



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CÉLULA FLEXIBLE ADAPTADA A
UNA MÁQUINA CNC PARA EL PROCESO DE CONFORMADO DE
TUBERÍA EN LA EMPRESA REMIBRASS S.A.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: WILSON STEVEN DOMINGUEZ AGUILAR

TUTOR: ING. DIEGO PAÚL CHACÓN TROYA MGTR.

Cuenca – Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Steven Dominguez Aguilar con documento de identificación N° 0107332637 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Ciudad, 12 de febrero del 2026

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Wilson Steven Dominguez Aguilar', written over a horizontal dashed line.

Wilson Steven Dominguez Aguilar

0107332637

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Wilson Steven Dominguez Aguilar con documento de identificación N° 0107332637, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la Propuesta Tecnológica: "Diseño y simulación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.", la cual ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 12 de febrero del 2026

Atentamente,



Wilson Steven Dominguez Aguilar
0107332637

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Paúl Chacón Troya con documento de identificación N° 1900268168, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CÉLULA FLEXIBLE ADAPTADA A UNA MÁQUINA CNC PARA EL PROCESO DE CONFORMADO DE TUBERÍA EN LA EMPRESA REMIBRASS.A., realizado por Wilson Steven Dominguez Aguilar con documento de identificación N°0107332637, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 12 de febrero del 2026

Atentamente,



Ing. Diego Paúl Chacón Troya, Mgtr.
1900268168

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación está dedicado, en primer lugar, a Dios y a la virgencita, quienes han sido mi guía y fortaleza para llevar a cabo cada una de las metas que me he propuesto.

A mis padres, Julio y Gladys, por su amor infinito, comprensión, sus consejos y apoyo constante, que han sido clave para alcanzar este logro. Gracias por ser mi fortaleza y mi guía en cada etapa de este camino; cada uno de sus consejos ha dejado huella. Espero que se sientan orgullosos de mí.

A mis hermanos, Pamela y Alexander, quienes han estado siempre a mi lado, brindándome ánimo y apoyo en los momentos difíciles donde parecía que no podía más; gracias por sus consejos y compañía en este camino. A mi sobrina Rafaela, por ser una fuente de alegría y motivación constante.

A mis abuelos, que se encuentran en el cielo, quienes fueron un ejemplo a seguir y un apoyo fundamental, enseñándome el valor de ser una buena persona.

Finalmente, dedico este trabajo a mis amigos y docentes que formaron parte de este proceso y me brindaron su apoyo y conocimientos, permitiéndome alcanzar este objetivo.

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a la Virgen del Cisne por permitirme alcanzar esta meta, por no dejarme rendir cuando sentía que no podía avanzar más, y por brindarme salud y conocimiento a lo largo de este camino.

Agradezco de todo corazón a mis padres por ser mi mayor fuente de motivación, por enseñarme siempre a cumplir los sueños y metas que me propongo, sin importar lo difícil que sea el camino. Gracias por el cariño y la paciencia que me han brindado en cada etapa de este proceso.

Gracias a mis hermanos, quienes han sido mi compañía en cada situación que he atravesado, por su apoyo y el cariño que siempre me han dado; a mi sobrina, quien es como una hermana para mí, por cada una de las alegrías que me brindó.

Agradezco también a Liz por ser parte de este proceso y por acompañarme a lo largo de esta etapa.

Agradezco al Ing. Diego Chacón por ser parte de este trabajo y por guiarme de manera correcta a lo largo del desarrollo de este, brindándome sus conocimientos, los cuales fueron de gran importancia para la culminación de este trabajo.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	XI
Abstract	XII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Descripción del problema	2
2.2. Antecedentes	2
2.3. Importancia y alcances	3
2.4. Delimitación	4
2.4.1. Espacial o geográfica	4
2.4.2. Temporal	5
2.4.3. Sectorial o institucional	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Marco Teórico	6
4.1. Célula Flexible	6
4.2. Diseño Mecatrónico	6
4.2.1. Elementos Mecánicos	6
4.2.2. Elementos de control	7
4.2.3. Elementos eléctricos	7
5. Marco metodológico	8
5.1. Establecer los parámetros iniciales para el diseño de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	8
5.1.1. Proceso actual de conformado de tubos en Remibrass S.A.	8

5.1.2.	Requisitos y necesidades de la empresa Remibrass S.A.	10
5.1.3.	Selección del sistema de automatización de alimentación y extracción	12
5.1.4.	Descripción de la función de la máquina	13
5.1.5.	Diseño del sistema de alimentación y extracción de tubos	14
5.1.6.	Estructura mecánica	14
5.1.7.	Sistema de transporte y posicionamiento del tubo	14
5.1.8.	Sistema de accionamiento y sujeción	15
5.1.9.	Propuestas de diseño del sistema automatizado	15
5.2.	Proponer el diseño mecatrónico de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	18
5.2.1.	Justificación de selección de la Propuesta 1: Empuje mediante pistón neumático con pinza de sujeción móvil	18
5.2.2.	Diseño mecánico del sistema de alimentación para CNC de tubos	21
5.2.3.	Diseño del conjunto mecánico para el Transporte de Tubos	21
5.2.4.	Diseño del conjunto mecánico para el posicionamiento de Tubos	23
5.2.5.	Diseño del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos.	24
5.2.6.	Selección de materiales	26
5.2.7.	Selección de materiales Diseño del conjunto mecánico para el transporte de Tubos	27
5.2.8.	Selección de materiales Diseño del conjunto mecánico para el posicionamiento de Tubos	29
5.2.9.	Selección de materiales Diseño del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos	31
5.2.10.	Selección de cilindros neumáticos	32
5.2.11.	Selección de pistones neumáticos comerciales para los actuadores 1, 2, 3 y 4	39
5.2.12.	Cálculo de componentes mecánicos	40
5.2.13.	Análisis por elementos finitos	41
5.3.	Diseño del sistema de control	45
5.3.1.	Selección del Controlador Lógico Programable (PLC)	48
5.3.2.	Análisis comparativo de controladores industriales	49
5.3.3.	Implementación del Sistema de Control en TIA Portal	52
5.4.	Diseño del sistema eléctrico	68
5.4.1.	Componentes eléctricos utilizados en el diagrama eléctrico	69
5.4.2.	Diagrama de conexión eléctrica	70

5.4.3. Simulación y control programado de un sistema electroneumático en entorno virtual.	74
5.5. Analizar los costos de implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	79
6. Resultados	88
6.1. Resultados de establecer los parámetros iniciales para el diseño de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	88
6.2. Resultados de la propuesta del diseño mecatrónico de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	89
6.3. Resultados del análisis de costos de implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	91
7. Conclusiones	92
8. Recomendaciones	93
9. Cronograma	94
Referencias	97
ANEXOS	98
ANEXO 1	99

Lista de Tablas

1.	Clasificación de los tubos por longitud	11
2.	Criterios de selección	19
3.	Matriz de decisión	20
4.	Materiales y características por aplicación	28
5.	Materiales y características por aplicación	30
6.	Materiales y características por aplicación	32
7.	Pesos calculados para tubos de 5/8" galvanizado ($e = 1.5 \text{ mm}$, $\rho = 7.85 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$).	34
8.	Fuerza de empuje necesaria para los tubos.	35
9.	Materiales y características por aplicación	40
10.	Controladores PLC	49
11.	Especificaciones de los componentes del sistema eléctrico y neumático.	69
12.	Asignación de entradas digitales del PLC y módulo de expansión digital.	73
13.	Asignación de salidas digitales para actuadores y luminarias.	74
14.	Presupuesto de recursos materiales mecánicos	80
15.	Presupuesto de componentes eléctricos, de control y neumáticos	81
16.	Costo de la mano de obra para el proyecto	82
17.	Costo total de la implementación del sistema	82
18.	Costos fijos	83
19.	Costos Variables	84
20.	Proyección de precios de Venta	84
21.	Estimación de producción de Tubos	85
22.	Ingresos de cada año de producción	85
23.	Egresos de cada año de producción	86
24.	Cálculo de utilidad operativa y Utilidad Neta	86
25.	Evaluación financiera: Flujo de efectivo neto e Indicadores	87
26.	Evaluación financiera: Flujo de efectivo neto e Indicadores	87
27.	Parámetros iniciales establecidos para la célula flexible	88
28.	Componentes del conjunto mecánico de transporte del tubo	89
29.	Componentes del conjunto mecánico para el posicionamiento de tubos	90
30.	Componentes del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos	91
31.	Costo total de la implementación de la célula flexible	91
32.	Evaluación financiera: Flujo de efectivo neto e Indicadores	92

33. Cronograma de actividades.	95
--	----

Lista de Figuras

1.	Ubicación de la Empresa Remibrass S.A.	5
2.	Proceso de conformado actual de la empresa Remibrass S.A.	9
3.	Tubos de 5/8 utilizados en Remibrass S.A.	10
4.	Conjunto mecánico de transporte	22
5.	Conjunto mecánico de posicionamiento	23
6.	Diseño del mecanismo de reposicionamiento y liberación del tubo	25
7.	Conjunto mecánico de transporte	27
8.	Conjunto mecánico de posicionamiento	29
9.	Diseño del mecanismo de almacenamiento de tubos	31
10.	Diagrama de cuerpo libre	41
11.	Esfuerzo equivalente	42
12.	Deformación total	43
13.	Factor de seguridad	44
14.	Célula Flexible	45
15.	Diagrama de bloques	46
16.	Diagrama de Espacio-Fase	48
17.	Siemens S7-1200	51
18.	Módulo de expansión digital SM 1223	52
19.	TIA Portal	53
20.	Diagrama de Flujo	54
21.	Variables PLC	55
22.	Segmento 1	56
23.	Segmento 2	57
24.	Segmento 3	58
25.	Segmento 4	59
26.	Segmento 5	60
27.	Segmento 6	61
28.	Segmento 7	62
29.	Segmento 8	63
30.	Segmento 9	64
31.	Segmento 10	66
32.	Segmento 11	68
33.	Diagrama electroneumático	71

34.	Diagrama unifilar	72
35.	NetToPlcSim	75
36.	KEPServerEx 6 Configuration	76
37.	Entorno FluidSim	77
38.	Entorno TIA Portal	78
39.	Entorno FluidSim y TIA Portal	79

Resumen

Este trabajo de titulación aborda el diseño y la simulación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A., con el fin de reducir la fatiga del operario, menorar las pérdidas de material por errores operativos y disminuir los tiempos muertos. Este sistema está guiado a la extracción y colocación de tubos de 5/8 de pulgada y longitudes variables, asegurando su debido posicionamiento durante el proceso de conformado.

La propuesta contiene el diseño mecánico del sistema, integrado por actuadores neumáticos, topes ajustables y guías lineales, permitiendo adaptar la máquina a varias longitudes de tubo. Para el control del sistema se usó un controlador lógico programable (PLC); también se usaron sensores y válvulas neumáticas para asegurar una secuencia de operación confiable y repetitiva.

Se hizo el análisis del componente crítico, correspondiente a la mesa de trabajo, mediante simulaciones en software, mostrándonos que el diseño trabaja dentro de los rangos admisibles de esfuerzo y deformación. Asimismo, se efectuó un análisis de costos para verificar la factibilidad de implementación de la célula flexible.

Al finalizar, se obtuvo un sistema mecatrónico que ayuda a la automatización del proceso de alimentación en máquinas CNC, dándonos una solución confiable y adaptable a nuevos procesos productivos en Remibrass S.A.

Palabras clave: Célula flexible, Automatización industrial, Máquina CNC, Conformado de tubería, Sistema mecatrónico, Neumática industrial, Control PLC.

Abstract

This degree project addresses the design and simulation of a flexible manufacturing cell adapted to a CNC machine for the tube forming process at Remibrass S.A., with the purpose of reducing idle times, decreasing operator fatigue, and minimizing material losses caused by operational errors. The system is intended for the extraction and placement of 5/8-inch diameter tubes of variable lengths, ensuring proper positioning during the forming process.

The proposal includes the mechanical design of the system, composed of pneumatic actuators, adjustable stops, and linear guides, allowing the machine to be adapted to different tube lengths. For system control, a programmable logic controller (PLC) was used, along with sensors and pneumatic valves to ensure a reliable and repetitive operating sequence.

An analysis of the critical component, corresponding to the worktable, was performed through software simulations, demonstrating that the design operates within allowable stress and deformation limits. Additionally, a cost analysis was carried out to verify the feasibility of implementing the flexible cell.

In conclusion, a mechatronic system was developed that contributes to the automation of the feeding process in CNC machines, providing a reliable and adaptable solution for new production processes at Remibrass S.A.

Keywords: Flexible cell, Industrial automation, CNC machine, Tube forming, Mechatronic system, Industrial pneumatics, PLC control.

1. Introducción

La automatización de procesos se ha vuelto esencial para las empresas que buscan aumentar su eficiencia operativa, competitividad y productividad en el entorno industrial actual. El avance tecnológico y la creciente demanda del mercado han impulsado la adopción de soluciones inteligentes y flexibles que permitan una mayor adaptación a las variaciones de producción, reducción de costos y mejoras en la calidad del producto. En este contexto, la empresa Remibrass S.A. enfrenta una limitación significativa en su proceso de fabricación: la alimentación manual de tubos a la máquina CNC. Este procedimiento no solo genera retrasos en la línea de producción, sino que también implica riesgos ergonómicos para los operarios y un uso ineficiente de los recursos disponibles. Además, el manejo manual de tubos de diferentes longitudes, aunque no pesados, añade complejidad al proceso, aumentando los tiempos de ajuste y la probabilidad de errores, lo que impacta en la productividad y calidad del producto.

El presente trabajo tiene como propósito diseñar una célula flexible de manufactura dirigida a automatizar tanto la alimentación como la extracción de los tubos de la máquina CNC. Este sistema, basado en principios de diseño mecatrónico, integra componentes mecánicos, eléctricos y de control para garantizar una operación eficiente, segura y adaptable. La célula flexible diseñada deberá adaptarse a las diferentes longitudes de los tubos, sin intervención manual, mejorando la precisión en el proceso y reduciendo los tiempos de ciclo por pieza. La propuesta busca eliminar la dependencia del proceso manual, disminuir los errores humanos, optimizar los tiempos de producción y mejorar las condiciones laborales del personal operativo.

El desarrollo del proyecto parte de un análisis detallado del proceso actual en planta, considerando las dimensiones físicas de los tubos, los tiempos de operación, las capacidades de carga y las condiciones del entorno de trabajo. A partir de esta evaluación, se definieron los requerimientos funcionales del sistema automatizado y se procedió al diseño conceptual de la célula flexible, evaluando alternativas tecnológicas que cumplan con los criterios de desempeño, seguridad y costo efectividad. La investigación se apoya en fundamentos teóricos de automatización industrial, diseño mecatrónico y sistemas de manufactura flexible, así como en referencias bibliográficas recientes y casos de aplicación similares en el sector.

Este trabajo no solo busca resolver una problemática puntual dentro de la línea de producción de Remibrass S.A., sino también sentar las bases para futuras mejoras tecnológicas en otras áreas de la empresa. La implementación de esta célula flexible representa una oportunidad para transformar el proceso productivo hacia un modelo más eficiente, replicable y alineado con las tendencias actuales de la industria 4.0.

2. Problema

2.1. Descripción del problema

Dentro de la empresa Remibrass S.A., el proceso actual de alimentación de tubos a la máquina CNC de conformado en frío se lleva a cabo manualmente, lo que, aunque es funcional, muestra restricciones muy importantes en cuanto a rapidez y eficacia. El manejo manual de los tubos nos lleva a un proceso lento y repetitivo que podría provocar fatiga en el operador. Adicionalmente, la exigencia de mantener una producción estable y la necesidad de manejar tubos de variados tamaños aumentan la carga de trabajo manual, lo que podría resultar en una disminución de la productividad y un incremento en la probabilidad de cometer errores. Ante esta situación, se necesita abordar las limitaciones del proceso actual y reducir la dependencia del trabajo manual, con el fin de optimizar la eficiencia y minimizar los riesgos asociados a la operación manual.

2.2. Antecedentes

La empresa Remibrass S.A. se dedica a la fabricación de tubos conductores para el paso de gas; también la empresa incluye procesos como corte, doblado, perforado, prensado y conformado de tubos galvanizados. En su línea de producción, el proceso de conformado en frío se lleva a cabo mediante una máquina CNC. En la actualidad, la alimentación del material se realiza de forma manual por el operario. Primeramente, el operario toma un tubo y lo coloca en la máquina CNC hasta llegar al tope de la máquina; después, mediante su pie, acciona un pedal que activa la prensa, la cual sujeta el tubo en su posición y lo mantiene inmóvil. Posterior a eso, la máquina CNC realiza el conformado en frío. Una vez acabado el proceso, la prensa se abre y el operario retira el tubo conformado, y el ciclo se repite con el siguiente tubo sucesivamente. Esta modalidad manual puede generar errores humanos; así también puede aumentar los tiempos de alimentación y puede exponer a los trabajadores a riesgos laborales derivados del manejo del material, pudiendo afectar negativamente a la productividad de la empresa.

