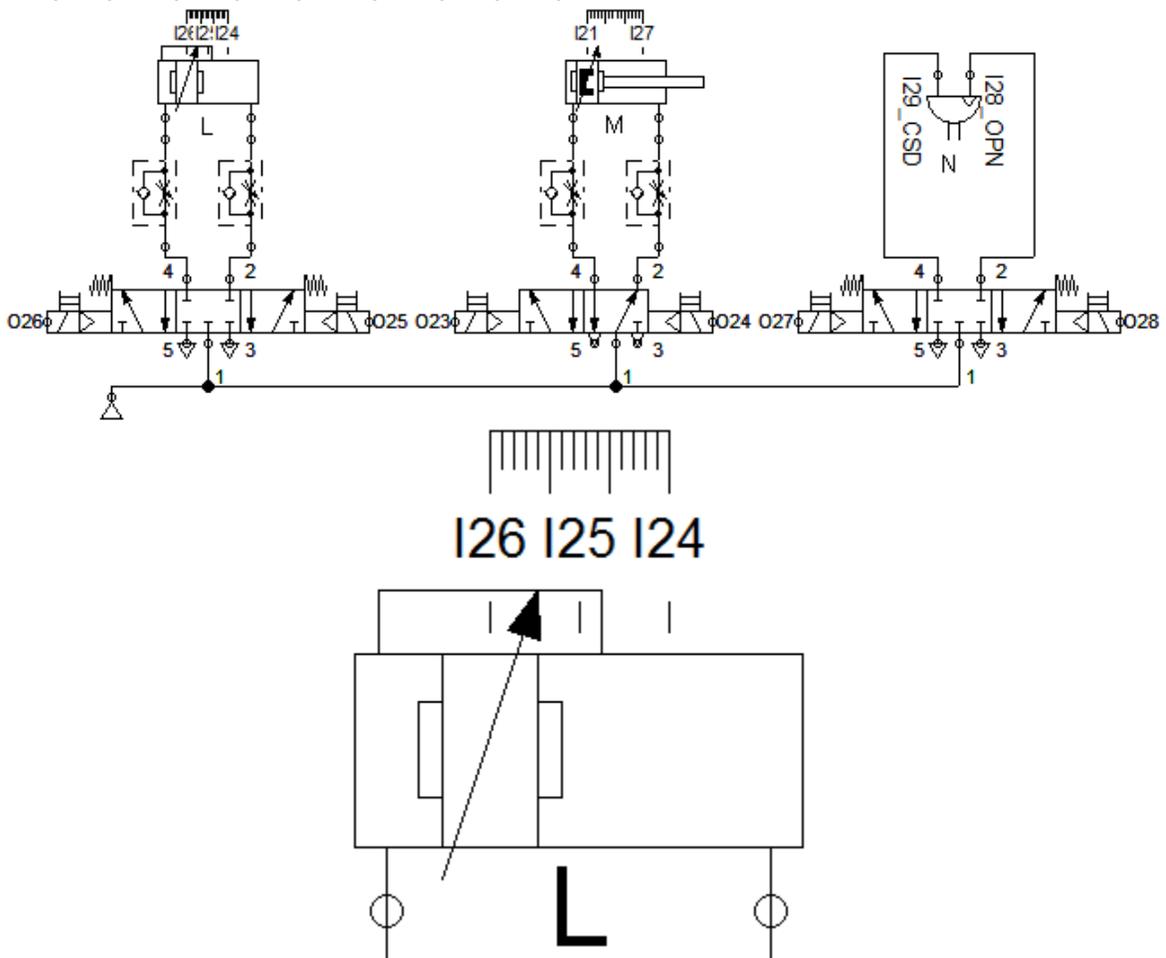
Este módulo se activa con 2 de las posibilidades presentadas en el módulo de control de calidad, estas son: PRODUCTO RECHAZADO POR COLOR y PRODUCTO RECHAZADO POR PESO. Así mismo, este módulo cuenta con un final de carrera conectado a la entrada “I10” del PLC, que al ser presionado dará inicio a la secuencia correspondiente.

La secuencia para el caso PRODUCTO RECHAZADO POR COLOR es la siguiente:

**M2- | L+ | M+ | N+ | M- | L- | M+ | N- | M-**

La secuencia para el caso PRODUCTO RECHAZADO POR PESO es la siguiente:

**M2- | L+ | M+ | N+ | M- | L/2- | M+ | N- | M- | L-**



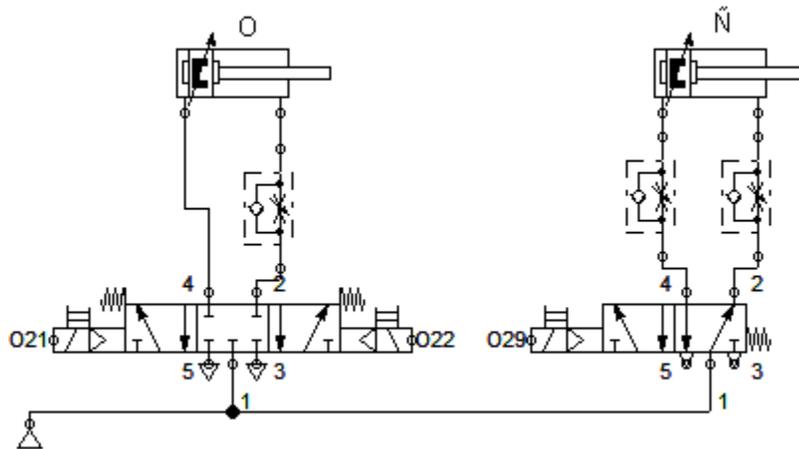
### 6. Módulo de distribución de producto

Al igual que el módulo anterior, Este módulo se activa con 2 de las posibilidades presentadas en el módulo de control de calidad, estas son: PRODUCTO ACEPTADO ROJO y PRODUCTO ACEPTADO AZUL. Así mismo, también cuenta con un final de carrera conectado en la entrada “I11” usado para dar inicio a la respectiva secuencia.

La secuencia para el caso de PRODUCTO ACEPTADO ROJO es la siguiente:

**3Seg | M2- | O+ | O-**

La secuencia para el caso de PRODUCTO ACEPTADO AZUL es la siguiente:  
3Seg | M2- | Ñ+ | O+ | O- | Ñ-



## Entregables:

3. Realice un documento en donde explique detalladamente LOS METODOS QUE UTILIZO PARA PROGRAMAR CADA UNO DE LOS MÓDULOS.
4. Adjunte al documento capturas de pantalla de LAS SIMULACIONES QUE REALIZO PARA CADA MÓDULO EN EL SOFTWARE FluidSim.
5. Adjunte los archivos de las simulaciones y el archivo del programa principal realizado en VisiLogic.

### BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Bustamante, J. (2016). Curso PLC y Programación: Todo Sobre PLC
- ✓ Soria, S. (2017). Prácticas de Automatización.

## PRÁCTICA 3. CONTROL DE LA CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA MEDIANTE LABVIEW

En esta práctica, se busca que el estudiante conozca las diferentes funciones que ofrecen el módulo compactDAQ cDAQ-9117 mediante el control de entradas y salidas digitales.

### CRITERIO DE EVALUACION ABORDAR

**CE 1** : tiene la capacidad de generar sistemas de control mediante el uso del software LabView y el módulo compactDAQ cDAQ-9117

### SOPORTE TEÓRICO DE LA PRÁCTICA

Un dispositivo DAQ es aquel que tiene la capacidad de convertir un PC convencional en un sistema de medición y automatización mediante la adquisición y generación de señales tanto digitales como analógicas. Mediante el uso de software y drivers especializados el PC adquiere la capacidad de recibir la información virgen a través del módulo DAQ para manipularla y presentarla de forma que sea de fácil comprensión, así mismo el software también le permite al usuario programar señales que serán enviadas al dispositivo DAQ según su conveniencia.