El uso de sistemas automáticos de alimentación de materia prima para máquinas CNC ha demostrado ser una solución buena para mejorar la eficiencia y reducir los riesgos laborales en diferentes industrias. Diferentes empresas como Hoffmann Group han desarrollado el sistema de carga GARANT Automation Basic, que automatiza la carga y descarga de piezas en tornos, centros de fresado y mecanizado, mejorando tiempos de producción y reduciendo la operación manual (H. Group, 2022). De manera similar, YLM Group ha implementado

alimentadores automáticos controlados por PLC y accionados por servomotores, que pueden sincronizarse con robots para la carga y descarga automáticas de piezas, aumentando la estabilidad, velocidad y fiabilidad del proceso (Y. Group, 2019). WECOBOTS, también ofrece una solución WEBEND, que automatiza la alimentación de máquinas plegadoras, aumentando el rendimiento y reduciendo las tareas repetitivas y peligrosas para el operador. (Wecobots, 2020).

Otras empresas como Fijn Mekaniek Nelissen y Vullings Metaalbewerking también han implementado sistemas automatizados en sus fábricas de producción CNC. Nelissen optó por un sistema de bandejas automatizadas para la carga y descarga de piezas en la máquina CNC Mazak Integrex 200-IV, lo que mejoró los procesos dejando al lado la operación manual (Fanuc, 2021b). Vullings utilizó centros de mecanizado FANUC ROBODRILL junto con sistemas automáticos de alimentación de materia prima para garantizar un flujo constante de piezas, mejorando la precisión y reduciendo los tiempos de ciclo (Fanuc, 2021a).

En el ámbito académico, la Universidad Politécnica Salesiana diseñó un sistema de alimentación automático para una prensa excéntrica, lo que ayudó a mejorar los tiempos de operación y aumentó la seguridad del operario (Amaya Pinos Esteban, 2021). La Escuela Superior Politécnica del Litoral creó una solución automatizada para una línea de mecanizado CNC, utilizando un PLC y un robot para mover el material a diferentes estaciones, optimizando la eficiencia y reduciendo los tiempos de ciclo (Saltos Ruben, 2022).

Estos antecedentes nos muestran cómo la implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC no solo mejora la eficiencia y precisión, sino que también reduce los riesgos laborales y optimiza los tiempos de producción. La implementación de tecnologías similares en Remibrass S.A. podría realizar mejoras significativas en el proceso de conformado en frío, reduciendo pérdidas materiales y aumentando la competitividad de la empresa en el mercado.

2.3. Importancia y alcances

El proceso actualmente de la alimentación de la materia prima a la máquina CNC en la empresa Remibrass S.A. presenta tiempos de producción altos, principalmente por la falta de precisión en el proceso realizado por los operadores manualmente. Es por esto que se propone desarrollar una célula flexible adaptada a la máquina CNC que nos permita mejorar dichos tiempos y aprovechar mejor los recursos disponibles, de manera que puedan distribuirse a otras áreas de la producción. Así también, con esta mejora se busca también menorar las deficiencias presentes en esta estación de trabajo y generar un impacto positivo en la línea de

producción, mejorando el uso adecuado de recursos, la reducción de costos en materia prima, mano de obra y tiempos, así como un menor riesgo para el operador.

Este diseño de la célula flexible sí es posible, ya que contamos con la información necesaria sobre todo el proceso de producción y las condiciones óptimas de un correcto funcionamiento de la máquina. La información que nos proporciona la empresa se puede suplementar con referencias bibliográficas, ya sea de revistas, libros o sitios web relacionados con diferentes sistemas de automatización. También, la implementación de esta célula flexible no solo mejorará la eficiencia productiva, sino que también servirá como un modelo que se podrá replicar para futuras mejoras en diferentes áreas de la empresa, claro, con algunos cambios, promoviendo así la innovación tecnológica y el desarrollo continuo tecnológicamente.

En este proyecto, el enfoque se centrará en el diseño de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el conformado de tubos en frío, basándonos en los principios de la mecatrónica, con el propósito de crear un sistema que nos ayude a optimizar y mejorar el rendimiento. Esta célula flexible estará conectada directamente con la máquina CNC mediante un sistema automático que nos ayudará a alimentar de materia prima a la máquina CNC, garantizaremos una integración fluida y precisa, mejorando todo el proceso de conformado.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

La información se obtuvo de la empresa Remibrass S.A. la misma que se encuentra ubicada vía a Llacao sector Capulispamba como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación de la Empresa Remibrass S.A.



Nota: Ubicación georreferenciada de la Empresa Remibrass S.A.

2.4.2. Temporal

El desarrollo del trabajo de titulación se llevará a cabo durante la asignatura de Integración Curricular con un total de 240 horas.

2.4.3. Sectorial o institucional

Sector: Manufactura industrial

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseñar y simular una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros iniciales para el diseño de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

- Proponer el diseño mecatrónico de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.
- Analizar los costos de implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

4. Marco Teórico

4.1. Célula Flexible

Una célula flexible es un sistema de producción que integra equipos automatizados, como robots industriales, bandas transportadoras junto con una o más máquinas CNC, para trabajar con distintos tipos de productos sin necesidad de realizar grandes modificaciones. Gracias a esta configuración, se mejora la eficiencia y se reducen los tiempos muertos, ya que el sistema puede adaptarse rápidamente a cambios en las especificaciones del producto o en la demanda del mercado (Dih4e, 2020).

Normalmente, estas se organizan en configuración como una forma de U , para que el flujo de materia sea rápido, reduciendo movimientos innecesarios. Este diseño facilita que el operador pueda realizar diferentes tareas, disminuyendo los tiempos de espera y mejorando la producción. (Manufacturing, 2023)

4.2. Diseño Mecatrónico

El diseño mecatrónico es la sinergia de varias disciplinas que combina diferentes ingenierías como la ingeniería mecánica, eléctrica e informática, logrando crear productos o sistemas con diferentes componentes, tanto mecánicos como electrónicos. Se enfoca en la automatización de procesos mediante el control integrado, permitiéndonos el desarrollo de productos y sistemas automatizados. (Industriapedia, 2024)

4.2.1. Elementos Mecánicos

- Bandas transportadoras: Este producto se utiliza en la industria; se usa para mover materiales a diferentes lugares para realizar otros procesos. Asegurándonos de que el trabajo sea rápido y los costos de operación no sean muy altos. (Industrial, 2023a)
- Rieles Lineales

Los rieles lineales son componentes que pueden soportar cargas y permitir un movimiento lineal; estos sistemas garantizan desplazamientos precisos y continuos, lo que es necesario en sectores como la manufactura, la robótica y la automatización. Ofrecen alta precisión, estabilidad y durabilidad. (ES, 2024).

- **Estanterías de almacenamiento**

Estos optimizan el almacenamiento en las instalaciones; son compactos para aumentar la capacidad, dinámicos con rodillos de gravedad, las estanterías cantilever para materiales largos. Además, hay estanterías de entreplantas que aprovechan la altura. (Pm, 2023)

- **Cilindros neumáticos**

Los cilindros neumáticos son dispositivos que transforman la energía del aire comprimido en fuerza y movimiento. Debido a que permiten el movimiento de las partes en máquinas y sistemas, son cruciales para la automatización industrial. Además de encontrarse frecuentemente en instrumentos y sistemas neumáticos, se emplean en procesos como prensado, corte, sujeción, plegado y movimientos lineales.

4.2.2. Elementos de control

- **PLC (Controlador Lógico Programable):** Un Controlador Lógico Programable es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar procesos y maquinaria. Este funciona detectando señales del proceso y entregando acciones según la programación realizada, permitiéndonos realizar configuraciones y modificaciones por parte de los operadores según sea necesario. Los sistemas de control basados en relés son superados por estos dispositivos, que ofrecen más flexibilidad y eficiencia en la automatización de operaciones manuales repetitivas o peligrosas. (Saldias, 2023)

4.2.3. Elementos eléctricos

- **Sensores.** Los sensores son dispositivos que permiten detectar y medir condiciones físicas o químicas en un proceso de automatización, como temperatura, nivel, presión y movimiento. Su función es captar señales del entorno y transformarlas en información entendible para los sistemas de control, permitiendo a las máquinas detectar y reaccionar de manera adecuada en tiempo real. Estos sensores son esenciales para optimizar la operación de sistemas automatizados. (Electronica, 2021)

Aquí tienes tres tipos de sensores importantes:

Sensores de color: Los sensores de color detectan las diferentes tonalidades comparando la luz reflejada con valores ya establecidos, ayudándonos a clasificar de manera correcta por su color.

Sensores de proximidad: Detectan la presencia de objetos cercanos sin contacto físico. Son necesarios para la automatización industrial

Sensores de temperatura: Miden la temperatura de un objeto o ambiente. Son esenciales para el control térmico en procesos industriales. (Garcia, 2024)

- Actuadores eléctricos.

Son dispositivos que emplean motores, comúnmente motores reductores, accionados por electricidad para dar movimiento a un sistema. Son sistemas eléctricos que transmiten electricidad y señales; se controlan de forma sencilla y eficiente. Son utilizados en la industria del automóvil, control de válvulas, control de visión y transporte de piezas con alta precisión. Debido a su instalación sencilla, su facilidad de control y su seguridad son ideales para la automatización de procesos. (Industrial, 2023b)

5. Marco metodológico

5.1. Establecer los parámetros iniciales para el diseño de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

5.1.1. Proceso actual de conformado de tubos en Remibrass S.A.

Actualmente, la empresa Remibrass S.A. realiza la alimentación y extracción de tubos en la máquina CNC de conformado de forma manual, como se muestra en la Figura 2. Este método presenta varias limitaciones:

Tiempo de alimentación prolongado: El proceso manual de colocación y extracción de tubos toma un tiempo significativo, lo que afecta a una producción continua.

Precisión y repetibilidad variables: La colocación de la materia prima es manual, lo que da lugar a fallos de posición que afectan negativamente el acabado final del producto.

Falta de estandarización en el proceso: No existe un mecanismo que nos garantice una alimentación y extracción uniforme en cada secuencia, lo que limita la capacidad de mantener un ritmo constante de producción.

Exposición a riesgos laborales: Aunque el peso del tubo no es significativo, el manejo manual continuo puede generar fatiga y riesgo de accidentes laborales, especialmente durante jornadas prolongadas de una misma actividad.

Tiempo total por ciclo elevado: Actualmente, cada ciclo completo (alimentación, posicionamiento, conformado y extracción del tubo) toma aproximadamente 35 segundos, lo que representa un tiempo significativo si se considera que la máquina CNC opera en producción continua el 85% del turno laboral de 10 horas.

Falta de sincronización automática con la CNC: La ausencia de un sistema automatizado nos impide un buen acoplamiento entre la máquina CNC y el proceso de la colocación del tubo, obteniendo como resultado paros intermitentes y demoras que merman el rendimiento en la producción.

Figura 2

Proceso de conformado actual de la empresa Remibrass S.A.



Nota: En esta imagen se muestra cómo es el proceso de manera manual.

5.1.2. Requisitos y necesidades de la empresa Remibrass S.A.

Dentro de la empresa Remibrass S.A. se manejan tubos de diferentes longitudes, con un diámetro estándar de 5/8 de pulgada, como se muestra en la Figura 3. La máquina CNC de conformado debe ser capaz de adaptarse de manera eficiente a estas variaciones en la longitud de los tubos. A continuación, se presentan algunos parámetros clave que definen los requisitos de la célula flexible que se desea diseñar:

Figura 3

Tubos de 5/8 utilizados en Remibrass S.A.



Nota: La imagen muestra los tubos galvanizados de 5/8 pulgadas empleados en los procesos de la empresa Remibrass S.A

Tabla 1

Clasificación de los tubos por su longitud.

Característica del tubo	Longitud del tubo (m)
Tubo 1	0.70
Tubo 2	0.85
Tubo 3	0.865
Tubo 4	0.915
Tubo 5	0.930
Tubo 6	0.936
Tubo 7	0.939
Tubo 8	0.962
Tubo 9	0.968
Tubo 10	0.980
Tubo 11	0.983
Tubo 12	0.990
Tubo 13	1.070
Tubo 14	1.085
Tubo 15	1.092
Tubo 16	1.121
Tubo 17	1.145
Tubo 18	1.314
Tubo 19	1.530

Nota: La tabla muestra la clasificación de los tubos utilizados en el proceso de conformado en la empresa.

Con los datos de (Tabla 1), podemos establecer los rangos de longitud que la célula flexible debe manejar para alimentar y extraer los tubos de forma eficiente.

Capacidad de producción La célula flexible debe ser capaz de alimentar y extraer los tubos de la máquina CNC de manera continua durante la jornada laboral de 10 horas, manteniendo la producción en un ciclo constante con un 85% del tiempo de operación. Además, debe asegurar la capacidad de realizar el proceso de conformado de al menos 120 piezas por hora.

Tiempo de ciclo El ciclo completo de alimentación, posicionamiento, conformado y extracción de los tubos no debe pasar los 35 segundos por tubo, con el fin de optimizar los tiempos de producción y minimizar cualquier interrupción en el flujo continuo de la máquina CNC.

Adaptabilidad a diferentes longitudes El sistema debe ser flexible para adaptarse automáticamente a las diferentes longitudes de tubo, para garantizar que el proceso se realice de manera eficiente sin importar la variabilidad de tamaño de los tubos.

Integración con la máquina CNC El sistema de alimentación debe estar completamente adaptado con la máquina CNC, garantizando una sincronización precisa para evitar cualquier posible problema en los tiempos de producción, lo que podría generar problemas en el proceso del conformado en la máquina CNC.

Dimensiones físicas La célula flexible debe ajustarse a un espacio disponible en la empresa de 3 metros de largo por 2 metros de ancho en el área de producción de la planta, para optimizar el uso del espacio sin intervenir con otras áreas operativas.

Seguridad operativa La célula flexible debe tener características de seguridad, como sistemas de emergencia, protección contra errores de tiempos en el sistema de alimentación y mecanismos de seguridad para el operario.

Mantenimiento fácil El diseño del sistema debe permitir un fácil acceso a las partes críticas para realizar mantenimientos regulares y limpiezas sin necesidad de interrupciones largas en la producción. La célula debe ser fácil de acceder para realizar reparaciones rápidas en caso de fallos o realizar el mantenimiento necesario.

Costo de implementación El costo total del diseño e implementación de la célula flexible no debe superar los \$20,000, asegurando que la inversión se mantenga dentro del presupuesto establecido por la empresa y que el retorno sobre la inversión sea alcanzado en un plazo razonable.

5.1.3. Selección del sistema de automatización de alimentación y extracción

La selección del sistema de alimentación y extracción de tubos se ha realizado con base en un análisis detallado de las necesidades de la empresa Remibrass S.A. Después de revisar

diferentes opciones, se decidió por un sistema de alimentación automática, tomando en cuenta tanto la experiencia práctica de la empresa como los requisitos de operación.

Experiencia Práctica Remibrass S.A., con años de experiencia en la fabricación de tubos para el paso de gas, ha identificado que la automatización en el proceso de alimentación y extracción es el método más efectivo para optimizar el tiempo de producción y mejorar la precisión del proceso de conformado de los tubos. Además, consideran que este sistema es el más apropiado para las necesidades de su producción continua.

Capacidad de producción y tiempo de Ciclo El sistema está diseñado para alimentar y extraer los tubos en un ciclo continuo de 35 segundos por tubo, menorando los tiempos muertos de producción y logrando que la máquina CNC pueda estar en operación durante el 85% del tiempo en una jornada laboral de 8 horas, cumpliendo con el volumen necesario de producción.

Adaptabilidad y versatilidad: El sistema de alimentación y extracción está diseñado para ser compatible con tubos de diferentes longitudes, de hasta 1.53 metros, y se adapta a las variaciones de longitud con la menor intervención manual posible. Esta flexibilidad permite que el sistema responda correctamente a los cambios en las dimensiones del tubo sin requerir ajustes complicados y constantes por parte del operario.

Consideraciones de Espacio El sistema automatizado debe ajustarse al espacio dentro de la planta de producción en la empresa, con un diseño compacto que no sea muy grande ni pequeño, pero que sea perfecto para el proceso que se quiere realizar. El diseño de la célula flexible estará desarrollado para ajustarse a un área de 3 metros de largo por 2 metros de ancho.

Facilidad de uso y Mantenimiento Permitir una interacción fácil entre el operario y el sistema de la célula flexible. El diseño del sistema priorizará la facilidad de mantenimiento y limpieza, garantizando un acceso sencillo a las partes críticas y menorando los tiempos de inactividad durante tareas de mantenimiento o inspección.

5.1.4. Descripción de la función de la máquina

La célula flexible tendrá que ser capaz de colocar y extraer los tubos de la máquina CNC asegurando que el proceso de conformado sea el correcto y no tenga interrupciones. Durante

el ciclo de operación, la máquina automatizada alimentará los tubos de manera precisa y los extraerá una vez terminado el proceso de conformado, permitiendo que la máquina CNC continúe trabajando sin necesidad de intervención manual constante. Este proceso automatizado contribuirá a reducir los errores humanos, optimizando la eficiencia, mejorando la precisión y minimizando los riesgos laborales asociados con el manejo manual de los tubos.

5.1.5. Diseño del sistema de alimentación y extracción de tubos

Después del análisis detallado de los requerimientos de la empresa Remibrass S.A., y habiendo seleccionado el sistema automatizado como la solución más adecuada para mejorar el proceso de colocación y extracción de tubos en la máquina CNC de conformado, se procede al diseño de cada uno de los componentes y subcomponentes que conformarán esta decisión. El sistema estará compuesto por los siguientes elementos principales: estructura mecánica, sistema de transporte y posicionamiento del tubo, sistema de accionamiento y sujeción, sistema de control y visualización, así como tres propuestas conceptuales de diseño, que serán evaluadas por su factibilidad técnica y económica.

5.1.6. Estructura mecánica

La estructura estará construida con perfiles de acero estructural, diseñados para soportar el peso del sistema y garantizar rigidez durante el funcionamiento. Esta estructura será compacta para adaptarse al espacio disponible en planta, permitiéndonos integrar el sistema a la máquina CNC.

5.1.7. Sistema de transporte y posicionamiento del tubo

Este subsistema estará compuesto por un conjunto de rodillos motorizados, rieles lineales o bandas transportadoras, dependiendo de la propuesta seleccionada, que permitirán el desplazamiento del tubo desde la zona de carga hasta la posición final dentro de la prensa de la CNC. Se incluirán sensores de posición para garantizar una colocación precisa del tubo y evitar errores de posicionamiento. La alimentación se realizará de forma automática hasta que el tubo alcance el tope mecánico o virtual que asegure su correcta ubicación antes del conformado.

5.1.8. Sistema de accionamiento y sujeción

El sistema de colocación y extracción del tubo de la máquina CNC es crítico, ya que es necesario que el tubo llegue a la posición correcta para que la máquina CNC pueda realizar el proceso de conformado. Dependiendo del diseño, selecciona este sistema; incluirá actuadores neumáticos, servomotores y mecanismos de pinzas para sujetar el tubo. Así mismo, la extracción del tubo tiene que ser coordinada con el ciclo de trabajo de la CNC, volviendo a la posición inicial para depositar el tubo ya procesado sobre una bandeja.

5.1.9. Propuestas de diseño del sistema automatizado

Después de identificar las necesidades del proceso de colocación y extracción del tubo en la máquina CNC, se proponen 3 diferentes opciones. Estas propuestas consideran diferentes tipos de complejidad, componentes y necesidades técnicas; aquí nos permitirán elegir la que más cumple las necesidades de la empresa y los requerimientos operativos y de producción.

- **Propuesta 1: Sistema de alimentación mediante pistón neumático y pinza de sujeción fija** Esta propuesta se basa en un sistema neumático compuesto por pistones: uno que acciona la apertura y cierre de una pinza de sujeción fija y otro pistón lineal de doble efecto que se encarga de empujar el tubo desde la zona de carga hacia el interior de la máquina CNC.

Una vez que el tubo es posicionado por el primer pistón, la pinza neumática se activa y sujeta firmemente el tubo. Inmediatamente, el segundo pistón realiza el empuje lineal hasta colocar el tubo en la posición de conformado dentro de la prensa. Al concluir el ciclo de trabajo de la CNC, el mismo pistón lineal se retrae, extrayendo el tubo de la zona de trabajo para luego liberarlo mediante la apertura de la pinza. Este proceso se repite de forma consecutiva para el proceso de cada producto.

Componentes principales:

- Cilindro neumático de doble efecto para empuje y extracción
- Pinza neumática fija (accionada por un pequeño cilindro)
- Sensores de presencia y final de carrera
- Electroválvulas de control y unidad de tratamiento de aire

Ventajas:

- Sistema compacto y de fácil instalación

- Secuencia de trabajo simple y fácilmente repetible.
- Consumo de energía bajo y poca intervención manual.
- Menos componentes móviles.
- Menos complejo; por lo tanto, mayor accesibilidad a la máquina para mantenimiento.

Desventajas:

- Necesita presión de aire constante para funcionamiento continuo.
- Se necesita de sensores que estén bien calibrados.

Cálculos necesarios:

- Cálculo de la fuerza para los actuadores neumáticos.
- Diseñar la pinza para una correcta sujeción y que esta no se deforme.
- Posicionamiento óptimo de sensores para sincronización con la CNC

■ **Propuesta 2: Sistema de pinza con tornillo sin fin.**

En este diseño, el tubo es sujetado por una pinza mecánica que está sobre un tornillo sin fin. Se controlará mediante un motor eléctrico, permitiéndonos un desplazamiento preciso del tubo hacia la máquina CNC. Una vez completado el conformado, la dirección del husillo se invierte y el tubo es retirado hacia la posición inicial. Este sistema ofrece precisión en la colocación del tubo y es bueno para trabajos que necesitan que la velocidad sea controlada. Su mantenimiento no puede ser complicado.

Componentes principales:

- Husillo con tuerca móvil
- Motor eléctrico o servomotor
- Pinza eléctrica
- Soporte con guías lineales
- Encoder para control de posición

Ventajas:

- Buena precisión y se puede controlar la velocidad.

- Mayor consumo energético que sistemas neumáticos.
- Buen rendimiento en tareas repetitivas

Desventajas:

- Mayor costo inicial
- Difícil montaje y programación
- Mayor número de cálculos de torque e inercia

Cálculos necesarios:

- Selección del paso del husillo
- Torque necesario del motor
- Estimación de inercia
- Sincronización de entrada y salida del tubo

- **Propuesta 3: Banda transportadora bidireccional.** En esta opción, el tubo es transportado mediante una banda transportadora en dirección hacia una posición indicada. Al alcanzar la posición indicada, un empujador motorizado controlado por un servomotor hace el desplazamiento final del tubo hasta la máquina CNC. Una vez acabado el ciclo, la banda se activa en sentido inverso y transporta el tubo hacia el área de descarga.

Componentes principales:

- Banda transportadora bidireccional.
- Servomotor para la banda
- Empujador motorizado: actuador eléctrico.
- Guías para alineación del tubo
- Sensores de detección y parada.

Ventajas:

- Adaptabilidad a distintas longitudes.
- Menor riesgo de daños por contacto.
- Fácil acceso a mantenimiento

Desventajas:

- Tamaño grande del sistema
- Riesgo de desalineación si no se controla bien la guía
- Costo alto dependiendo del motor y control

Cálculos e investigaciones necesarias:

- Selección del motor para la banda
- Velocidad del empujador
- Diseño de guías.
- Programación de sincronización entre banda y empujador
- Tiempo de transferencia completo

5.2. Proponer el diseño mecatrónico de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

5.2.1. Justificación de selección de la Propuesta 1: Empuje mediante pistón neumático con pinza de sujeción móvil

Selección de la alternativa de solución: Con base en la problemática y requerimientos descritos anteriormente, se plantearon tres propuestas con diferentes niveles de complejidad y automatización. Para realizar la elección de la solución más adecuada, se definieron criterios técnicos clave que permiten comparar objetivamente el desempeño de cada alternativa, con su respectivo peso y rango de importancia, la que se define en la (Tabla 2). Aquí se presenta una pequeña descripción de cada criterio de selección:

- **Tamaño:** Es la compatibilidad del sistema con el espacio disponible en la empresa, priorizando soluciones que no interfieran con otros procesos en la planta.
- **Capacidad:** Revisar cuántos tubos puede procesar el sistema en un ciclo operativo, así como su adaptabilidad a diferentes longitudes sin necesidad de ajustes frecuentes, favoreciendo una mayor eficiencia operativa.
- **Autonomía:** Mide la capacidad del sistema para operar de forma continua y automática durante la jornada de trabajo, minimizando la intervención del operario y permitiendo sincronización directa con el ciclo de la máquina CNC.

- **Mantenibilidad:** Considera la facilidad con la que se puede realizar mantenimiento preventivo y correctivo al sistema, así como su limpieza.

Tabla 2

Criterios de selección

Criterio	Peso	Rango de importancia	Porcentaje de decisión
Capacidad	3.0	1	33.33 %
Tamaño	2.5	2	27.78 %
Autonomía	2.5	3	27.78 %
Mantenibilidad	1.0	4	11.11 %

Nota: En la tabla se detallan los criterios evaluados, indicando su peso específico y el nivel de importancia correspondiente.

Cada una de las propuestas fue evaluada en la matriz de decisión mostrada en (Tabla 3). Como resultado, se determinó que la Propuesta 1 es la alternativa más viable y eficiente para resolver la problemática de alimentación y extracción de material a la máquina CNC de la empresa Remibrass S.A.

Esta decisión se justifica debido a que el sistema permite una alimentación y extracción rápida y confiable de los tubos, se adapta adecuadamente al espacio físico disponible en planta gracias a su diseño compacto, su operación y mantenimiento resultan sencillos. Además, la combinación de actuadores neumáticos y pinzas móviles ofrece un equilibrio adecuado entre automatización, costo y facilidad de integración, lo que lo convierte en la opción óptima para las condiciones reales del entorno industrial.

Tabla 3*Matriz de decisión*

Alternativas	Capacidad (3.0)	Tamaño (2.5)	Autonomía (2.5)	Mantenibilidad (1.0)	Puntaje	Prioridad
Alternativa 1	3.0	3.0	2.5	3.0	25.75	1
Alternativa 2	2.0	2.5	2.0	2.0	19.25	2
Alternativa 3	1.5	1.5	2.0	1.5	14.75	3

Nota: En la tabla se presenta la justificación de la selección de la alternativa 1, basada en los resultados obtenidos a través de la matriz de decisión.

Descripción técnica de la propuesta seleccionada Como se puede ver en la (Tabla 3) la propuesta seleccionada es la alternativa 1, la cual emplea dos actuadores neumáticos: uno que acciona una pinza de sujeción fija y otro pistón lineal de doble efecto que realiza el empuje del tubo hacia la máquina CNC. El ciclo inicia con el cierre de la pinza neumática para sujetar el tubo. Luego, el pistón lineal lo empuja hasta su posición final dentro de la prensa de conformado. Una vez finalizado el proceso, el mismo pistón lineal se retrae, extrayendo el tubo hacia la zona de descarga. Finalmente, la pinza se abre para liberar el tubo y queda lista para repetir el proceso.

Este diseño no utiliza rieles motorizados, lo que reduce la complejidad mecánica, manteniendo una estructura compacta y de fácil mantenimiento.

Comparación frente a otras propuestas Propuesta 2 (Tornillo sin fin con pinza móvil): Aunque este sistema ofrece buena precisión de posicionamiento, tiene una mayor complejidad mecánica. Se necesita control preciso de velocidad, posicionamiento mediante encoders y mayor inversión en programación, mantenimiento y componentes, incrementando el costo del sistema de la célula flexible.

Propuesta 3 (Banda transportadora con empujador): Necesita mayor espacio físico, lo que presenta una limitación ante las necesidades de la planta. Además, la sincronización entre el empujador y la banda necesita una mayor complejidad de mecanismos y de programación, elevando el costo de instalación y de mantenimiento a diferencia de la propuesta 1.

Elementos necesarios para el diseño Para el diseño de esta propuesta, se deben seleccionar y dimensionar bien los siguientes componentes:

- **Cilindro neumático:** Tener la fuerza suficiente para mover tubos de diferentes dimensiones.
- **Pinza neumática:** Asegurar una buena sujeción del tubo sin deformar; se necesitará agregar gomas antideslizantes en las mordazas.
- **Sensores de posición:** Para controlar la posición de todos los actuadores neumáticos y la detección del tubo para sincronizar correctamente el proceso de alimentación y la máquina CNC.
- **Electroválvulas y unidad de tratamiento de aire:** Para controlar los actuadores neumáticos de manera segura.
- **Controlador lógico programable (PLC):** Gestionará las señales de entrada y salida del sistema, coordinará los movimientos y permitirá una correcta integración con la máquina CNC.

5.2.2. Diseño mecánico del sistema de alimentación para CNC de tubos

Para el diseño del sistema de alimentación automatizado se consideraron criterios mecánicos simples, robustez estructural y eficiencia neumática. Se evitó el uso de geometrías complejas con el objetivo de facilitar tanto el proceso de fabricación como el de mantenimiento.

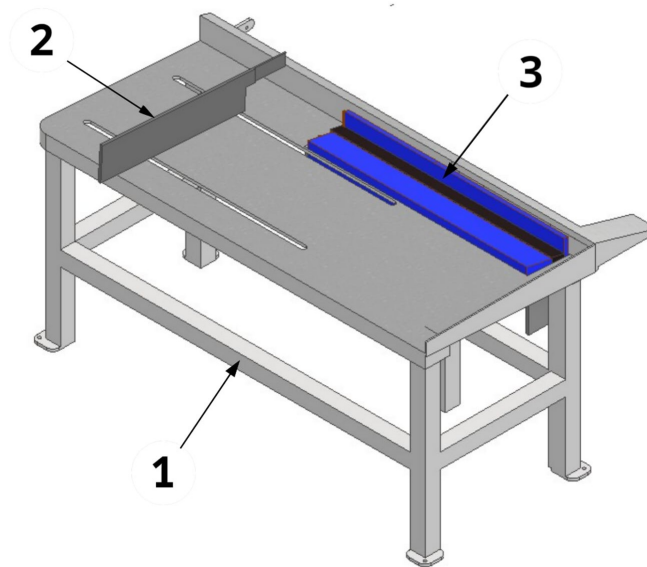
Uno de los principales parámetros considerados fue las diferentes longitudes de los tubos utilizados, así como el correcto posicionamiento y sujeción durante el proceso de alimentación y extracción. También, se prefirió el uso de componentes neumáticos estandarizados para tener una buena compatibilidad entre piezas.

5.2.3. Diseño del conjunto mecánico para el Transporte de Tubos

Como se puede visualizar en la Figura 4 el conjunto de transporte de tubos está compuesto por varios elementos mecánicos, donde su objetivo principal es desplazar el tubo desde su posición inicial hasta el sitio de posicionamiento. Cada una de las piezas cumple un rol específico dentro del funcionamiento general, contribuyendo a la estabilidad, precisión y eficiencia del proceso de transferencia. Aquí se describen y enumeran los componentes que conforman el conjunto.

Figura 4

Conjunto mecánico de transporte



Nota: En la Figura se puede ver el conjunto del sistema de transporte

Pieza 1: Es la parte principal del sistema; nos da soporte estructural para soportar el peso de la materia prima y los demás componentes. Esta mesa de trabajo está construida con perfiles de tubos cuadrados soldados, para garantizar los movimientos o vibraciones que pueden generar todos los componentes. Aquí se consideró la altura de la máquina CNC para un correcto posicionamiento y las dimensiones que nos dio la empresa.

Pieza 2: Guía lateral regulable. La guía lateral regulable está diseñada para ajustar y seleccionar la longitud de tubos que se va a procesar. Esta nos ayuda a sujetar de manera correcta, evitando que existan desplazamientos laterales para que el tubo llegue a su próxima estación de trabajo sin complicaciones.

Pieza 3: Grada elevadora está accionada neumáticamente. Aquí se utilizará un cilindro neumático de doble efecto, donde la posición inicial será retraído para que los tubos se coloquen correctamente en la grada. Una vez colocados los tubos, la grada sube escogiendo solo un tubo para el siguiente ciclo. La grada elevadora nos ayuda con el problema de selección de tubos, procesando un tubo a la vez.

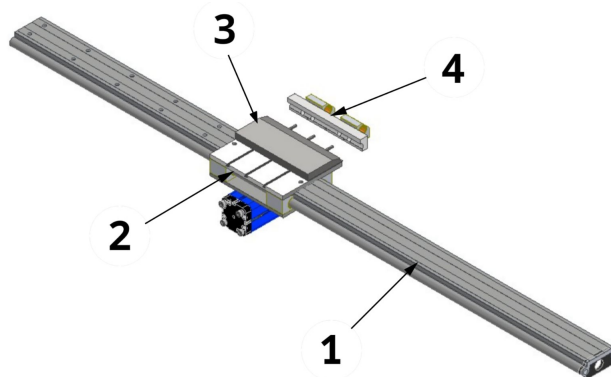
Los planos de este conjunto se encuentran en el anexo 1.

5.2.4. Diseño del conjunto mecánico para el posicionamiento de Tubos

Como se puede ver en la Figura 5, el conjunto de posicionamiento lineal nos ayuda a colocar el tubo de manera correcta dentro de la máquina CNC. Todo este conjunto contiene diferentes mecanismos que trabajan conjuntamente para colocar el tubo de manera correcta en la CNC. El uso de carros móviles de guías lineales nos ayuda a que el movimiento sea lineal y obtengamos así un ciclo de trabajo repetible.

Figura 5

Conjunto mecánico de posicionamiento



Nota: En la Figura se puede ver el conjunto del sistema de posicionamiento lineal para tubos

La pieza 1: Esta es la guía lineal donde se desplazará el carro móvil, garantizándonos un movimiento recto y preciso moviendo el carro móvil longitudinalmente. La guía lineal nos ayuda a que el sistema sea repetitivo y no tenga ningún problema ocasionado por vibraciones provocadas por el sistema neumático.

La pieza 2: Este es el carro móvil que se moverá a lo largo de la guía lineal. Este carro móvil está diseñado para que pueda soportar elementos necesarios para el posicionamiento del tubo, como actuadores neumáticos y placas de sujeción. Su estructura debe ser la correcta para moverse de manera precisa sobre la guía lineal sin ninguna complicación.