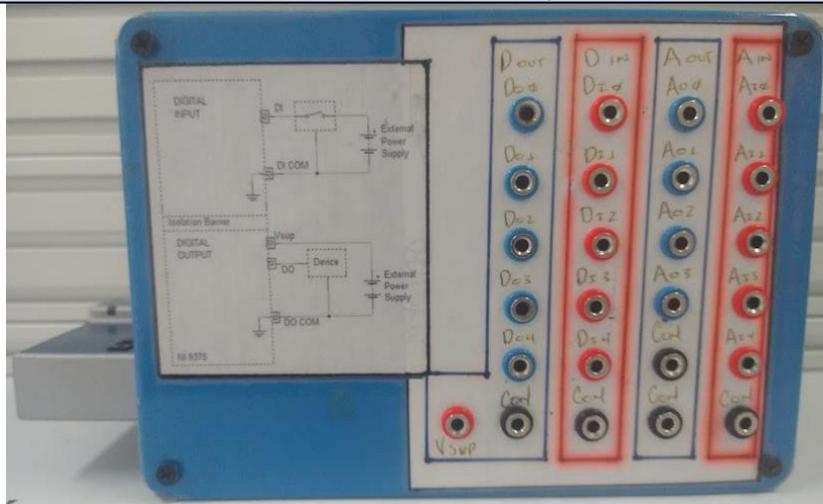
El software LabView cuenta con una herramienta llamada “DAQ assistant”, esta es una interfaz gráfica que sirve para configurar tareas, canales, y escalas de medida utilizadas por el módulo cDAQ-9174.



El cDAQ-9174 es un chasis CompactDAQ USB diseñado para sistemas pequeños y portátiles de medidas de sensor. El chasis brinda la sencillez plug-and-play del USB a sus medidas eléctricas y de sensores. También controla la temporización, la sincronización y la transferencia de datos entre los módulos de E/S de la Serie C y un servidor externo. Puede usar este chasis con una combinación de módulos de E/S de la Serie C para poder realizar diversas medidas de E/S analógica, E/S digital y contador/temporizador. El cDAQ-9174 también tiene cuatro contadores/temporizadores de uso general de 32 bits. Con varios motores de temporización, puede ejecutar siete operaciones simultáneamente y temporizadas por hardware con tres frecuencias independientes para entrada analógica.

## EQUIPOS A UTILIZAR

### MÓDULO NATIONAL INSTRUMENTS CompactDAQ -9174



El módulo national instruments CompactDAQ -9174 PLC utilizado en esta práctica cuenta con 5 salidas digitales, 5 entradas digitales, 4 salidas analógicas y 5 entradas analógicas.

### CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA DIDACTICA

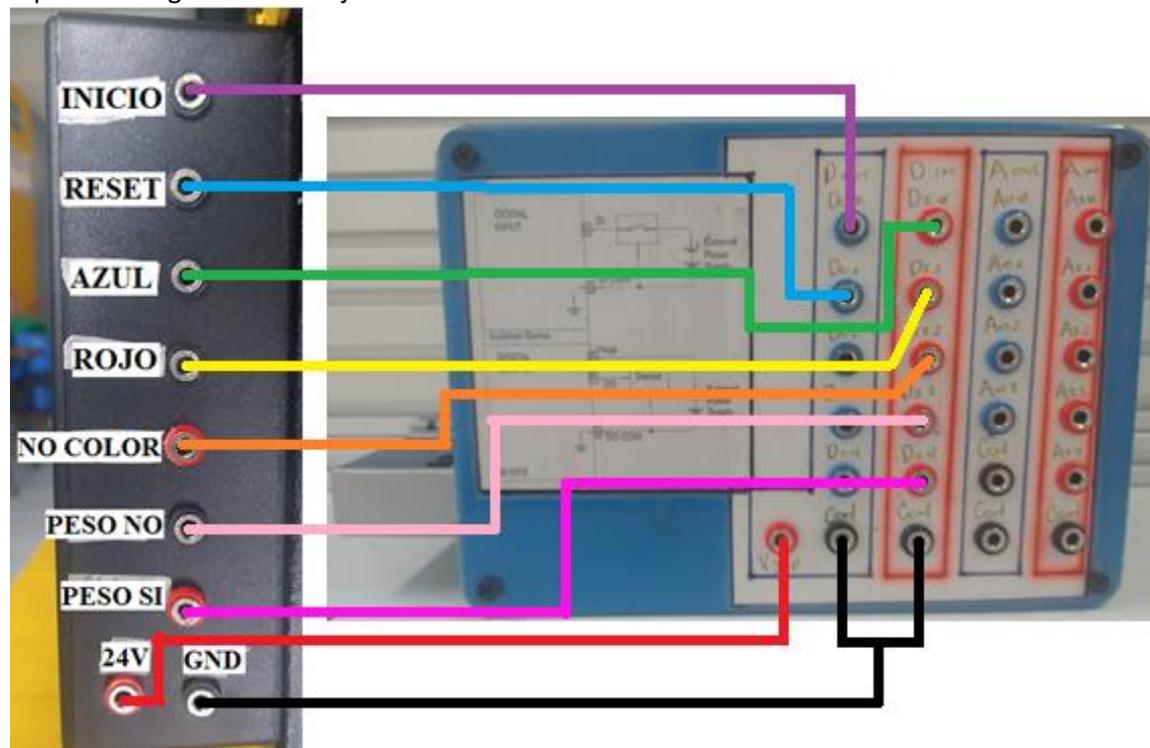


Para esta práctica se utilizara el módulo DAQ con que cuenta la celda flexible de manufactura.



### ACTIVIDADES A REALIZAR

A partir del siguiente montaje



1. Realice un programa en LabView que permita dar inicio al proceso de la celda flexible de manufactura, así como detenerlo y restaurar su posición inicial (reset)
2. Al programa realizado agregue 3 indicadores numéricos que permitan llevar el conteo de:
  - Productos exitosos rojo
  - Productos exitosos azul
  - Productos rechazados

## Entregables:

6. Realice un documento en donde explique el cómo se utiliza la herramienta DAQ assistant tanto para entradas como para salidas.
7. Adjunte al documento capturas de pantalla del diagrama de bloques explicando su funcionamiento.
8. Adjunte al documento una captura de pantalla del panel frontal que realizó.
9. Adjunte el archivo de su programa.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ Soria, S. (2017). Prácticas de Automatización.
- ✓ Soisson, H. E. (n.d.). Instrumentación industrial. Limusa.

**ANEXO 2.**  
**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

# **CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA**

## **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**



## DESCRIPCIÓN

---

La celda Flexible de Manufactura de la Fundación Universidad de América es un equipo que permite hacer la simulación de un proceso de manufactura automatizado real mediante el uso de diferentes módulos, cada uno cumpliendo una función específica. En este caso se cuenta con 8 módulos los cuales son:

- ✓ Módulo dosificador de envases
- ✓ Módulo dosificador de producto
- ✓ Módulo de tapado
- ✓ Módulo de control de calidad
- ✓ Módulo de producto rechazado
- ✓ Módulo de distribución de producto
- ✓ Módulo de bandas transportadoras
- ✓ Módulo DAQ

Así mismo el equipo cuenta con un PLC Unitronics V570 con un módulo E/S integrado V200-18-E62B teniendo a disposición con 30 entradas y 30 salidas digitales, este PLC debe ser programado mediante el software VisiLogic. Por otra parte, el equipo tiene instalada una unidad de mantenimiento neumática con lubricador de aire.

# PROCESO

---

- **Módulo dosificador de envases**



Este módulo cuenta con una estructura fabricada en aluminio y 8 varillas de acero con diámetro de 10mm, para sostener los envases en la posición deseada, cuenta con 2 láminas retenedoras, para su funcionamiento, este módulo cuenta con 3 actuadores neumáticos: el actuador C es una unidad de vacío con ventosa sujeta al actuador A, el cual es un cilindro de doble efecto instalado en posición vertical, cuya función es elevar la ventosa hasta el envase que va a ingresar al proceso. Por último, se cuenta con el actuador B que es un cilindro sin vástago adherido a una platina que se encarga de llevar el envase vacío hasta el siguiente módulo.