La pieza 3: Este consta de dos principales mecanismos la primera que actúa como pinza donde se utilizará un pistón neumático para la sujeción del tubo y la otra pieza que nos ayuda de soporte para el tubo donde el actuador neumático tendrá como posición inicial el pistón

extraído, Este sistema funciona conjuntamente ya que al momento que el tubo llegue a este conjunto la pieza de soporte debe ayudar a sostener el tubo, una vez que el sensor detecte que el tubo llego a su posición la pieza 3 debe cerrarse para sujetar el tubo, ya que este esté sujetado la pieza 2 el carro móvil se desplaza hacia la máquina CNC.

La pieza 4 es el carro móvil que nos ayuda a cerrar la pinza correctamente; este actúa como un carro auxiliar que, al cerrar la pinza, se vuelve un solo conjunto, posibilitándonos movernos mediante el carro móvil (pieza 2), hacia la máquina CNC. Esta pieza está diseñada para que trabajen de forma conjunta, para asegurarnos un movimiento uniforme y que puedan realizar un trabajo cíclico.

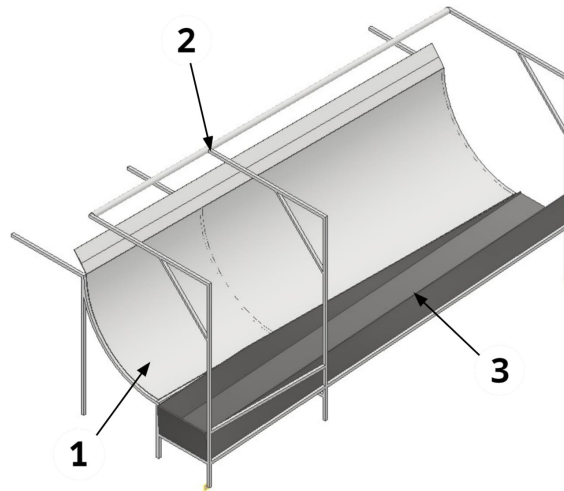
Los planos de este conjunto se encuentran en el anexo 2.

5.2.5. Diseño del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos.

Como se puede ver en la figura 6, el sistema de almacenamiento de tubos procesados empieza una vez acabado el proceso de posicionamiento del tubo. Ya que este proceso acabe, el carro móvil pieza 2 figura 5 regresa a su posición inicial. Una vez asegurada su posición, los pistones de la pinza se abren para dejar caer el tubo por gravedad hasta la tolva de almacenamiento de tubos procesados. Este proceso asegurará una descarga automática y segura, sin una necesidad grande de la intervención de un operario.

Figura 6

Diseño del mecanismo de reposicionamiento y liberación del tubo.



Nota: En la Figura se puede ver el Conjunto de rampa, estructura de soporte y tolva de almacenamiento.

La pieza 1: Esta es la rampa que nos ayudará a dirigir el tubo hacia la tolva; se diseñó de manera curvada para disminuir la fricción entre metales, ayudándonos a prevenir golpes al producto final. Esta nos garantizará un guiado correcto, previniendo desviaciones durante la caída del tubo.

La pieza 2: Es la estructura que soportará todo este conjunto de almacenamiento de tubos procesados; está construida con perfiles cuadrados soldados entre sí. Está diseñada para que pueda garantizarnos estabilidad mecánica al sistema.

La parte 3: Esta es la tolva de almacenamiento donde estarán todos los tubos ya procesados. Esta tolva está inclinada 30° , ya que el tubo normalmente sale con líquido refrigerante, así una vez que este caiga en la tolva, el líquido se quede dentro de la misma para después poder recoger este líquido sin riesgos de derrame sobre el área de trabajo.

Los planos de este conjunto se encuentran en el anexo 3.

5.2.6. Selección de materiales

Se deben tener en cuenta varios factores para una correcta selección de materiales; aquí consideramos los siguientes:

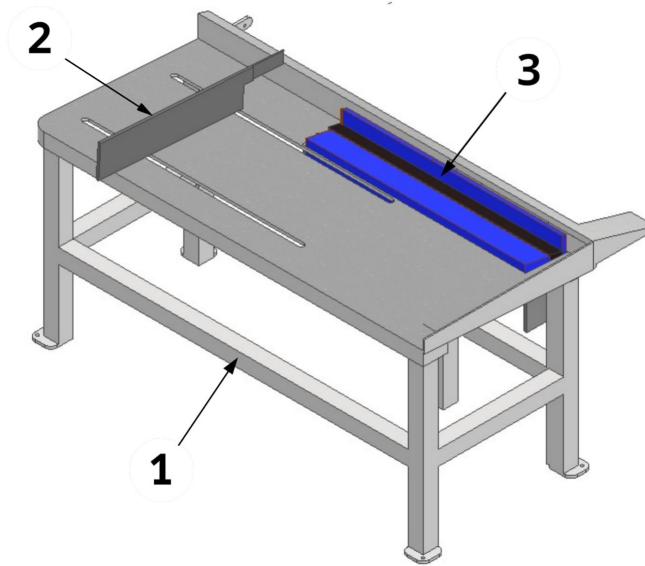
- Ser resistentes a la corrosión para que puedan soportar el ambiente laboral, ser resistentes al polvo, aceite y viruta que puede existir.
- Debe ser un material fácil de manipular, para una fabricación y un mecanizado más fácil.
- El material debe estar disponible en el mercado para que, en caso de posible reemplazo, se pueda adquirir de una manera rápida.

Para escoger los componentes neumáticos, primero se obtuvieron las necesidades del sistema. Una vez obtuvimos esto, buscamos en el mercado componentes que se adapten a nuestras necesidades, a las especificaciones técnicas y a los cálculos realizados, priorizando marcas que sean reconocidas y que existan en nuestro entorno para evitar mucho tiempo en caso de necesitar algún repuesto.

5.2.7. Selección de materiales Diseño del conjunto mecánico para el transporte de Tubos

Figura 7

Conjunto mecánico de transporte



Nota: En la Figura se puede ver el conjunto del sistema de transporte

A continuación, en la (Tabla 4), se pueden ver los materiales seleccionados para el diseño del conjunto mecánico de transporte Figura 7.

Tabla 4*Materiales y características por aplicación*

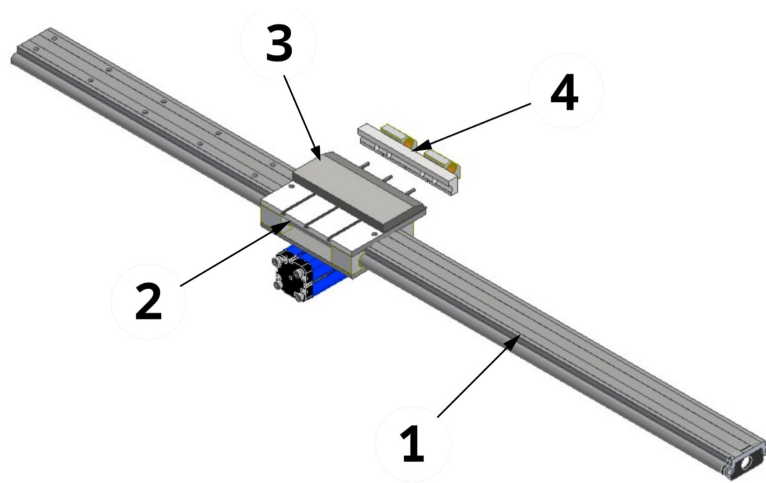
Pieza	Material	Características
Pieza 1 Mesa de trabajo (soporte principal del sistema) Tablero mesa	Tubo estructural cuadrado galvanizado Plancha de acero A36	Alta soldabilidad Calidad SAE J 403 1008 Acero estructural de bajo carbono
Pieza 2 Guía lateral regulable	Plancha de acero A36	Fácil conformado Buena soldabilidad Resistencia estructural adecuada
Rampa Pieza 3 Grada elevadora	Grilón Aluminio 6061-T6	Facilidad de mecanizado Ligero y resistente

Nota: Esta tabla muestra los materiales seleccionados para cada aplicación del sistema, junto y sus propiedades técnicas.

5.2.8. Selección de materiales Diseño del conjunto mecánico para el posicionamiento de Tubos

Figura 8

Conjunto mecánico de posicionamiento



Nota: En la Figura se puede ver el conjunto del sistema de posicionamiento lineal para tubos

A continuación, en la (Tabla 5), se muestran los materiales seleccionados para el diseño del sistema mecánico de posicionamiento Figura 8.

Tabla 5*Materiales y características por aplicación*

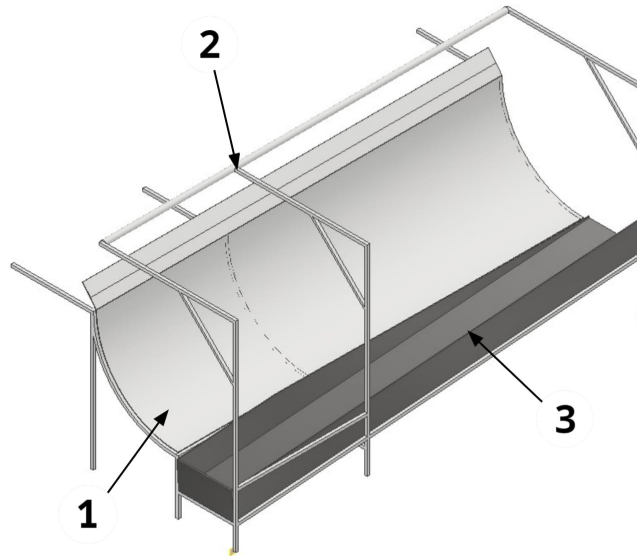
Pieza	Material	Características
Pieza 1 Guía lineal	Acero SAE 1045	Alta rigidez, buena soldabilidad, resistencia a la corrosión, adecuado para cargas lineales.
Pieza 2 Carro móvil	Aluminio 6061-T6	Ligero y resistente, alta resistencia a la corrosión, fácil mecanizado.
Pieza 3 Módulo móvil que integra una pinza de sujeción	Aluminio 6061-T6	Ligero y resistente Alta resistencia a la corrosión Fácil mecanizado y soldadura
Pieza 4 Carro móvil auxiliar	Aluminio 6061-T6	Ligero y resistente, alta resistencia a la corrosión, fácil mecanizado.

Nota: La tabla muestra los materiales seleccionados para cada aplicación del sistema, junto con sus propiedades técnicas.

5.2.9. Selección de materiales Diseño del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos

Figura 9

Diseño del mecanismo de almacenamiento de tubos



Nota: En la Figura se puede ver el Conjunto de rampa, estructura de soporte y tolva de almacenamiento.

A continuación, en la (Tabla 6), se pueden ver los materiales seleccionados para el diseño del sistema de almacenamiento Figura 9.

Tabla 6*Materiales y características por aplicación*

Pieza	Material	Características
Pieza 1 Rampa de descarga	Acero inoxidable, espesor 1.5 mm.	Chapa metálica resistente y versátil,
Pieza 2 Estructura de soporte	Tubo estructural cuadrado	Buena soldabilidad Resistencia estructural adecuada
Pieza 3 Tolva de almacenamiento	Plancha de acero A36	Fácil conformado Buena soldabilidad Resistencia estructural adecuada

Nota: Esta tabla presenta los materiales seleccionados para cada aplicación del sistema, junto con sus propiedades técnicas.

5.2.10. Selección de cilindros neumáticos

Para que el sistema funcione bien y con las condiciones del trabajo revisadas, se necesita realizar varios cálculos que nos ayuden a encontrar los requerimientos mínimos de cada actuador neumático. Aspectos como la fuerza para mover los tubos, la presión que se tiene disponible dentro de la planta y, lo más importante, el diámetro de cada cilindro para verificar su fuerza.

A continuación, se presentan todos los procedimientos realizados para una correcta selección de los componentes neumáticos; se utilizarán valores reales de masa, presión y las condiciones de fricción del sistema; todo esto es necesario para un correcto cálculo y, por lo tanto, una correcta selección de componentes.

Cálculo del peso de los tubos

El peso de un tubo metálico se determina al multiplicar su densidad por su volumen. Este volumen, a su vez, se obtiene como el producto entre la longitud del tubo y el área de su sección transversal hueca. (Calcuivio, 2025)

El acero al carbono puro tiene una densidad aproximada de $7,8 \text{ g/cm}^3$, aunque este valor puede variar ligeramente, entre $7,75$ y $8,05 \text{ g/cm}^3$, depende de la aleación que tiene. Ya que es

acero galvanizado, el recubrimiento de zinc es muy delgado y liviano; por lo tanto, su densidad total será despreciable. Por ello, se continúa utilizando el mismo valor estándar de densidad para ambos materiales. (Steel, 2017)

$$\text{Peso} = \left(\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right) \cdot L \cdot \rho \quad (1)$$

- D : Diámetro exterior del tubo [mm]
- d : Diámetro interior del tubo [mm], también llamado diámetro menor
- L : Longitud del tubo [mm]
- ρ : Densidad del material [g/mm³]
- $\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$: Área transversal de la sección hueca del tubo [mm²]

Tabla 7

Pesos calculados para tubos de 5/8" galvanizado ($e = 1.5 \text{ mm}$, $\rho = 7.85 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$).

Longitud L [mm]	Peso [kg]
700	0.372
850	0.452
865	0.460
915	0.487
930	0.495
936	0.498
939	0.499
962	0.512
965	0.513
980	0.521
983	0.523
990	0.526
1070	0.569
1085	0.577
1092	0.581
1121	0.596
1145	0.609
1314	0.699
1530	0.814

Nota: La tabla presenta el peso de los tubos utilizados en el proceso de conformado, según su longitud.

En la (Tabla 7) se presentan los pesos calculados para los tubos galvanizados de 5/8" utilizados en el proceso de conformado de tubería; se consideró un espesor de pared de 1.5 mm y una densidad del acero de $7.85 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$. Los valores que se obtuvieron nos ayudan a saber cuál es la carga que vamos a mover en el sistema; esto es fundamental para la correcta selección de los cilindros neumáticos y la estructura que soportará el peso de los tubos.

Cálculo de fuerza necesaria para mover los tubos

La fuerza que se necesita para mover un tubo en una superficie metálica se calcula:

$$F = \mu \cdot W = \mu \cdot m \cdot g \quad (2)$$

- $\mu = 0.3$: Coeficiente de fricción
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$: Aceleración de la gravedad
- m : Masa del tubo [kg]
- W : Peso del tubo [N]

Para el tubo más pequeño (700 mm)

$$m = 0.372 \text{ kg}$$

$$F = 0.3 \cdot 0.372 \cdot 9.81 = 1.095 \text{ N}$$

Para el tubo más grande (1530 mm)

$$m = 0.814 \text{ kg}$$

$$F = 0.3 \cdot 0.814 \cdot 9.81 = 2.397 \text{ N}$$

Tabla 8

Fuerza de empuje necesaria para los tubos.

Tubo	Masa (kg)	Fuerza (N)
Más pequeño (700 mm)	0.372	1.10
Más grande (1530 mm)	0.814	2.40

Nota: en la tabla se muestra la fuerza necesaria para mover los tubos utilizados en el proceso de conformado, según su longitud.

En la (Tabla 8) se puede ver que para mover un tubo de 700mm se necesita una fuerza de 1.10 N y para el tubo más grande utilizado en la planta de producción se necesita una fuerza de 2.40N.

Aunque parezca una pequeña diferencia de fuerza, al momento de dimensionar es muy necesario para seleccionar el componente neumático con un margen de seguridad y otros factores como:

- Fricciones adicionales (guías, residuos, desgaste)
- Inclinaciones leves de la superficie
- Variaciones en el coeficiente de fricción por humedad o polvo

Cálculo del diámetro mínimo del cilindro neumático (1) de empuje: La fuerza que tiene un cilindro se calcula considerando la presión que tendrá el cilindro y sobre la que actuará; por lo que la fuerza es igual al producto de la presión por el área efectiva del pistón, expresado como:

$$F = P \times A \quad (3)$$

donde:

- F Fuerza generada por el cilindro, en Newtons (N);
- P Presión dentro del cilindro, en pascales (Pa);
- A Área del pistón, en metros cuadrados (m^2).

Si no se conoce el área del pistón, se puede calcular en función del diámetro D del pistón mediante la fórmula del área de un círculo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

Sustituyendo esta expresión en la fórmula de la fuerza, se tiene:

$$F = P \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

De la última fórmula se puede despejar el diámetro D para tener una relación entre la fuerza requerida, la presión aplicada y el diámetro del pistón, como se verá en la siguiente sección (Hoyos, 2023).

Presión de trabajo:

$$P = 100 \text{ psi} = 689000 \text{ Pa}$$

Fórmula despejando D:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}} \quad (6)$$

Para el tubo más pequeño ($F = 1.10\text{N}$)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.10}{\pi \cdot 689000}} = \sqrt{\frac{4.40}{2164644.46}} = \sqrt{2.03 \times 10^{-6}} = 0.001425 \text{ m} = \boxed{1.43 \text{ mm}}$$

Para el tubo más grande ($F = 2.40\text{N}$)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.40}{\pi \cdot 689000}} = \sqrt{\frac{9.60}{2164644.46}} = \sqrt{4.44 \times 10^{-6}} = 0.00211 \text{ m} = \boxed{2.11 \text{ mm}}$$

Cualquier cilindro neumático con un diámetro mayor a 2.2 mm puede mover incluso el tubo más pesado con 100 psi de presión. Entonces, cilindros pequeños ($\varnothing 12 \text{ mm}$, $\varnothing 16 \text{ mm}$ o más) serán suficientes para el sistema.

Cálculo del diámetro mínimo del cilindro neumático (2) de la grada elevadora

Ya que la grada elevadora va a mover al mismo tiempo varios tubos, se debe seleccionar un caso extremo: la longitud más grande del tubo; así no tendrá ningún problema con los tubos de menos longitud. Primero se determina el peso total de los tubos y después se calcula la fuerza de fricción y, finalmente, con la fuerza y la presión de trabajo, se podrá determinar el diámetro de acuerdo con la ecuación 6; este será el mínimo necesario para mover tal cantidad de tubos.

Cálculos

$$m_{\text{tubo}} = 0.814 \text{ kg}$$

$$m_{\text{total}} = 30 \times 0.814 = 32.56 \text{ kg}$$

$$F_{\text{total}} = 0.3 \cdot 32.56 \cdot 9.81 = 95.82 \text{ N}$$

Diámetro teórico del cilindro

$$D = \sqrt{\frac{4(95.82)}{\pi(689000)}} = 13.3 \text{ mm}$$

Aunque el valor teórico nos da un diámetro mínimo aproximado de 13 mm, este valor no ve las pérdidas internas que puede haber por fricción, fugas, desalineaciones mecánicas ni

variaciones de presión reales del sistema. Además, los cilindros de diámetros pequeños operan más cerca de su límite de capacidad.

Cálculo del diámetro mínimo del cilindro neumático (3) para las mordazas

El siguiente cálculo se realiza con el objetivo de determinar la fuerza mínima que debe realizar la pinza neumática para sujetar un tubo de diámetro 5/8" y una longitud máxima de 1530 mm. Este análisis garantiza que el tubo quede firmemente fijado sin dañarse, considerando que se utilizarán almohadillas de goma, las cuales aumentan el coeficiente de fricción.

Peso del tubo: Se calcula el peso del tubo de mayor longitud para asegurar que, si la pinza puede sujetar este caso, también podrá sujetar tubos de menor longitud.

$$m = 0.814 \text{ kg}, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W = mg = 0.814 \times 9.81 = 7.98534 \text{ N}$$

Factor de seguridad y coeficiente de fricción: El factor de seguridad asegura que la pinza sujete en condiciones reales. El coeficiente de fricción corresponde a goma contra metal.

$$S_f = 1.5, \quad \mu = 0.30$$

Fuerza total requerida de sujeción:

$$N_{\text{total}} = \frac{W \cdot S_f}{\mu} \quad (7)$$

$$N_{\text{total}} = \frac{7.98534 \times 1.5}{0.30} = 39.9267 \text{ N}$$

Fuerza requerida por cada mandíbula: La pinza tiene dos mordazas, por lo que la fuerza se reparte entre ambas.

$$N_{\text{mandíbula}} = \frac{N_{\text{total}}}{2} \quad (8)$$

$$N_{\text{mandíbula}} = \frac{39.9267}{2} = 19.96335 \text{ N}$$

Presión de trabajo del sistema neumático:

$$P = 6 \text{ bar} = 689000 \text{ Pa}$$

Área mínima requerida del pistón:

$$A_{\text{cil}} = \frac{N_{\text{total}}}{P} \quad (9)$$

$$A_{\text{cil}} = \frac{39.9267}{689000} = 5.7967 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Diámetro mínimo del pistón:

$$d_{\text{cil}} = \sqrt{\frac{4A_{\text{cil}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.7967 \times 10^{-5}}{\pi}} = 8.59 \text{ mm}$$

Para finalizar esta sección, el diámetro mínimo calculado del cilindro requerido para generar la fuerza de sujeción es de 8.60 mm. Dado que este valor no existe comercialmente, se debe seleccionar el diámetro superior disponible. Los tamaños estándar más cercanos son $\varnothing 10$ mm y $\varnothing 12$ mm, siendo ambos adecuados para garantizar la fuerza necesaria. Considerando tolerancias reales de presión, pérdidas y fricción interna, se recomienda utilizar un cilindro de al menos $\varnothing 10$ mm, pudiendo optarse por $\varnothing 12$ mm si se desea un mayor margen de seguridad.

5.2.11. Selección de pistones neumáticos comerciales para los actuadores 1, 2, 3 y 4

Una vez realizados los cálculos, se obtuvieron las fuerzas necesarias, el diámetro y la fuerza de cada componente neumático; se realiza una búsqueda de los cilindros neumáticos en el mercado. En particular, se consultó el catálogo técnico de la marca Festo, reconocida por su calidad y variedad en actuadores neumáticos. Como podemos ver en la (Tabla 9), se identificaron los modelos que más se ajustan a los requerimientos establecidos, seleccionando aquellos cuya relación entre diámetro y fuerza desarrollada resulta adecuada para el funcionamiento óptimo del sistema.

Tabla 9*Materiales y características por aplicación*

Descripción	Requerimientos	Modelo en el mercado	Características
1. Pistón de doble efecto que se utiliza para colocar el tubo dentro de la máquina CNC.	Fuerza: 2.4N Diámetro 2.11mm	DSNU-25-400-P-A	Pistón magnético con amortiguación neumática Cilindro neumático de doble efecto
2. Pistón de doble efecto que se utiliza para la grada elevadora	Fuerza: 72N Diámetro 12mm	DSBC-32-150-PPSA-N3	Amortiguación neumática ajustable Alta rigidez estructural
3-4. Pistón usado para la pinza de sujeción de tubos	Fuerza: 20N Diámetro 9mm	DSBC-32-125-PPSA-N3	Doble efecto Amortiguación ajustable para evitar impactos

Nota: La tabla presenta los modelos seleccionados para los cilindros neumáticos, junto con sus propiedades técnicas más relevantes.

5.2.12. Cálculo de componentes mecánicos

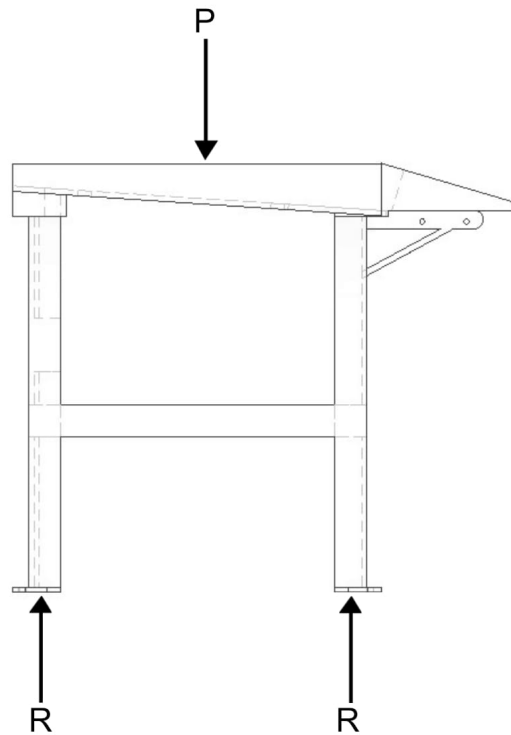
El cálculo de los componentes mecánicos es muy importante en el diseño, ya que nos ayuda a verificar que los esfuerzos a los que están sometidas las máquinas puedan resistir durante su operación. Como se observa en la Figura 10, para el sistema se ha considerado la aplicación de una fuerza vertical que es el peso total de los tubos colocados sobre la mesa, los que son de diferentes longitudes del tubo y con un mismo diámetro; las longitudes del tubo dependerán de las necesidades de la planta.

Ya que el sistema está diseñado para trabajar con diferentes longitudes de tubo, se escogió el tubo de longitud más grande para llevarlo a un caso extremo, permitiéndonos ver mediante la simulación que la carga se transmite a la estructura de la mesa que soportará todo el sistema que estamos diseñando aquí. Verificaremos si nuestra estructura está trabajando

dentro de los rangos normales.

Figura 10

Diagrama de cuerpo libre



Nota: Diagrama de cuerpo libre de la célula flexible

Primero se realizó el diagrama de equilibrio estático de la mesa de soporte; se procede a realizar los debidos cálculos de los esfuerzos y deformaciones por medio del análisis de elementos finitos. Aquí podremos evaluar cómo se comporta la estructura bajo la carga máxima que corresponderá al total de tubos colocados encima de la mesa de trabajo.

5.2.13. Análisis por elementos finitos

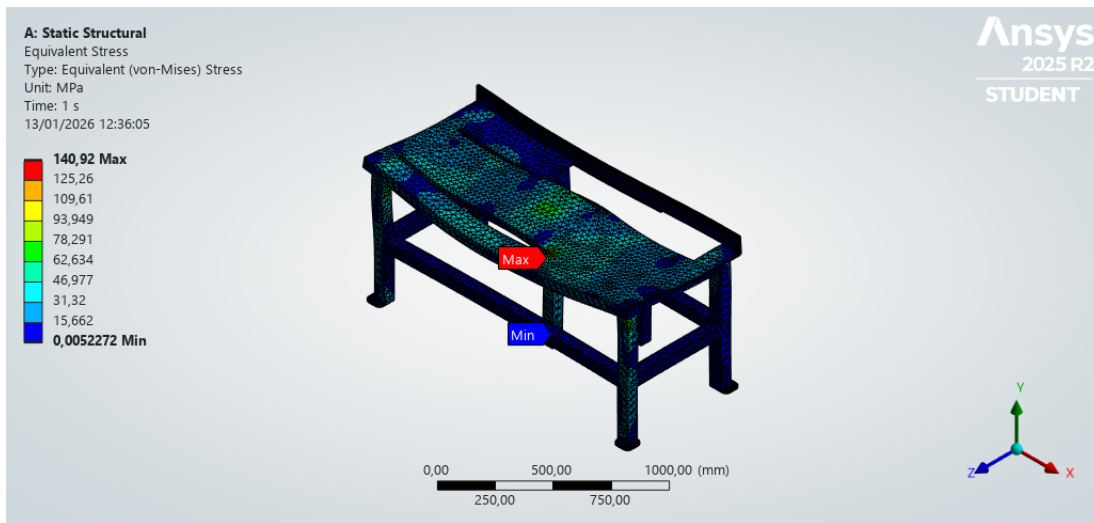
Para la validación estructural del diseño, se empleó el software ANSYS Mechanical 2025 R2, permitiendo evaluar el comportamiento de la estructura bajo condiciones de carga estática. A continuación, se detallan los tres indicadores fundamentales obtenidos en la simulación.

Esfuerzo Equivalente de Von Mises

Este análisis nos ayuda a determinar la intensidad de las fuerzas internas en el material; como se puede ver en la figura 11, el esfuerzo máximo equivalente de Von Mises registrado es de 140,92 MPa. Este valor se encuentra en los puntos de unión entre los perfiles de soporte. Ya se sabe que el límite elástico del acero estructural es de 250 MPa; se puede verificar en la simulación que la estructura está dentro del rango elástico del acero estructural, mostrándonos que no existirán deformaciones bajo la carga nominal.

Figura 11

Esfuerzo equivalente



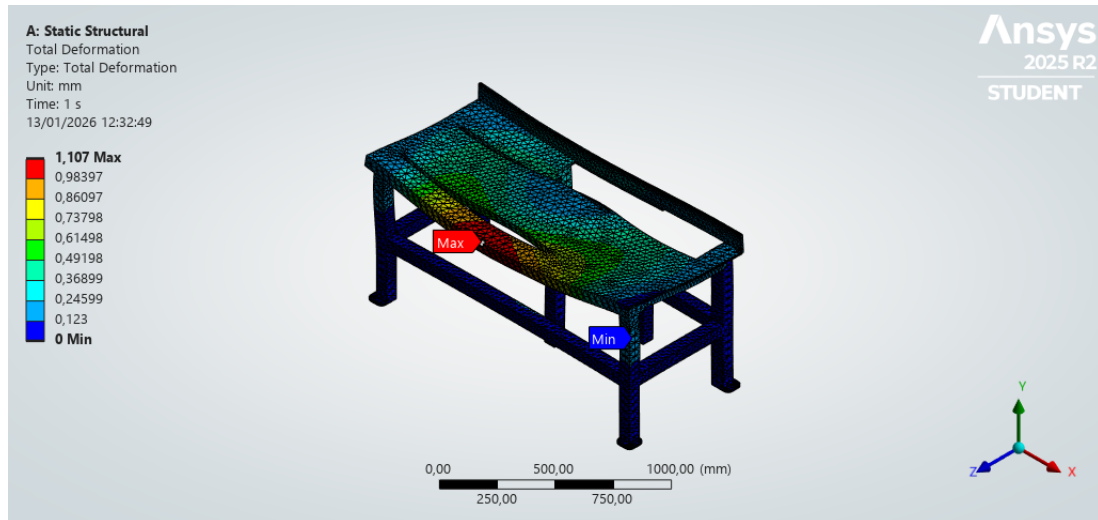
Nota: La imagen corresponde a la intensidad de las fuerzas internas en el material.

Deformación total:

En este análisis se verifica el desplazamiento de nodos de la estructura y, como se puede ver en la figura 12, se ve una deformación máxima de 1,107 mm. En la simulación, se ve que la deflexión se sitúa en la parte central de la superficie, siendo esta el punto crítico de flexión del sistema. El resultado es un valor aceptable en estructuras industriales, ya que no interfiere ni en la estabilidad ni en la nivelación de los demás componentes del sistema.

Figura 12

Deformación total



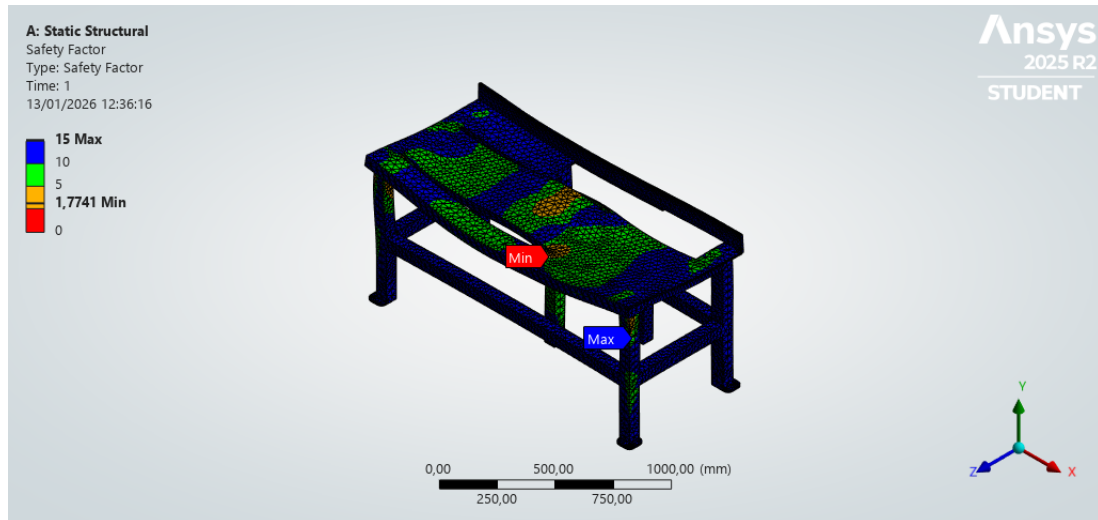
Nota: La imagen corresponde a el desplazamiento de los nodos de la estructura.

Factor de seguridad:

El factor de seguridad es indispensable para determinar que el diseño sea fiable en la simulación figura 13 Se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.77; las normas de diseño estructural nos dicen que el factor de seguridad debe ser mayor a 1.5; esto nos muestra que la máquina puede soportar un poco más del peso establecido.

Figura 13

Factor de seguridad



Nota: La imagen corresponde al parámetro determinante para validar la fiabilidad del diseño.

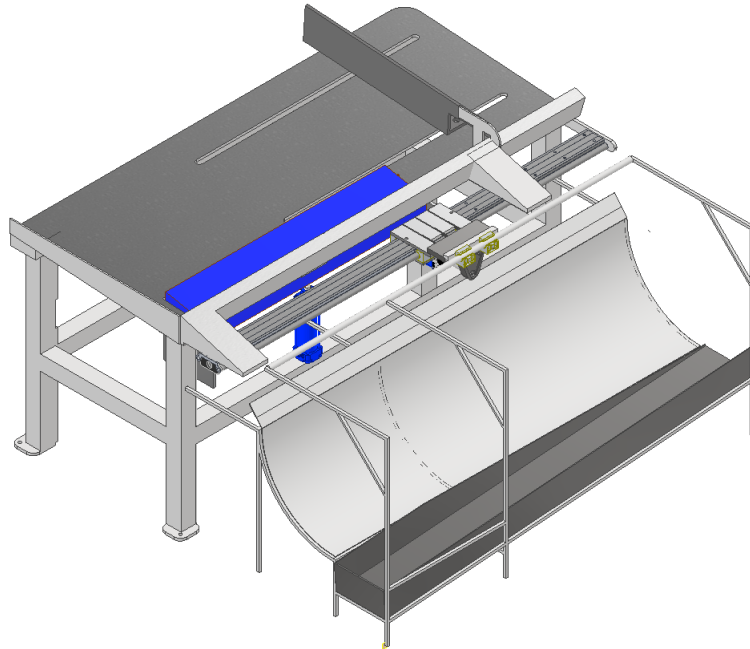
En la figura 14 se puede ver todo el diseño mecánico de la celda flexible que está diseñada para el proceso de alimentación y extracción de tubería en máquinas CNC. Como se puede ver, el sistema integra componentes mecánicos y neumáticos, unos que fueron diseñados y otros seleccionados del mercado para garantizar la disponibilidad en caso de alguna reparación.