- **Módulo dosificador de producto**



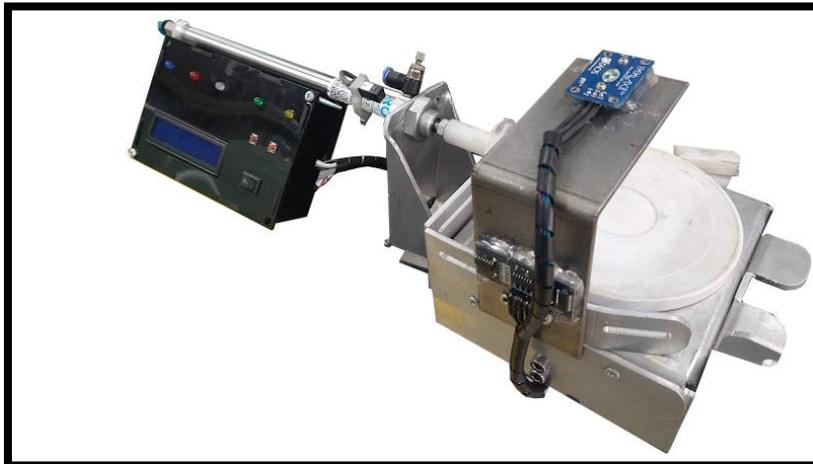
Este módulo cuenta con una estructura fabricada en aluminio sobre la cual reposa una tolva de acrílico transparente para almacenar el producto a dosificar, dicha tolva cuenta con una cámara de pre dosificado que se abre o cierra mediante dos compuertas de acero, cada una conectada a un cilindro neumático de doble efecto, la compuerta superior es operada por el actuador D y la inferior por el actuador E. el proceso de este módulo es iniciado por un final de carrera (FC1) ubicado sobre la banda transportadora.

- **Módulo de tapado**



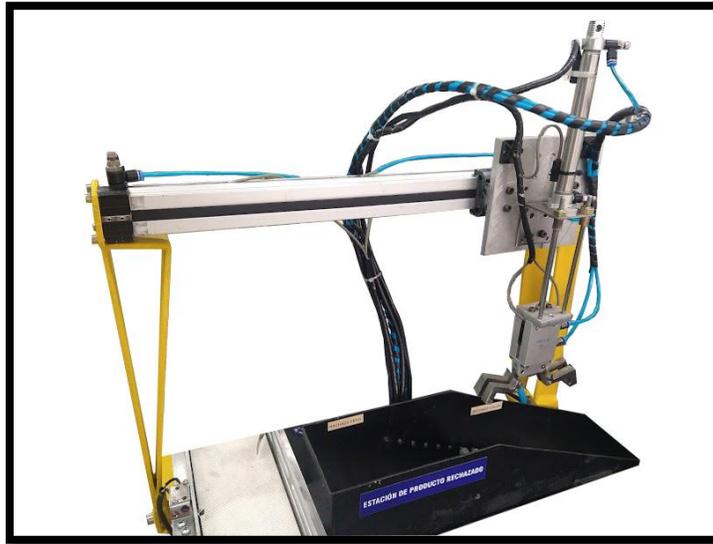
Este módulo cuenta con una estructura hecha en perfil de aluminio tipo estrella que soporta dos cilindros neumáticos, el actuador F tiene una platina en su extremo encargada de dispensar las tapas de los envases, el actuador G se encuentra ubicado en el extremo superior sosteniendo en su extremo al actuador H, quien a su vez porta en su extremo al actuador K el cual es una ventosa, esta disposición es concebida para brindar al actuador K un mayor recorrido así como una mayor presión para generar un tapado eficiente. Adicionalmente, el módulo cuenta con el actuador P, este es un cilindro de doble efecto encargado de posicionar correctamente el envase para ser tapado.

- **Módulo de control de calidad**



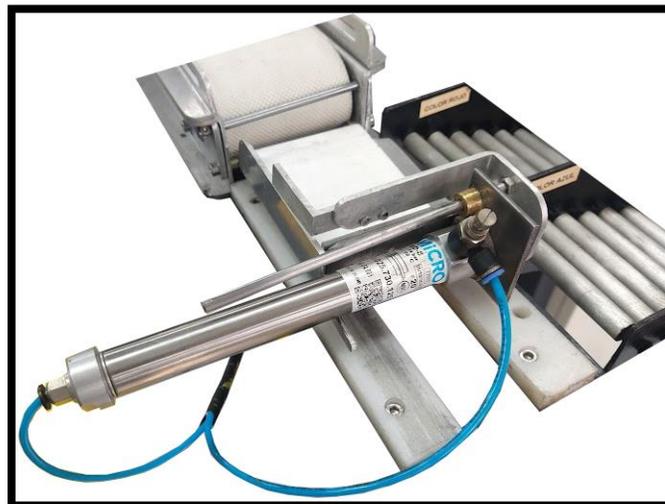
Este módulo cuenta principalmente con dos actuadores neumáticos, el actuador I y el actuador J, el actuador J se encarga de llevar el recipiente hasta el módulo y el actuador I se encarga de llevarlo hacia la banda transportadora #2, así mismo, este módulo cuenta con una tarjeta Arduino UNO conectada a 3 sensores: un sensor de color, un sensor de fuerza o peso y un sensor ultrasónico, mediante esta configuración, el módulo tiene la capacidad de analizar cada producto y determinar su destino en uno de 4 almacenamientos: PRODUCTO ACEPTADO ROJO, PRODUCTO ACEPTADO AZUL, PRODUCTO RECHAZADO POR PESO o PRODUCTO RECHAZADO POR COLOR.

- **Módulo de producto rechazado**



Este módulo cuenta con un cilindro sin vástago (actuador L) soportado sobre una estructura de acero, este actuador, a su vez, está acoplado al actuador M, este es un cilindro de doble efecto encargado de sujetar y transportar el actuador N, este actuador se compone de unas pinzas fabricadas en acero encargadas de tomar los recipientes rechazados y llevarlos hasta el depósito que corresponda.

- **Módulo de distribución de producto**



Este módulo cuenta con un carro transversal al cual llega el recipiente desde la banda transportadora #2, este carro esta acoplado a un cilindro de doble efecto (actuador Ñ), este actuador se encarga de desplazar el carro hasta el depósito pertinente. Por otra parte, sobre el carro se encuentra instalado otro cilindro de doble efecto (actuador O), el cual porta un platina en su extremo, encargada de empujar el recipiente hasta el depósito que le corresponda.

- **Módulo de bandas transportadoras**



Este módulo se compone principalmente de 2 bandas transportadoras con estructura en aluminio y banda tipo waffer blanca de 90mm de ancho, estas bandas están acopladas cada una a un motor de 24V DC capaz de entregar 80RPM, esta velocidad puede ser regulada mediante un controlador PWM para cada banda. La banda transportadora #1 cuenta con una longitud de 55cm mientras que la banda transportadora #2 cuenta con una longitud de 76cm.

- **Módulo DAQ**



Este módulo se compone de una caja plástica en la cual se encuentran 9 bornes utilizados para conectar un módulo externo Texas Instruments CompactDAQ. Los bornes INICIO y RESET tienen la función de poner en marcha el proceso productivo de la celda de manufactura o en su defecto detenerlo según lo decida el usuario, por otra parte, los bornes AZUL, ROJO, NO COLOR, PESO NO y PESO SI, son utilizados para llevar un conteo exacto de productos aceptados y rechazados. Por último, los bornes 24V y GND tienen la función de alimentar el módulo externo que es conectado.

- **Tablero eléctrico**



En este tablero se encuentran todos los componentes necesarios para energizar todo el equipo, así como permitir el correcto flujo de corriente eléctrica entre los actuadores, sensores y el PLC. En la parte exterior del contenedor se encuentra ubicada la muletilla que permite encender y apagar el equipo en el momento en que el usuario así lo requiera.

- **Tablero neumático**



En este tablero se encuentran alojadas todas la válvulas que manipulan a los diferentes actuadores, entre sus componentes se encuentran: 9 válvulas 5/2 biestables, 3 válvulas 5/3 monoestables, 3 válvulas 3/2 monoestables, 1 válvula 5/3 monoestable, 1 válvula reguladora de presión y 2 toberas de succión de vacío.

- **HMI**



El HMI de este equipo cuenta con 8 botones como se muestra en la imagen. Estos botones cumplen las siguientes funciones:

**INICIO:** este botón permite que el proceso inicie desde el módulo de dosificación de envases.

**RESET:** este botón detiene cualquier proceso que se encuentre en curso y hace que todos los actuadores regresen a su posición original.

**BANDA 1:** este botón permite poner en marcha la banda transportadora #1 sin necesidad de iniciar el proceso productivo completo.

**BANDA 2:** este botón permite poner en marcha la banda transportadora #1 sin necesidad de iniciar el proceso productivo completo.

**SI PESO – ROJO:** este botón permite emular las señales que enviaría el módulo de control de calidad al PLC para el caso PRODUCTO ACEPTADO ROJO.