Cada pieza fue escogida una por una en función de la tarea que iba a realizar para que el sistema pudiera trabajar conjunta y cíclicamente. El sistema utiliza actuadores neumáticos para el transporte, posicionamiento y sujeción del tubo, así como diferentes mecanismos que trabajan igual para que el sistema se adapte a las necesidades de la planta.

Todo el sistema está pensado para que pueda implementarse dentro del espacio disponible de la planta, con una estructura no muy compleja; está pensado para que opere en entornos industriales. Este diseño muestra una solución que puede adaptarse a otro proceso en la línea de producción.

Figura 14

Célula Flexible



Nota: La imagen corresponde al diseño final de la célula flexible, donde se aprecia la integración de todos los componentes necesarios para el proceso automatizado.

5.3. Diseño del sistema de control

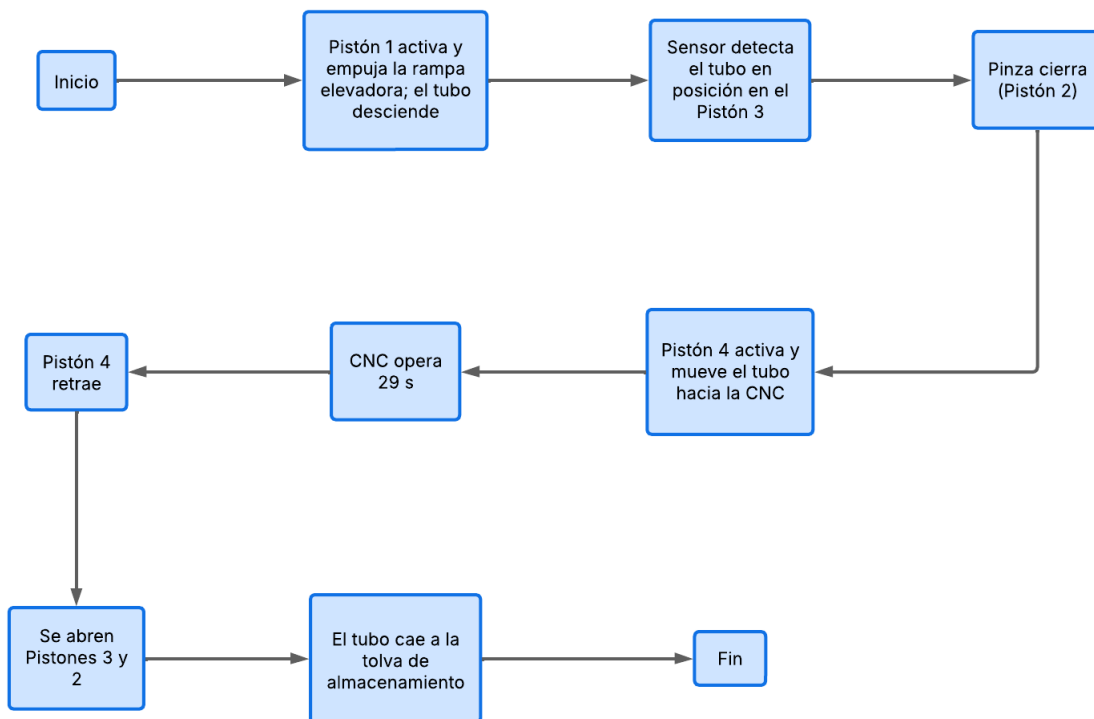
En la automatización industrial hay diferentes formas de realizar un proceso, ya sea con control manual básico hasta sistemas cableados de lógica, pero para este trabajo se determinó que el controlador lógico programable es la mejor opción, ya que la necesidad de tener un sistema confiable que nos permita realizar modificaciones o expansiones sin tener un gran cambio en todo el sistema o en el tablero es algo que es muy importante en una célula flexible.

Para seleccionar el PLC, se basó en las necesidades del sistema, revisando las entradas y las salidas que necesitaríamos, es decir, cuántos sensores y actuadores ocuparíamos; así mismo se pensó en una posible expansión en un futuro que sea adaptable y capaz de comunicarse con los demás componentes. Una vez que tengamos todo el hardware, se realizará la programación lógica para que los actuadores y sensores trabajen conjuntamente, secuencialmente y garantizando un sistema en que cada ciclo sea igual que el anterior.

Primero, la célula flexible debe trabajar en secuencia para ser realizada por el controlador lógico programable que mandará a los demás componentes. En la siguiente figura 15 se muestra el proceso estructurado para que el flujo sea continuo, realizando un ciclo a la vez para que no exista ningún riesgo de colisión y asegurando que sea preciso en cada etapa de la alimentación y extracción de tubería en máquinas CNC.

Figura 15

Diagrama de bloques



Nota: Diagrama de bloques de la secuencia operativa controlada por PLC.

Inicio y suministro: Se inicia cuando el pistón 1 se activa, desplazando el tubo hacia la siguiente estación de posicionamiento.

Sujeción del tubo: Esta es una estación crítica, ya que detecta que el tubo haya llegado a la posición indicada, donde el pistón 3 soporta al tubo y el pistón 2 cierra la pinza una vez detectado el material.

Integración con mecanizado: Una vez que el pistón 2 haya sujetado el tubo, el pistón 4

transporta el tubo hacia la CNC. Una vez llegado ahí, espera los 29 segundos de operación de la máquina CNC y el pistón 4 regresa a su posición inicial.

Finalización del ciclo: Finalmente, cuando el pistón 4 llegó a su posición inicial, los actuadores 2 y 3 se retraen para la liberación del tubo ya procesado, descendiendo por gravedad hacia la tolva de almacenamiento.

Diagrama de Espacio-Fase. Para completar el análisis, se realizó el diagrama de espacio-fase en la Figura 16, para poder visualizar el movimiento mecánico en el tiempo de los 4 actuadores neumáticos, para verificar que la sincronización sea la correcta para evitar colisiones durante el transporte, posicionamiento y sujeción del tubo.

Posiciones iniciales: Se visualiza que el Pistón 3 inicia el ciclo en una posición extendida para el soporte del tubo, antes de cualquier movimiento de alimentación.

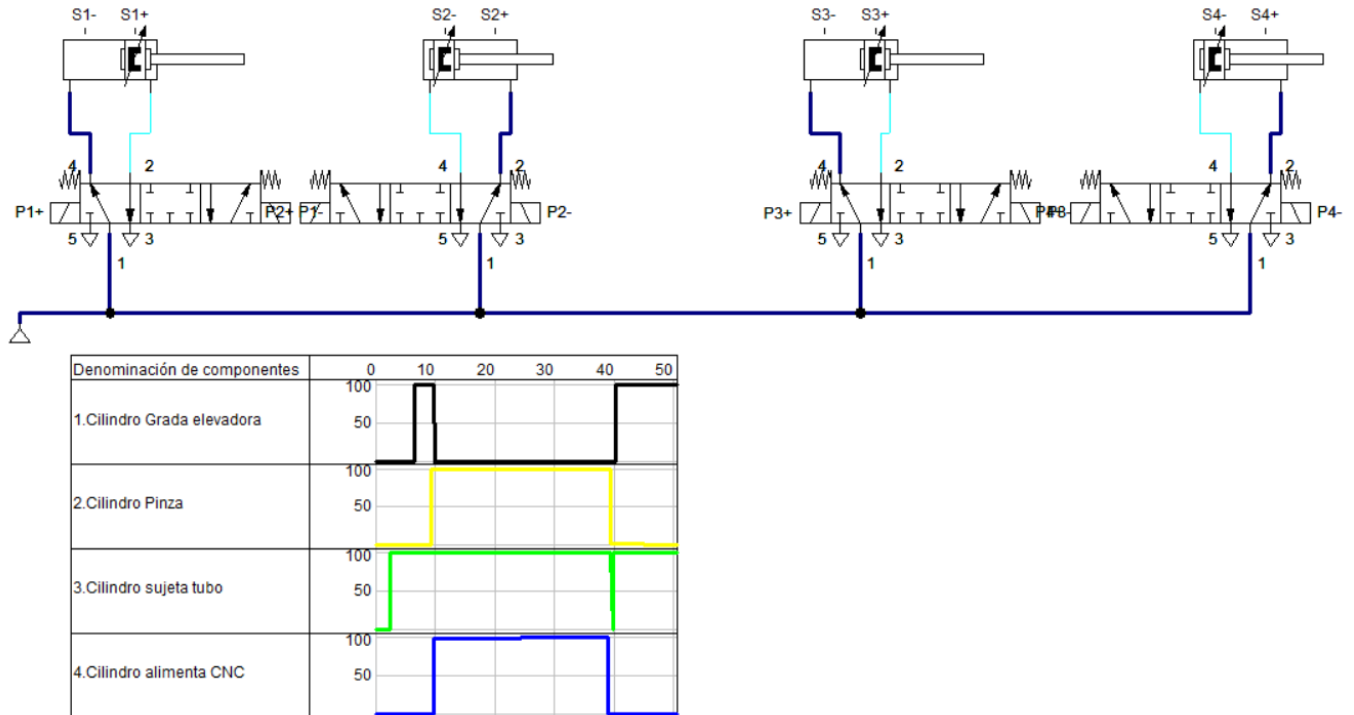
Validación de secuencia: El diagrama confirma que el Pistón 2, la pinza, complete su tarea de sujeción antes de que el Pistón 4 traslade el tubo hacia la máquina CNC, asegurando que el tubo no se desplace accidentalmente.

Gestión de tiempos muertos: Se muestra gráficamente el tiempo de proceso de la máquina CNC, que es de 29 segundos para que después el pistón 4 vuelva a su posición inicial.

Cierre de ciclo y rearme: Para finalizar, la gráfica muestra cómo se retraen los dos pistones 2 y 3 para el almacenamiento del tubo y, nuevamente, enseguida el pistón 3 vuelve a salir, dejándonos en condiciones iniciales para empezar nuevamente el ciclo.

Figura 16

Diagrama de Espacio-Fase



Nota: Las líneas ascendentes representan la extensión del vástago (+), mientras que las descendentes indican el retorno a la posición de reposo (-).

5.3.1. Selección del Controlador Lógico Programable (PLC)

Como ya se ha mencionado para el control de la célula flexible se eligió la opción de PLC, se va a hacer un análisis de todas las entradas y salidas que van a trabajar en el sistema, tras revisar el funcionamiento y el proceso que se va a realizar se determinó que el sistema necesita controlar 13 entradas digitales que incluyen sensores y botones de mando y 11 salidas digitales que son para las bobinas de las electroválvulas y los indicadores visuales, con estas necesidades se buscó un PLC que sea robusto y tenga una buena relación entre el costo y la tecnología. Se llevó a cabo una búsqueda de 3 opciones de PLC que cumplan con los requerimientos necesarios ya mencionados.

5.3.2. Análisis comparativo de controladores industriales

Para que la elección del PLC sea la más adecuada, se buscó 3 opciones que cumplan con los requerimientos del sistema: 14 entradas y 10 salidas. Su voltaje debe ser de 24 V, las salidas deben ser a transistor, debe ser de gama media y de rápida respuesta. A continuación, en la (Tabla 10) se muestran 3 opciones que cumplen con estas características.

Tabla 10

Controladores PLC

Modelo	Precio Aprox.	Ventajas	Desventajas
SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C)	\$1100.00	Software más potente Diagnóstico avanzado Integración total con HMI/SCADA Estándar industrial global	Precio más alto, se necesita de personal más capacitado.
Allen-Bradley (Micro850)	\$900.00	Modularidad por <i>Plug-ins</i> frontales Muy compatible en ecosistemas Rockwell	Menos presencia global La integración con otros sistemas es más complicada sin hardware adicional.
Schneider (Modicon M221)	\$750.00	Más económico Protocolos abiertos	Menor capacidad de escalabilidad para proyectos grandes. La integración con sistemas de otras marcas pueden requerir más ajustes.

Nota: En esta tabla se puede ver las ventajas y desventajas de cada una de las opciones de PLC

Para seleccionar el PLC, se realizó una comparación técnica entre tres alternativas de PLC de gama media: Siemens SIMATIC S7-1200, Allen-Bradley Micro850 y Schneider Modicon M221, donde evaluamos aspectos como software de programación, soporte técnico,

la escalabilidad y disponibilidad en la industria.

En cuanto al software y soporte técnico, el PLC Siemens S7-1200 presenta una ventaja significativa, ya que utiliza el entorno TIA Portal, el cual integra en una sola plataforma la programación del PLC, la visualización HMI, la configuración de redes industriales y herramientas avanzadas de diagnóstico y simulación. Estas características permiten reducir los tiempos de ingeniería y minimizar errores durante la puesta en marcha y el mantenimiento del sistema.

En el software y soporte técnico, el PLC 1200 ocupa un entorno TIA Portal, donde se integra en un solo software la programación del PLC, la visualización HMI y la configuración de redes; así mismo, consta de herramientas para diagnóstico y simulación, permitiéndonos disminuir los errores en la marcha del sistema. A diferencia del PLC Allen-Bradley Micro850, aunque tiene un software robusto, no ofrece el mismo nivel en cuestión de diagnóstico ni la misma integración visual entre el hardware y el software. Así mismo, el Schneider Modicon M221 tiene un entorno amigable; este no es robusto para aplicaciones que tengan mayor complejidad y tiene limitaciones en diagnóstico de fallas.

La escalabilidad del PLC Siemens S7-1200 nos permite un crecimiento hacia nuevos controladores de mayor capacidad, como la familia S7-1500, sin grandes cambios, manteniendo la misma programación y el mismo entorno de trabajo. Esto es muy importante, ya que, al ser una célula flexible, en un futuro se necesitará adaptar este proceso a otras líneas de producción. En comparación con Micro850, este se limita solo a la familia Micro800, donde, si se necesitara escalar hacia nuevos controladores, se tendrían que realizar cambios más drásticos, así también el M221; este puede ser escalable, pero presentaría restricciones en aplicaciones de mayor jerarquía laboral.

Finalmente, con respecto a la disponibilidad en la industria, el S7-1200 cuenta con mayor documentación, ya que cuenta con bastante acogimiento a nivel mundial; existe mayor soporte técnico y personal capacitado. En cambio, el Micro850 tiene mayor presencia en Estados Unidos y el M221 no tiene una comunidad grande en comparación con Siemens.

Por lo tanto, considerando el análisis realizado, se concluye que el PLC Siemens SIMATIC S7-1200 representa la alternativa más adecuada para la aplicación propuesta, ya que ofrece un mayor nivel de integración software-hardware, soporte técnico superior, comunicaciones industriales robustas y una escalabilidad que garantiza la viabilidad del sistema a largo plazo, justificando por qué se eligió este PLC ante las otras opciones.

Así mismo, en la Figura 17, se seleccionó el modelo exacto del PLC, el modelo CPU 1214C DC/DC/DC, debido a que tiene salidas digitales a transistor. Con estas salidas, la conmutación se realiza mediante dispositivos electrónicos de estado sólido; aquí el transistor actúa como si

fuera un interruptor electrónico que permite o interrumpe el paso de corriente. Al no tener contactos mecánicos, se elimina el desgaste por la conmutación repetitiva, permitiendo realizar muchos ciclos repetitivos sin desgaste mecánico. También trabaja con tensión continua de 24 VDC; estas salidas nos dan tiempos de respuesta rápidos. Estas características son muy importantes en sistemas que son repetitivos con ciclos de trabajo continuos; por esta razón se utiliza con salidas a transistor, ya que es más duradero para una celda flexible.

Figura 17

Siemens S7-1200



Nota: La imagen corresponde al PLC SIMATIC S7-1200 de Siemens, CPU 1214C DC/DC/DC de acuerdo con Components (2020) <https://es.rs-online.com/web/p/controladores-plcs-y-automatas/8624471?gb=a>

Al revisar todas las entradas y salidas, se verificó que las 10 salidas que ofrece el PLC son insuficientes para las 11 que requiere mi diseño. Así también, más allá de solo cubrir esa falta, es necesario considerar un criterio fundamental en el diseño de tableros industriales: la reserva de expansión. Es recomendable dejar al menos un 25% del total de entradas y salidas libres para futuras ampliaciones del sistema: nuevos sensores, mandos o por falla de alguna salida o entrada.

Por este motivo, se decidió por un módulo de expansión digital SM 1223, como se visualiza

en la Figura 18. Este módulo agrega 8 entradas y 8 salidas digitales más al sistema. Esto me asegura que la célula flexible cumpla con los estándares de diseño técnico, pudiendo modificarse sin necesidad de reemplazar el controlador principal. Con esta configuración, el sistema final cuenta con entradas y salidas suficientes para garantizar la operatividad y escalabilidad de la célula flexible.