**SI PESO –AZUL:** este botón permite emular las señales que enviaría el módulo de control de calidad al PLC para el caso PRODUCTO ACEPTADO AZUL.

**NO COLOR:** este botón permite emular las señales que enviaría el módulo de control de calidad al PLC para el caso PRODUCTO RECHAZADO POR COLOR.

**NO PESO:** este botón permite emular las señales que enviaría el módulo de control de calidad al PLC para el caso PRODUCTO RECHAZADO POR PESO.

## OPERACIÓN

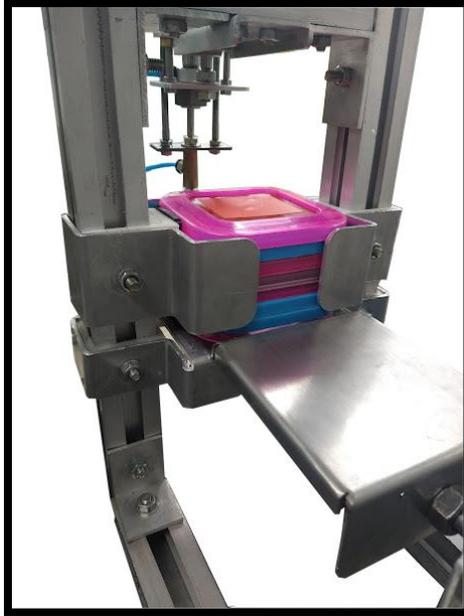
1. Introduzca los envases apilados por la parte superior del primer módulo.  
(MAXIMO 8 ENVACES)



2. introduzca las canicas por la parte superior de la tolva, tenga en cuenta que no debe dejarlas caer desde una gran altura o se podrían presentar fisuras en el material de la misma.



3. introduzca las tapas dentro de su espacio de almacenamiento, cerciórese de que queden perfectamente apiladas una sobre otra. **(MAXIMO 8 TAPAS)**



4. asegúrese de que el cable de alimentación está correctamente conectado a la fuente de poder y la manguera neumática de alimentación a la fuente de aire presurizado, verifique en la unidad de mantenimiento que la presión no exceda los 4 BAR de presión o 58 PSI.



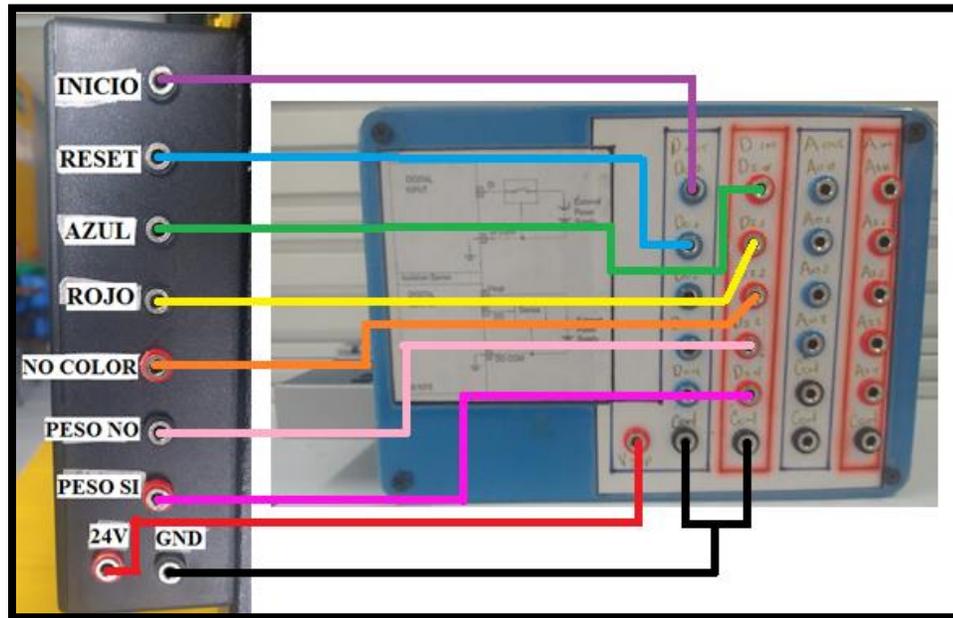
5. Energice el sistema de control de calidad mediante el interruptor presente en la interfaz física ubicada junto a dicho módulo.



6. Una vez la pantalla LCD presente en la interfaz física del sistema de control de calidad muestre el mensaje “esperando”, energice los componentes eléctricos girando la muletilla a la posición ON.
7. siempre antes de iniciar el proceso productivo debe presionar el botón “RESET”, esto asegurara que todos los actuadores se encuentren posicionados correctamente para su uso. Una vez haga esto puede presionar el botón “INICIO” poniendo en marcha el proceso.

## RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN

1. si va a operar la celda de manufactura mediante el módulo DAQ y la aplicación de escritorio asegúrese de que el módulo externo National Instruments se encuentra correctamente conectado como se muestra a continuación.



2. No se recueste sobre ninguno de los componentes de la celda de manufactura
3. Antes de encender el sistema de control de calidad asegúrese que no haya ningún objeto sobre la bascula
4. Presione el botón RESET antes de reabastecer los módulos DOSIFICADOR DE ENVACES, DOSIFICADOR DE PRODUCTOS o TAPADO.
5. Siempre que utilice la celda de manufactura debe disponer de los respectivos elementos de seguridad como bata de laboratorio y gafas de seguridad.
6. no opere los motores a menos de la mitad de la velocidad máxima, esto evitara el deterioro prematuro de los mismos

# MANTENIMIENTO

---

ANTES DE REALIZAR CUALQUIER INTERVENCION A LA CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA DEBE ASEGURARSE DE QUE ESTE EQUIPO SE ENCUENTRA DESCONECTADO DE LA RED ELECTRICA Y DE LA FUENTE DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO.

## 1. DESPUES DE REALIZAR LA PRACTICA

- Antes de apagar el equipo presione el botón RESET logrando así que todos los actuadores regresen a su posición inicial, gire la mulletilla a la posición OFF desenergizando el sistema, retire los insumos no utilizados de los diferentes módulos, estos son: envases vacíos, tapas, y canicas.
- Almacene los envases y las tapas en un lugar fresco y seco.
- En caso de que la báscula presente descalibración, destape la interfaz física del módulo, allí encontrara la tarjeta Arduino UNO. Mediante el software Arduino IDE instale el programa de calibración de la celda de carga, una vez instalado, coloque un peso conocido sobre la báscula, en el Monitor Serie del software se mostrará un dato "T xxx", este valor debe ser copiado sin el carácter "T" en el programa original del sistema, en la línea "balanza.set\_scale(xxx);", por último, debe ser cargado nuevamente el programa original en la tarjeta Arduino UNO.