Figura 18

Módulo de expansión digital SM 1223



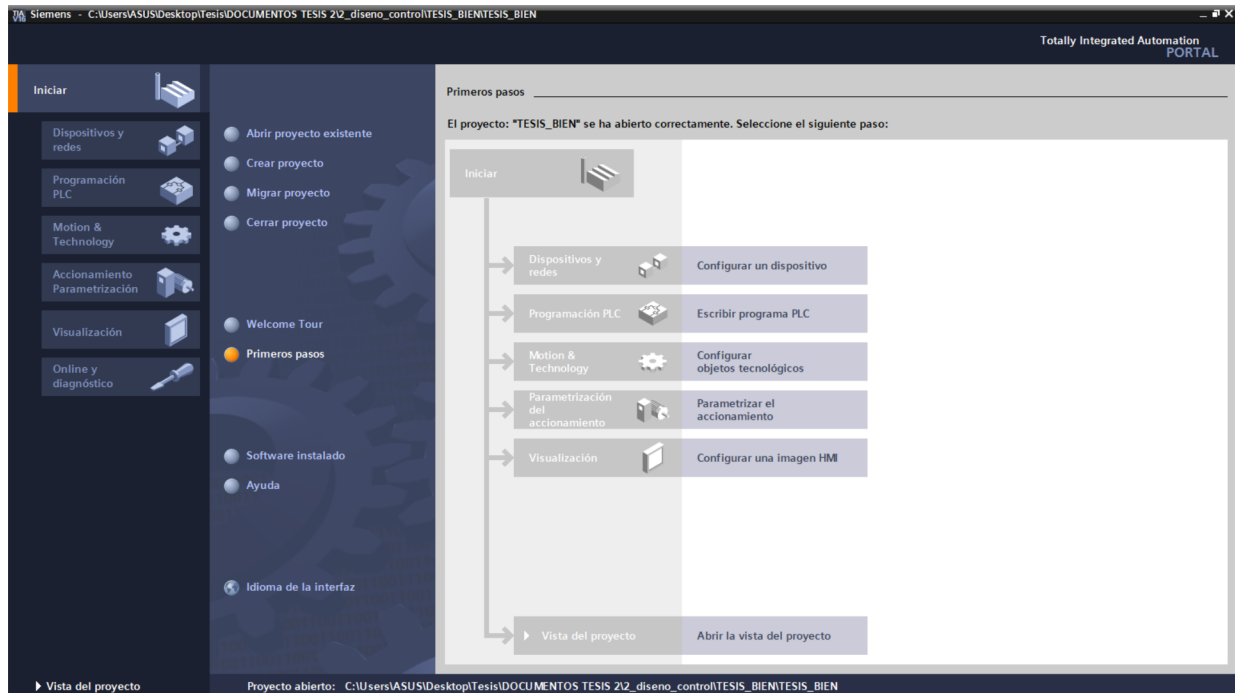
Nota: La imagen corresponde al Módulo de expansión digital SM 1223 de acuerdo con AutomaQ (2020) <https://automaq.pe/producto/3846/sm-1223-modulo-de-entrada-y-salida-digital-8di-8do-8di-24vdc-sinksouce-8do-transistor-05>.

5.3.3. Implementación del Sistema de Control en TIA Portal

Después de escoger el PLC y su módulo de expansión, se realiza la lógica de control mediante el software de TIA Portal, figura 19. Este software es necesario porque nos permite integrar el hardware con la programación para realizar el proceso de la célula flexible.

Figura 19

TIA Portal

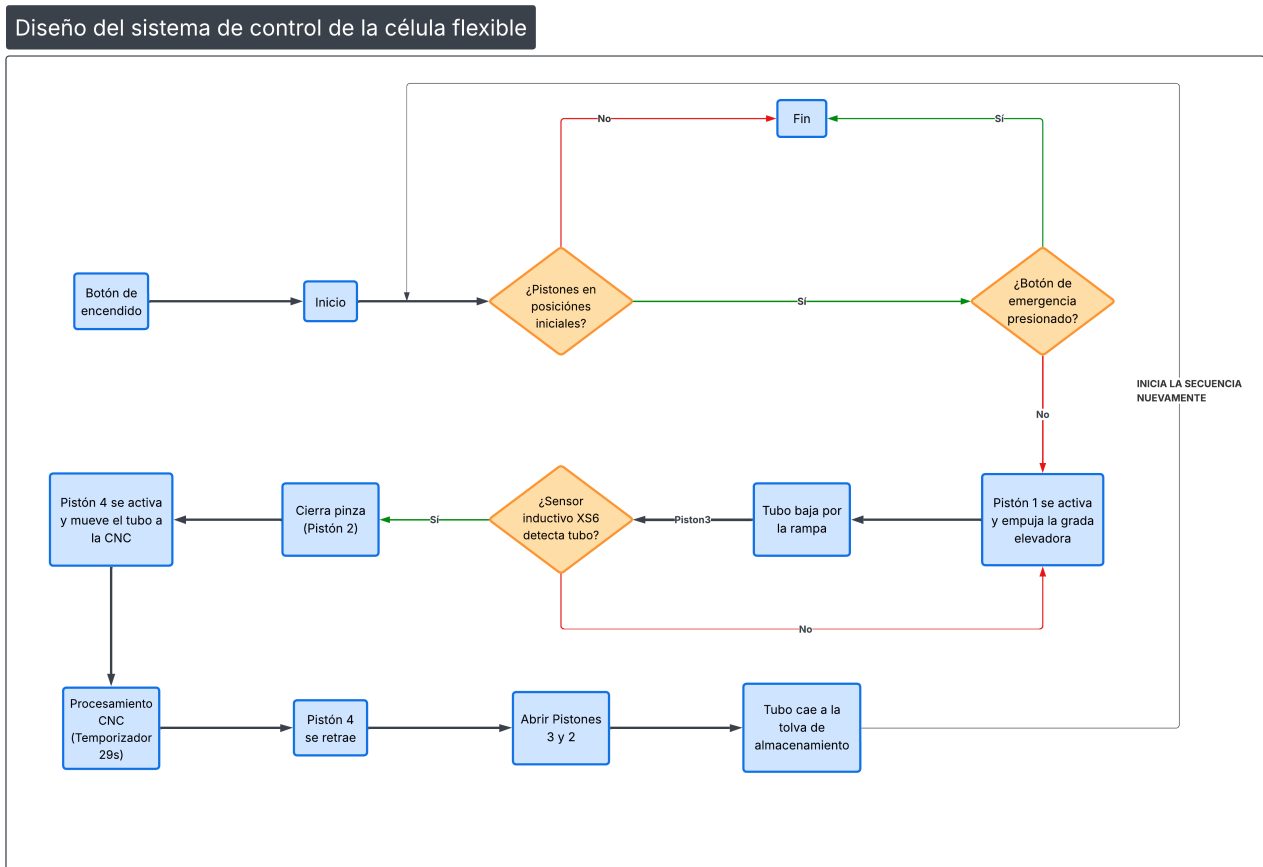


Nota: La imagen corresponde a la interfaz principal de TIA Portal.

El objetivo de diseño es que el sistema tenga una secuencia que realice el proceso de alimentación y extracción de tubos a la máquina CNC de manera correcta para poder transportar, posicionar y sujetar el tubo y que llegue al final del proceso. A continuación, se detallará en un diagrama de flujo Figura 20 el razonamiento lógico, el cual es la base para desarrollar la programación que se implementará en el PLC.

Figura 20

Diagrama de flujo



Nota: El diagrama detalla las condiciones de seguridad y la jerarquía de movimiento de los cuatro pistones, condicionados por la detección del sensor inductivo y los tiempos de la CNC.

Configuración de variables y Direccionamiento Lo que primero se realizó fue asignar un nombre que sea simbólico a cada una de las direcciones del PLC; se colocó nombres reales del proceso, así logramos facilitarnos entender el programa y poder reducir lo posible, ya sea en la programación o errores cuando el sistema funcione. En la Figura 21 se pueden observar las variables, el tipo de datos y la dirección en el PLC.

Figura 21

Variables PLC

Variables PLC				
	Nombre ▲	Tabla de variables e..	Tipo de datos	Dirección
1	Boton_encender	Tabla de variables e..	Bool	%I0.1
2	Boton_inicio	Tabla de variables e..	Bool	%I0.2
3	Emergencia	Tabla de variables e..	Bool	%I0.0
4	ETAPA_1	Tabla de variables e..	Bool	%M10.1
5	ETAPA_2	Tabla de variables e..	Bool	%M10.2
6	ETAPA_3	Tabla de variables e..	Bool	%M10.3
7	ETAPA_4	Tabla de variables e..	Bool	%M10.4
8	ETAPA_5	Tabla de variables e..	Bool	%M10.5
9	FIN_TIEMPO_P4	Tabla de variables e..	Bool	%M10.6
10	Luz_Emergencia	Tabla de variables e..	Bool	%Q1.2
11	Luz_Secuencia_Iniciada	Tabla de variables e..	Bool	%Q1.1
12	Luz_Sistema_ON	Tabla de variables e..	Bool	%Q1.0
13	P1_ENTRAR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.1
14	P1_SALIR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0
15	P2_ENTRAR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.3
16	P2_SALIR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.2
17	P3_ENTRAR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.5
18	P3_SALIR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.4
19	P4_ENTRAR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.7
20	P4_SALIR	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.6
21	REINICIO	Tabla de variables e..	Bool	%I1.4
22	S1_A0_DENTRO_PIS1	Tabla de variables e..	Bool	%I0.4
23	S1_A1_Fuera_PIS1	Tabla de variables e..	Bool	%I0.5
24	S2_B0_Dentro_PIS2	Tabla de variables e..	Bool	%I0.6
25	S2_B1_Fuera_PIS2	Tabla de variables e..	Bool	%I0.7
26	S3_C0_Dentro_PIS3	Tabla de variables e..	Bool	%I1.0
27	S3_C1_Fuera_PIS3	Tabla de variables e..	Bool	%I1.1
28	S4_D0_Dentro_PIS4	Tabla de variables e..	Bool	%I1.2
29	S4_D1_Fuera_PIS4	Tabla de variables e..	Bool	%I1.3
30	Sensor_inductivo	Tabla de variables e..	Bool	%I0.3
31	SISTEMA_ON	Tabla de variables e..	Bool	%M0.0
32	Contador_produccion	Tabla de variables e..	Int	%MW20

Nota: La imagen corresponde a las variables del PLC que se usan para la programación en TIA Portal

Programación en Lenguaje Ladder Finalmente, con todas las variables, se realizó la programación mediante lenguaje Ladder; este es un lenguaje estándar industrial y es muy intuitivo, ya que podemos visualizar todo el flujo de señales estableciendo conexión con el PLC.

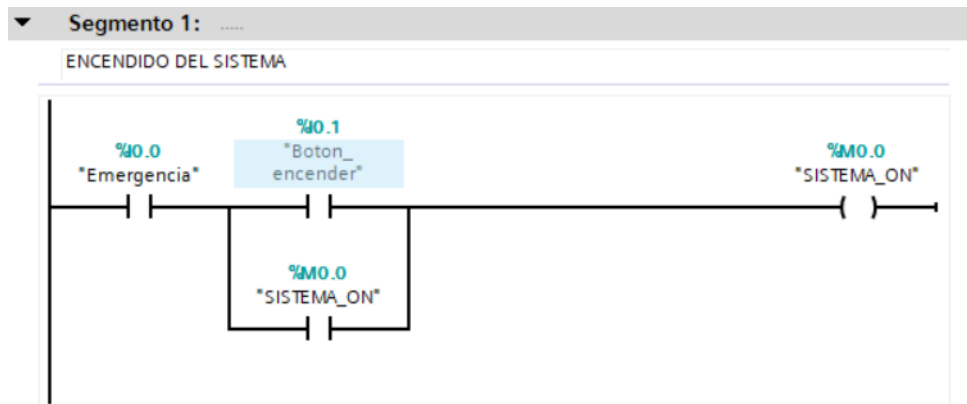
Para poder comprender mejor la programación, se decidió realizar la programación por etapas, ayudándonos a separar las funciones principales y cada etapa de trabajo, por ejemplo,

la secuencia de cilindros y la etapa final de alarmas y luces de estado del sistema. Este sistema no solo hace que sea más fácil de entender el programa por otros operadores, sino que también podemos realizar ajustes rápidos en lugares específicos sin afectar el funcionamiento de otras etapas y así se cumple el concepto de célula flexible. A continuación, se detalla segmento por segmento toda la programación del sistema.

Segmento 1 Como podemos ver en la Figura 22. El bloque de encendido del sistema funciona como el interruptor principal. Al presionar el botón de encendido $I0.1$, la corriente fluye hacia la bobina sistema on $M0.0$, siempre y cuando el botón de emergencia $I0.0$ no esté activado. El contacto de sistema on $M0.0$ en paralelo con el botón de encendido permite que el sistema siga prendido, aunque se deje de apretar el botón. Esta marca es la que activa la etapa 2, y permite que el pistón 3 salga al inicio como condición inicial.

Figura 22

Segmento 1

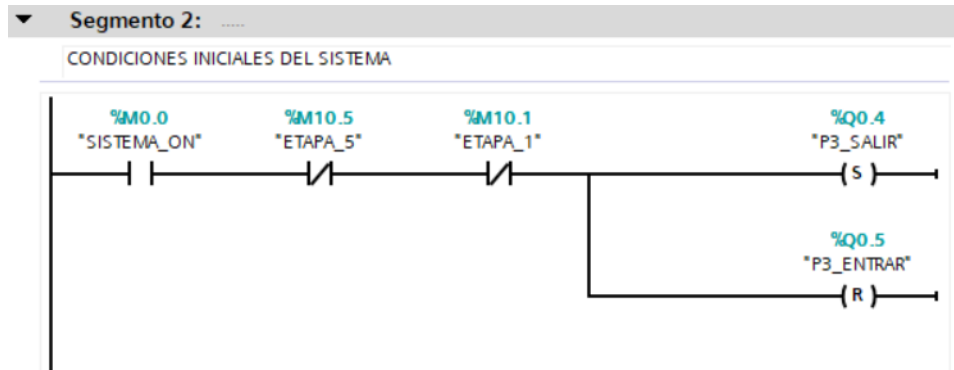


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 1 en TIA Portal

Segmento 2 En este segmento se establecen las condiciones iniciales del sistema. Al cerrarse el contacto de $M0.0$ sistema on, aquí el programa debe verificar que ninguna secuencia esté activa por medio de los contactos normalmente cerrados de $M10.1$ y $M10.5$ que son etapas. Después de revisar estas condiciones, se setea la salida $Q0.4$ y se resetea $Q0.5$, lo que hace que el pistón salga. Esta operación nos garantiza que el sistema comience desde las condiciones iniciales listo para iniciar la secuencia siguiente. Figura 23.

Figura 23

Segmento 2

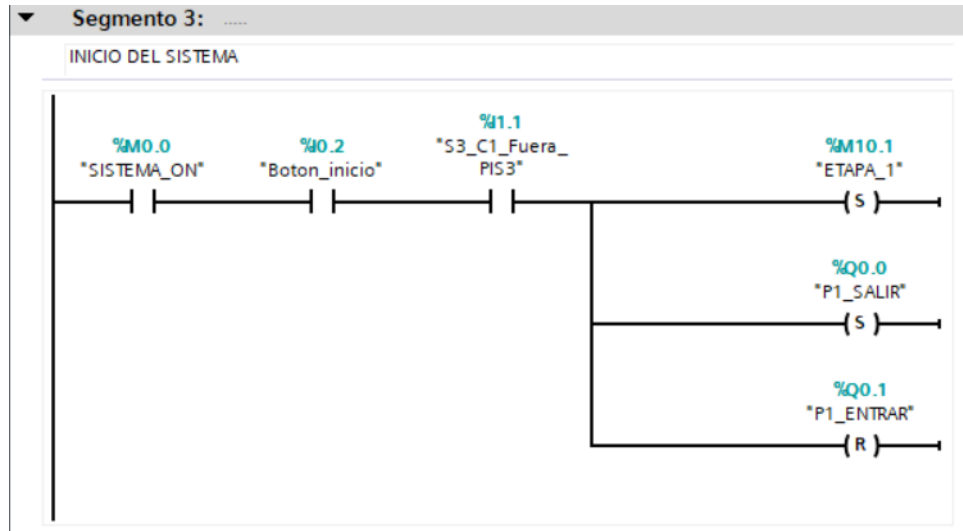


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 2 en TIA Portal

Segmento 3 En este segmento, Figura 24 aquí se inicia el sistema; aquí se tiene que cumplir 3 condiciones en serie: que el sistema esté encendido, que se haya presionado el botón de inicio y que el sensor *I1.1* de posición del pistón 3 detecte que el pistón está afuera. Al cumplirse estas condiciones, se setea la etapa 1 *M10.1* y seguidamente sale el pistón 1 a través de la bobina *Q0.0* y asegurando el cierre de su fase de retroceso mediante el reset *Q0.1*.