## 2. MANTENIMIENTO MENSUAL

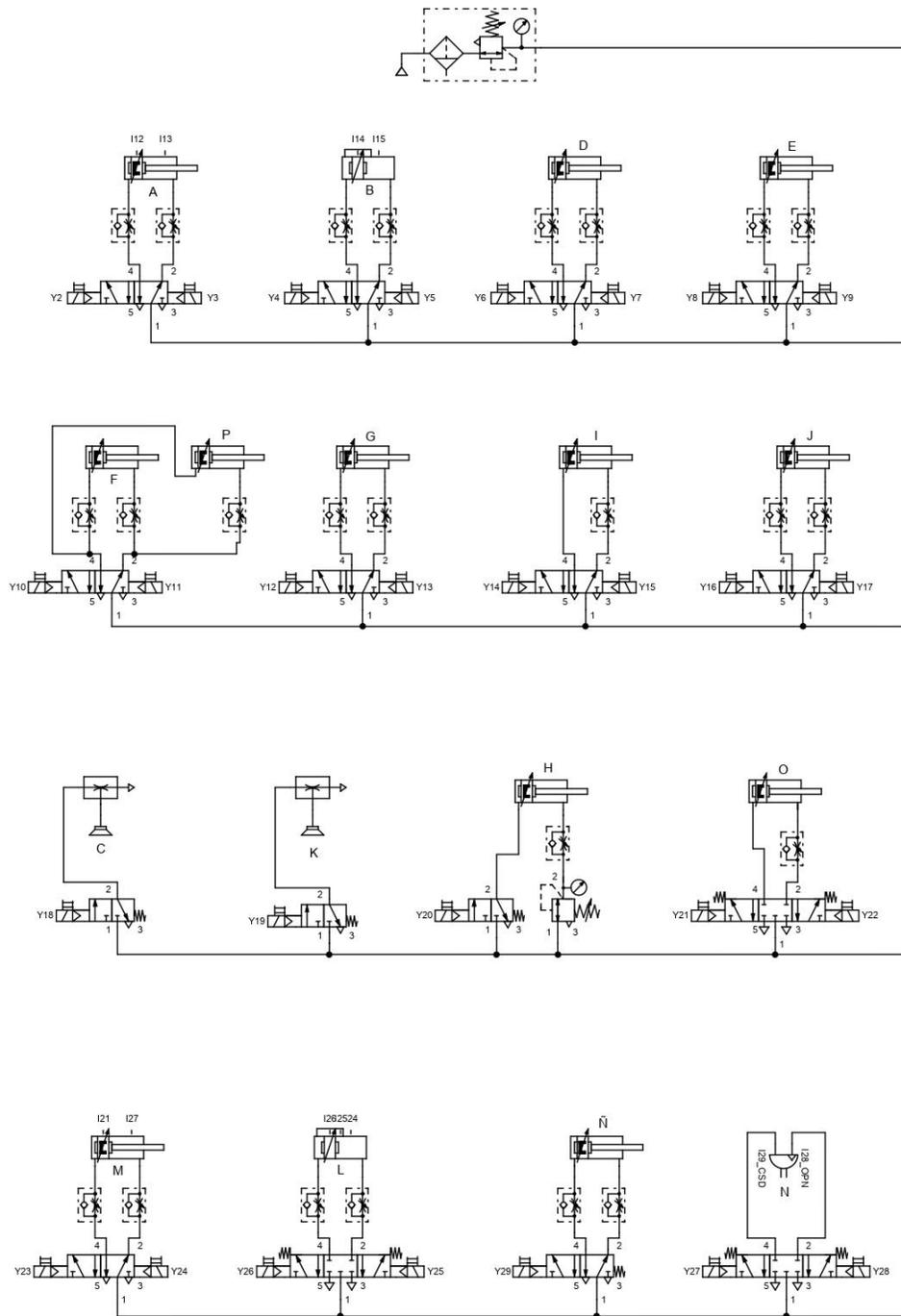
- Verifique que la unidad de mantenimiento contiene suficiente lubricante.
- Verifique que cada una de las válvulas se encuentra funcionando de manera efectiva, si no es así, aplique aceite SAE en repetidas ocasiones hasta que el movimiento sea fluido.
- Verifique que no se presenten fugas de aire en el tablero neumático o en los racores de los diferentes actuadores, en caso de encontrar alguna fuga, retire el racor afectado, cubra la rosca con cinta de teflón y reinstale el racor retirado, tenga presente que los racores no se deben apretar en exceso ya que estos se pueden romper con facilidad.
- Verifique que los cilindros neumáticos realicen un movimiento suave tanto de entrada como de salida, si no es así, aplique aceite SAE a lo largo del vástago y genere movimientos de entrada y salida para este cilindro en repetidas ocasiones.
- Revise que los componentes eléctricos no presenten derretimientos o quemaduras por sobrecalentamiento, si es así, remplace el componente afectado inmediatamente.
- Revise que no exista exceso de polvo o suciedad en el tablero eléctrico o neumático, si es así, aplique una corriente de aire a baja presión para retirar dichas impurezas.
- Verifique que la platina acoplada al actuador B no presenta dobleces anormales, si es así, aplicando esfuerzo muscular, corrija los dobleces indeseados que esta pueda presentar.
- Verifique el correcto funcionamiento de las láminas retenedoras y las láminas guía, en caso de que presenten dobleces indeseados, utilice la mano para ejercer presión
- hasta alcanzar la posición deseada, en caso de ruptura, remplace la lámina afectada utilizando fleje 1070.
- Aplique lubricante SAE en las varillas guía del módulo de tapado y en las del módulo de producto rechazado, luego genere movimientos oscilatorios en repetidas ocasiones.
- Aplique lubricante SAE en las ranuras del actuador L y genere movimientos oscilatorios en el mismo hasta que el manipulador de rechazo tenga un movimiento limpio y fluido.
- Revise que los motores no presenten exceso de calentamiento, sonidos extraños o pérdida de velocidad durante su funcionamiento, en caso de que se presente alguno de estos problemas,

desmante el motor de la celda de manufactura, posteriormente retire la caja reductora. Realice una limpieza exhaustiva de todos los engranajes, posteriormente aplique abundante lubricante y realice nuevamente el montaje del motor en el equipo. Si el problema persiste se recomienda reemplazar el motor afectado a la mayor brevedad.

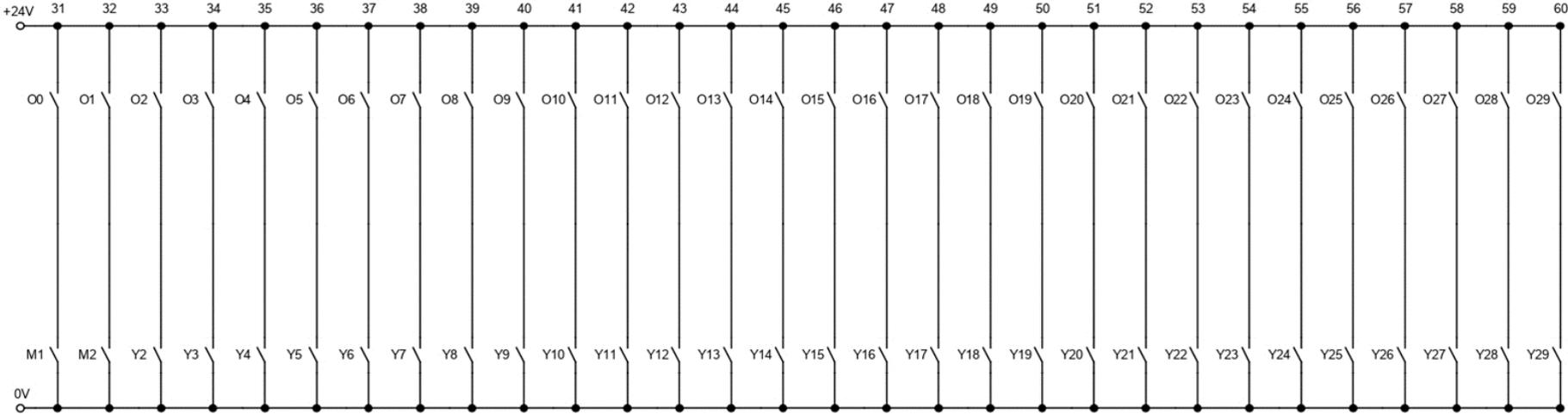
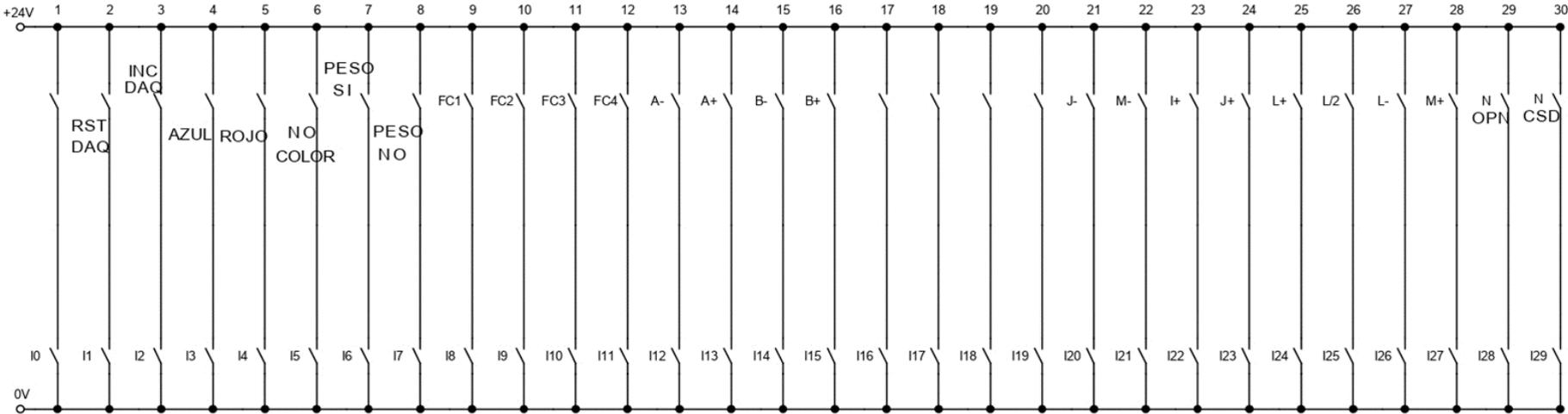
#### **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

- En caso de que se presente agrietamiento o ruptura del material de la tolva, utilizando una jeringa aplique cloruro de metileno de forma abundante y presione las dos superficies hasta que estas queden completamente soldadas.
- En caso de que alguno de los sensores instalados en el módulo de control de calidad deje de funcionar realice el siguiente procedimiento:
  1. Retire los tronillos de la interfaz física del módulo con el fin de destaparla y encontrar la tarjeta Arduino UNO
  2. Verifique que todos los cables están correctamente conectados a la tarjeta Arduino UNO.
  3. Utilizando el software Arduino IDE instale el programa de prueba para el sensor que presenta la falla.
  4. En caso de que el sensor un no funcione, retire la tapa del módulo DAQ y verifique que los cables del sensor en cuestión se encuentren correctamente conectados.
  5. Mediante el uso de un multímetro verifique que la tarjeta arduino es alimentada con 8V DC.
  6. Si el problema persiste de recomienda reemplazar el sensor afectado.

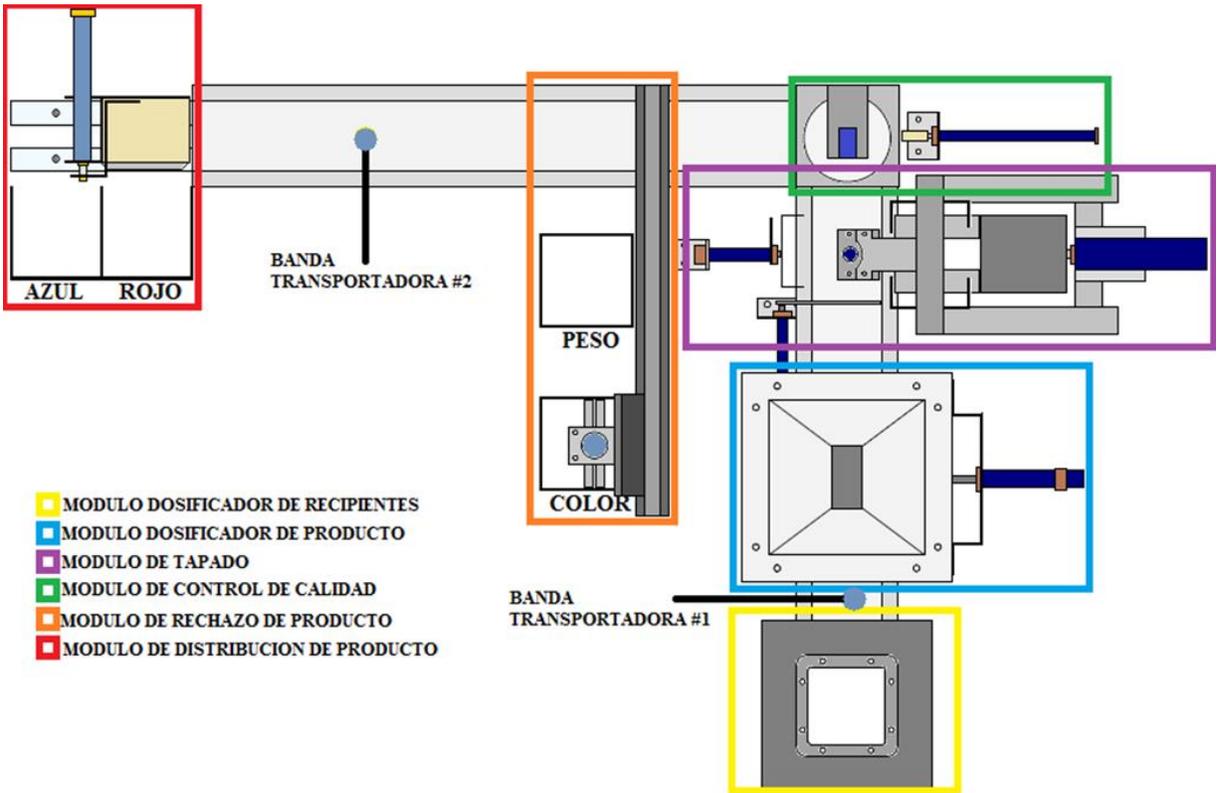
# PLANO NEUMATICO



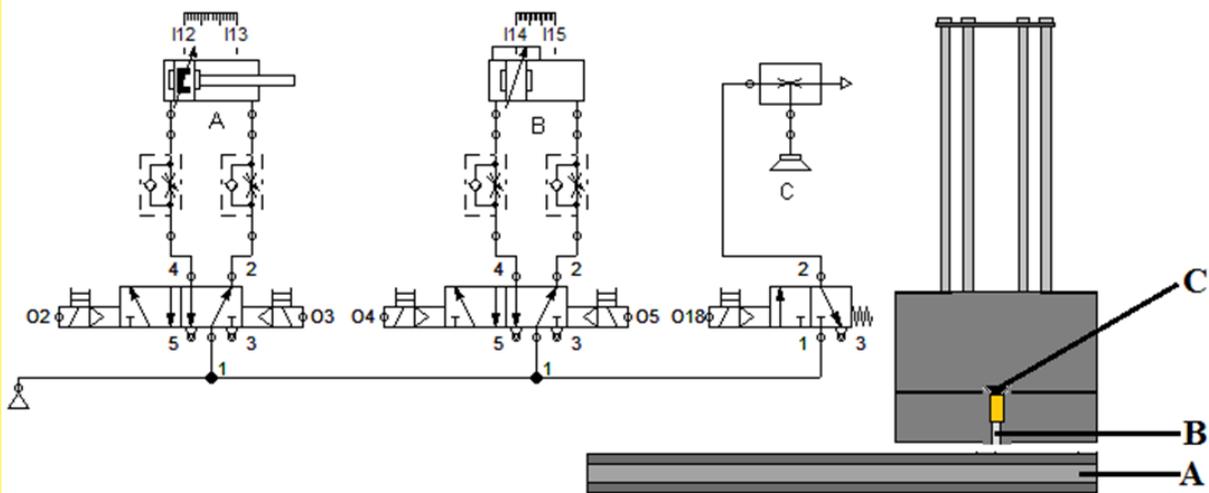
### ENTRADAS Y SALIDAS A PLC

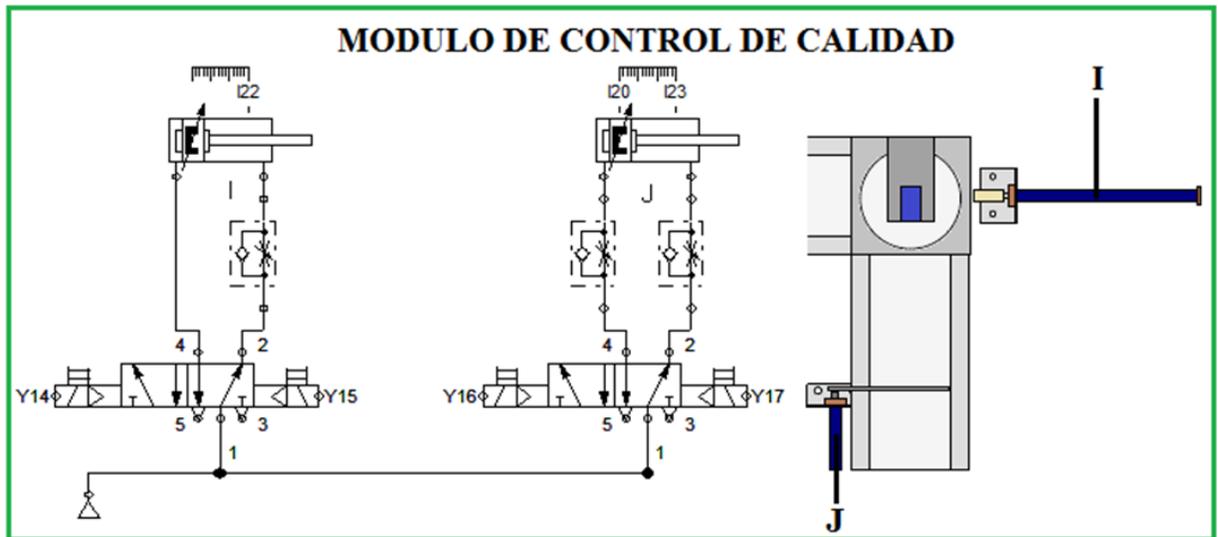
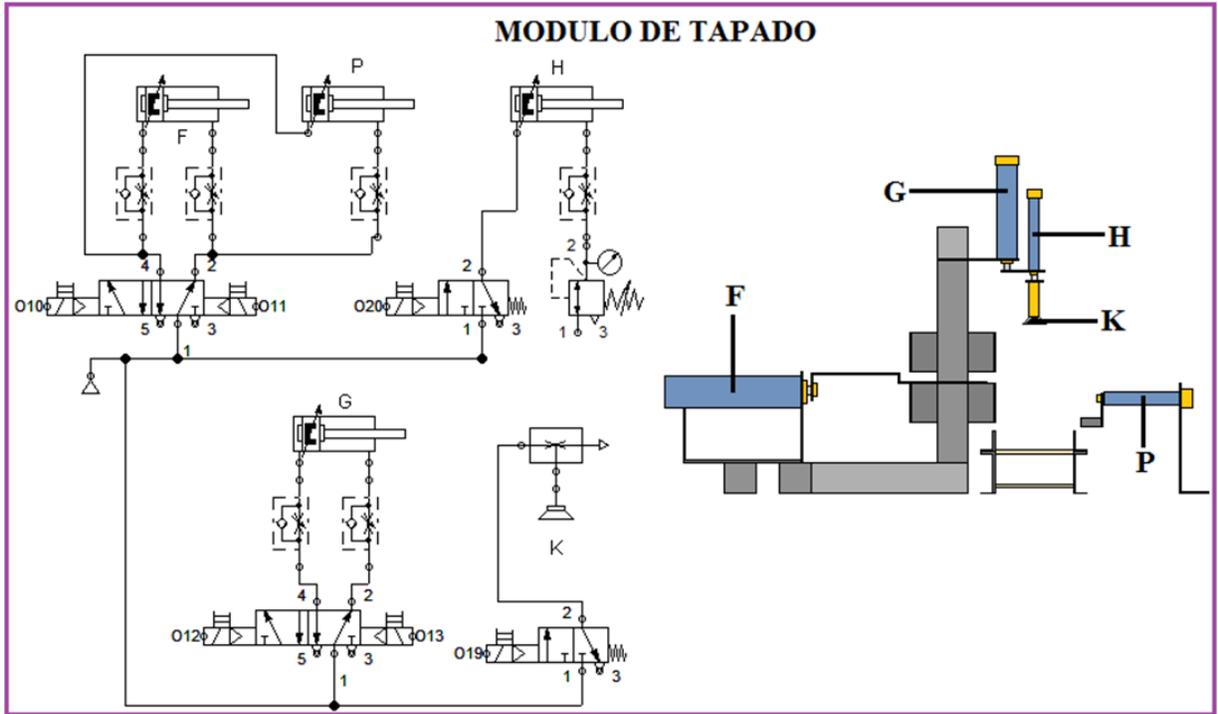


## PLANO GENERAL POR MÓDULOS

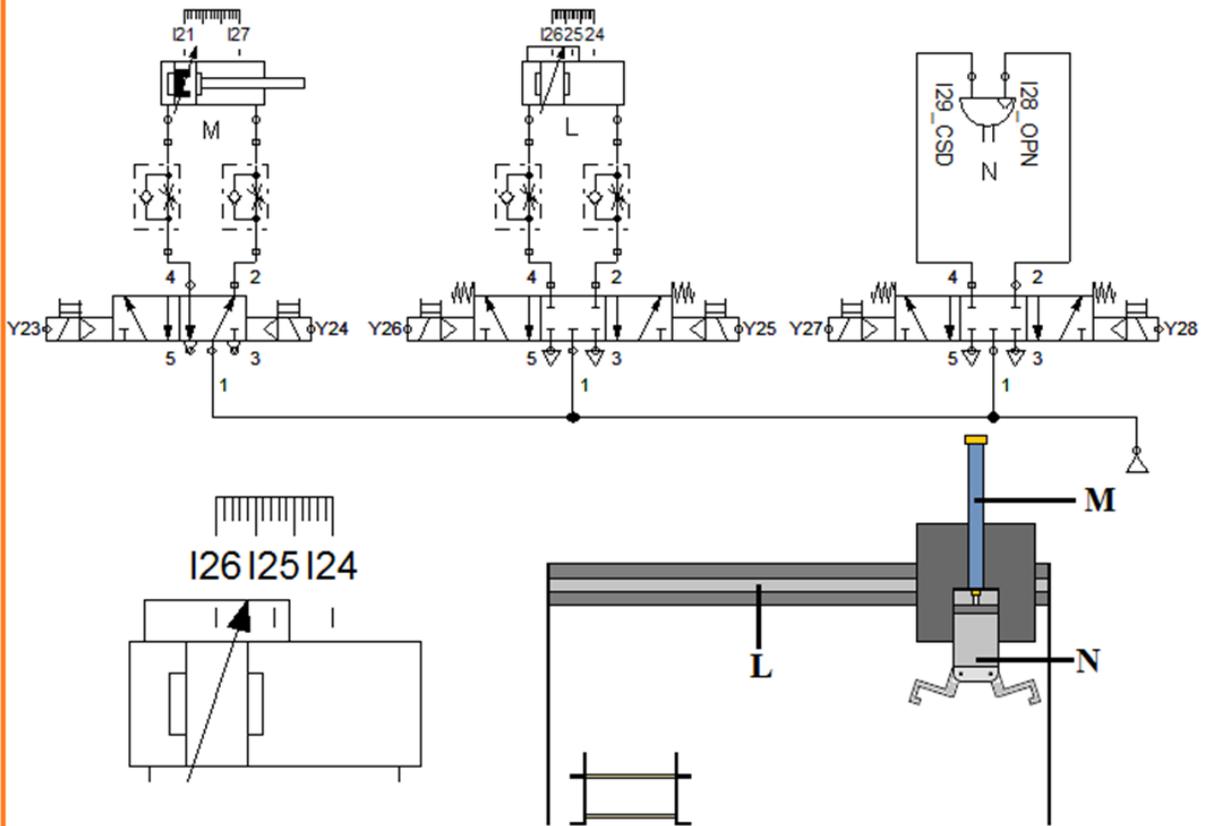


## MODULO DOSIFICADOR DE ENVASES

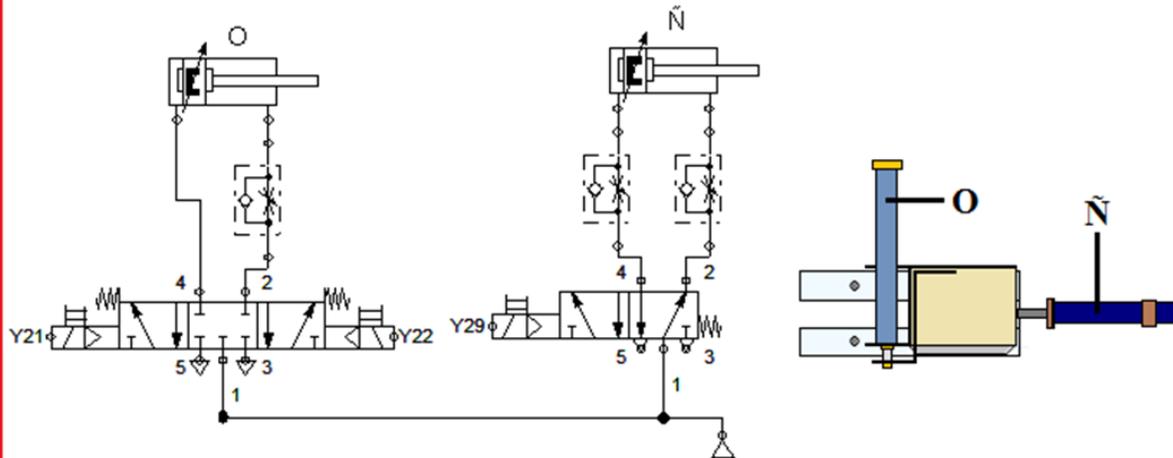




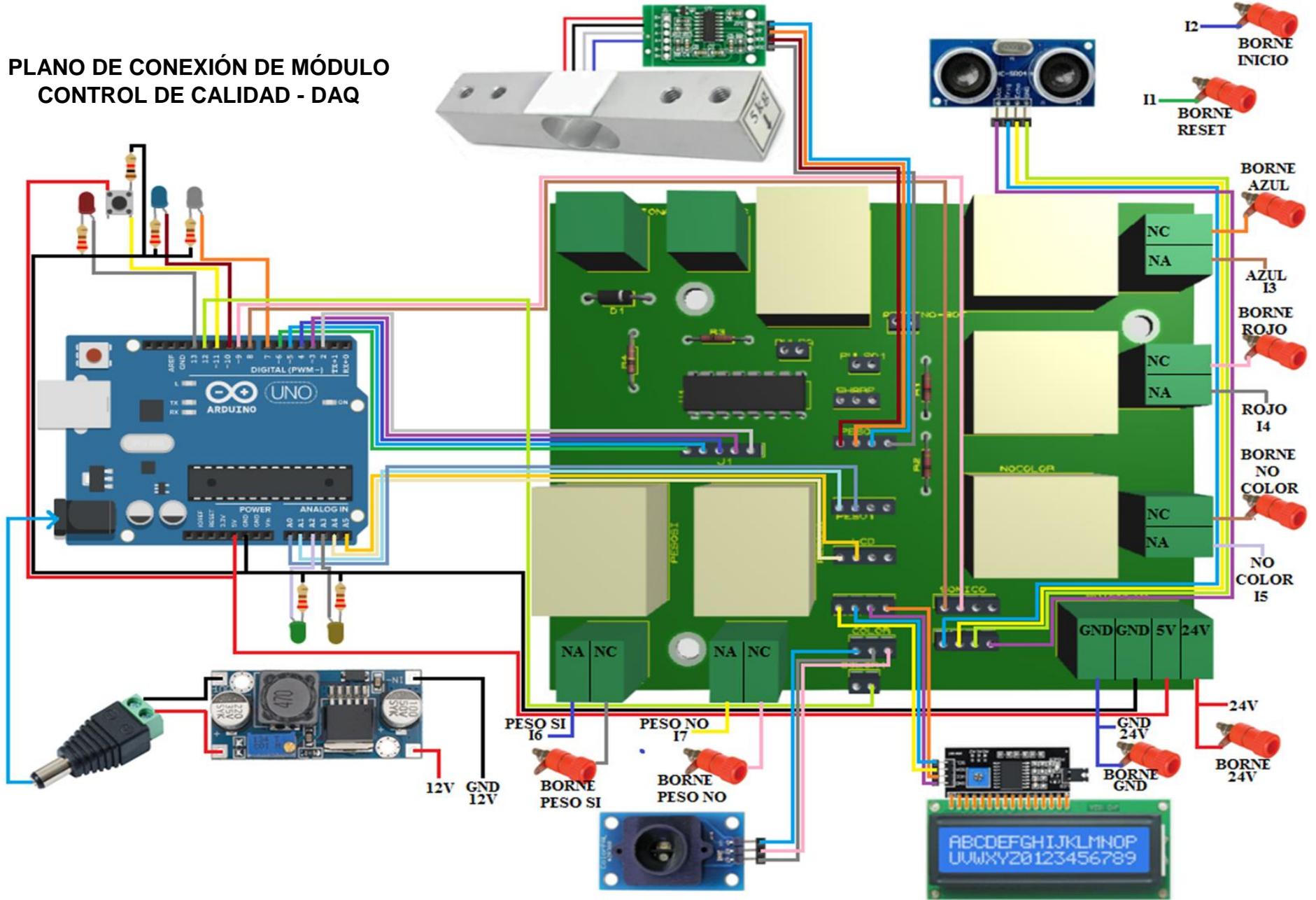
### MODULO DE PRODUCTO RECHAZADO



### MODULO DE DISTRIBUCION DE PRODUCTO



# PLANO DE CONEXIÓN DE MÓDULO CONTROL DE CALIDAD - DAQ



**ANEXO 3.**  
**CD DE BACKUPS**

El CD de Backups se entrega de forma física junto con el documento, sin embargo, se puede acceder a los archivos contenidos en este mediante el siguiente link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1UpAIObc5MpvJQkxDyAif5NX-m205cd8T?usp=sharing>

**ANEXO 4.**

**FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO ACERO HOT ROLLED ESTRUCTURAL GRADO 36.**

 <p><b>EXCO</b> El Valor de lo Simple</p>	<b>FICHA TECNICA DE PRODUCTO ACERO HOT ROLLED ESTRUCTURAL GRADO 36</b>		FTE	019
			Edición No.	08
			Fecha:	2020-06-04
			Página:	1 DE 3
DESCRIPCIÓN: Tubería para aplicaciones mecánicas fabricada en acero laminado en caliente calidad estructural, soldada por inducción de corriente de alta frecuencia, sin adición de material				
<b>ESPECIFICACIONES DE LA MATERIA PRIMA</b>				
Nombre: ACERO HOT ROLLED (LAMINADO EN CALIENTE), CALIDAD ESTRUCTURAL GRADO 36 DECAPADO Y SIN DECAPAR				
Norma de material: ASTM A 1011 (Grado 36, Tipo 2), ASTM A 36 u otro acero equivalente que tenga los contenidos de composición química establecidos en la presente ficha técnica				
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)</b>				
COMPONENTE	REQUISITO	COMPONENTE	REQUISITO	
Carbono	0.25 máximo	Fósforo	0,035 máximo	
Manganeso	1.35 máximo	Azufre	0,040 máximo	
<b>TOLERANCIAS DE ESPESOR</b>				
1.5 mm ± 0.15mm		≥ 2.5 y <4.5 ± 0,20		
2 mm ± 0.17mm				
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>				
ESFUERZO DE FLUENCIA (YP)		ESFUERZO DE TRACCIÓN (TS)		
Mínimo 250 Mpa (Mínimo)		400-550 Mpa		
<b>% DE ELONGACIÓN (Mínimo)</b>				
ESPESOR PARED (mm)	1.5	>1.6 y <2.5	>=2.5mm	
ELONGACIÓN (%)	16	20	21	
<b>DUREZA</b>				
(NOTA: Esta característica se especifica de acuerdo con las necesidades del proceso productivo de EXCO COLOMBIANA S.A.)				
58-78.5 HRB				
<b>ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA</b>				
Según Norma NTC 2842 Equivalente a ASTM A513				
<b>TUBERÍA REDONDA (HR DECAPADO)</b>				
<b>DIAMETRO</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>TOLERANCIA</b>		
½"	1.90 - 2.00	±0,005" (0.13mm)		
5/8" – 1 1/8"	1.5 – 1.9 – 2.0 - 2.50 – 3.0	±0,0035" (0.09mm)		
29 mm – 2"	1.5 – 1.9 – 2.0 - 2.50 – 3.0	±0,005" (0.13mm)		
2.36"	3.0	±0,006" (0.15mm)		
2 1/2	2.0 - 2.50 – 3.0	±0,006" (0.15mm)		
REVISÓ		APROBÓ		
JEFE GESTIÓN DE CALIDAD		GERENTE GENERAL		

## **ANEXO 5**

### **RECOMENDACIONES**

Reemplazar el actuador F por un cilindro de mayor carrera, esto permitiría que la acción de tapado se realice de una forma más limpia y precisa aumentando la eficiencia del módulo de tapado.

Ampliar el módulo DAQ logrando que este reciba señales de todos los sensores y temporizadores, esto permitirá que la animación del software LabView se pueda apreciar en tiempo real

Fabricar la tolva de dosificación de producto en otro material, ya que el acrílico en el que está fabricada se puede romper con los golpes generados por los dos actuadores de este módulo

Reemplazar el actuador Ñ por un cilindro con una carrera más larga y agregar sensores de posición a dicho cilindro, esto permitiría dar uso al tercer depósito de almacenamiento disponible en el equipo.