Figura 24

Segmento 3

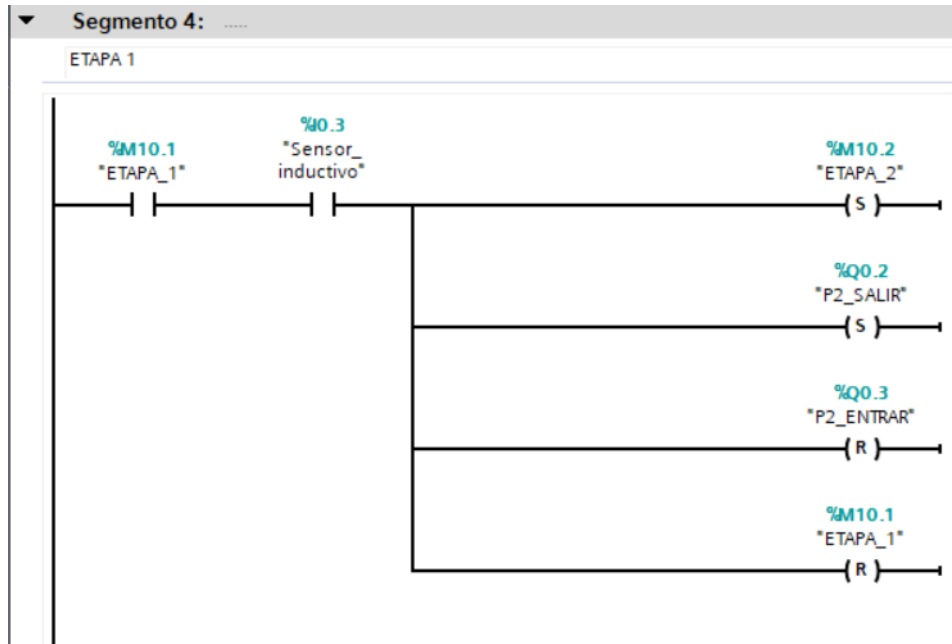


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 3 en TIA Portal

Segmento 4 Este segmento, Figura 25 coordina la sincronización entre el posicionamiento inicial del tubo y el proceso de sujeción del tubo. Una vez activa la marca $M10.1$ (etapa 1), el sensor detecta si existe presencia del tubo $I0.3$. Cuando detecta material, se activa la marca, $M10.2$ sale el pistón 2 mediante las bobinas $Q0.2$ y $Q0.3$. En esta fase, el Pistón 2 cumple la función de pinza de sujeción, la cual asegura el tubo para la siguiente etapa. Finalmente, se resetea la marca $M10.1$ para desactivar esta etapa y continuar con la siguiente.

Figura 25

Segmento 4

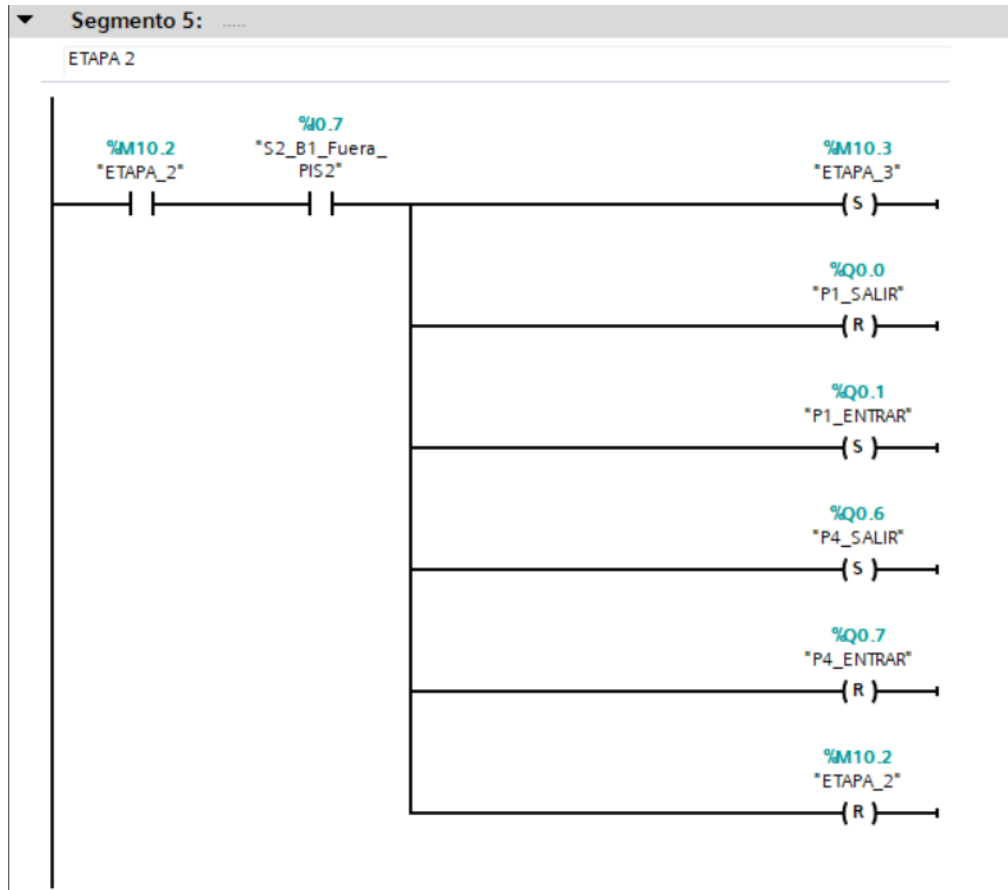


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 4 en TIA Portal

Segmento 5 Este segmento, Figura 26 Una vez confirmada que la etapa 2 está seteada ($M10.2$), el PLC verifica que el sensor $I0.7$ (Pistón 2) ha sujetado correctamente el tubo. Al cumplirse esta condición, se activa la marca $M10.3$ y se realizan movimientos simultáneos: el Pistón 1 vuelve a su posición inicial ($Q0.0$ en Reset, $Q0.1$ en Set) al mismo tiempo; el Pistón 4 avanza mediante las bobinas $Q0.6$ (Set) y $Q0.7$ (Reset). En esta etapa, el pistón introduce el tubo dentro de la CNC para el procesamiento en la máquina CNC. Finalmente, se resetea la etapa 2 y continuamos a la siguiente etapa.

Figura 26

Segmento 5

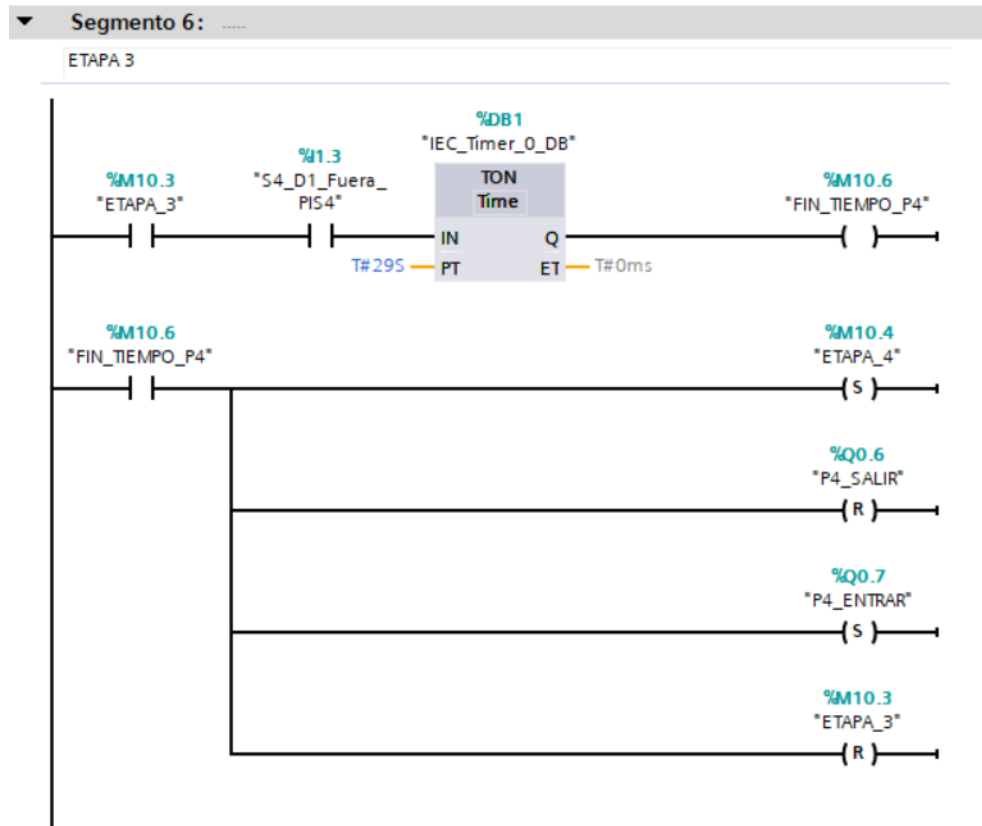


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 5 en TIA Portal

Segmento 6 En este segmento, Figura 27 se controla el tiempo de mecanizado preciso dentro de la máquina CNC. Esta etapa se activa mediante la marca *M10.3* (ETAPA 3), una vez que el sensor de proximidad *I1.3* confirma que el pistón 4 ha introducido completamente el tubo en la zona de trabajo. Aquí, se inicia un temporizador de retardo a la conexión *TON* configurado con un tiempo de 29 segundos, que es la duración exacta del proceso sobre el tubo. Cuando el tiempo acaba, la salida del temporizador activa la marca *M10.6* fin tiempo, lo que nos lleva a la etapa 4 (*M10.4*), ordena que el pistón 4 vuelva a su posición original mediante el Reset de *Q0.6* y el Set de *Q0.7*, y finalmente desactiva la etapa actual con el Reset de *M10.3*.

Figura 27

Segmento 6

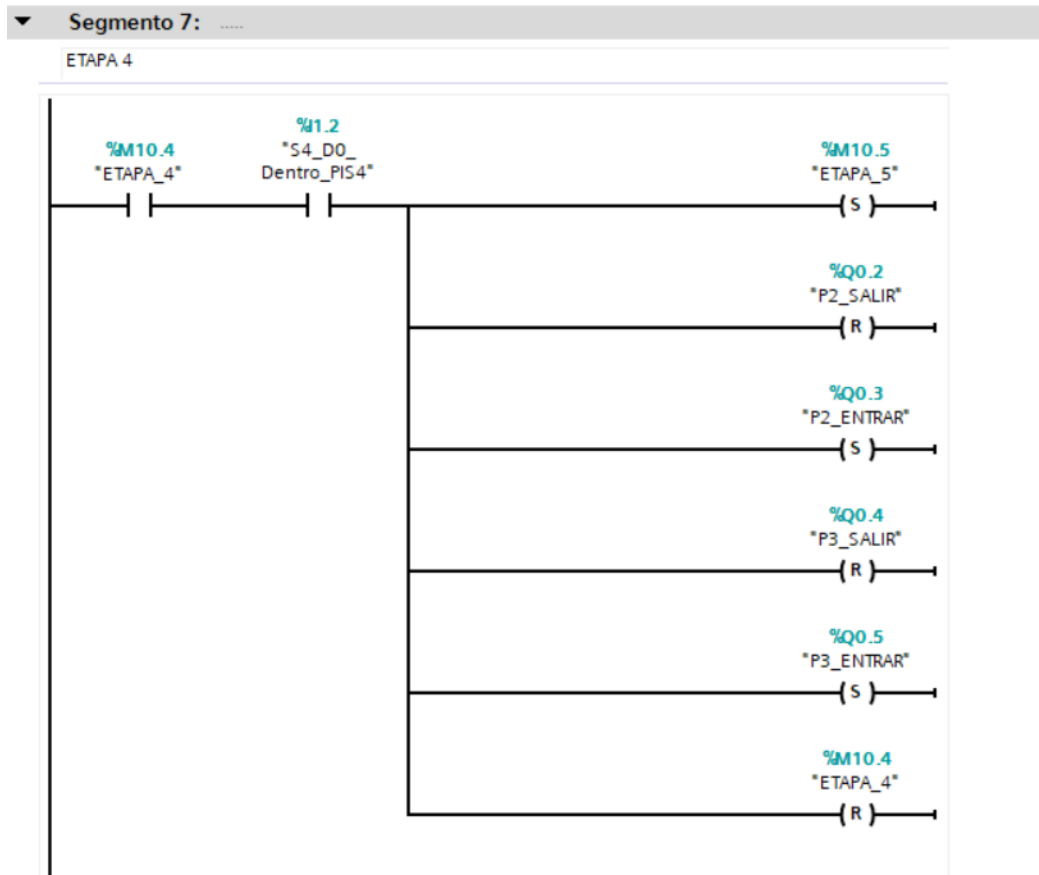


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 6 en TIA Portal

Segmento 7 En este segmento, Figura 28 se suelta el tubo para que este caiga en la tolva de almacenamiento y se prepara para que el sistema reinicie la secuencia. La secuencia se activa por la marca *M10.4* etapa 4, una vez que el sensor *I1.2* haya verificado que el pistón 4 ha vuelto a su posición inicial. Al confirmarse la posición, el programa setea la marca final *M10.5* etapa 5 y realiza tres movimientos simultáneos: abre la pinza de sujeción reseteando el pistón 2 *Q0.2* y seteando *Q0.3* que hace que entre el pistón 2; ordena así también que se setee el pistón 3 *Q0.5* para que entre para que el tubo caiga en la tolva de almacenamiento; también se desactiva la fase actual mediante el reset de la marca *M10.4* etapa 4.

Figura 28

Segmento 7



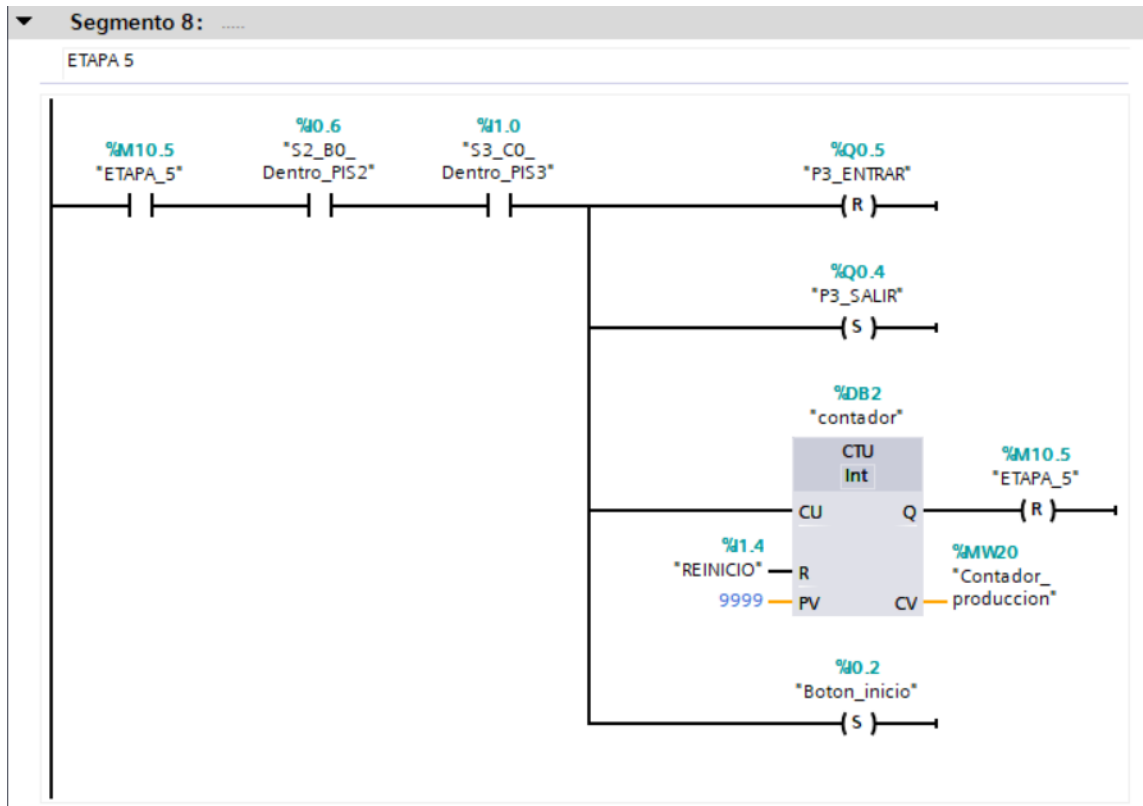
Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 7 en TIA Portal

Segmento 8 Este segmento, Figura 29 aquí se finaliza la secuencia de operación y todos los cilindros vuelven a sus condiciones iniciales para empezar un nuevo ciclo de forma automática. Al activarse la marca *M10.5* (ETAPA 5), el programa verifica mediante los sensores *I0.6* e *I1.0* que tanto la pinza pistón como el pistón 3 han regresado exitosamente a sus posiciones de inicio. Una vez confirmadas estas condiciones, se dispara el bloque de conteo ascendente *CTU*, incrementando en una unidad la variable de producción almacenada en *MW20*. Al mismo tiempo, se realiza el restablecimiento de los cilindros: el Pistón 3 vuelve a su posición extendida mediante el Set en *Q0.4* y el Reset en *Q0.5*, así mismo aquí se puede reiniciar el conteo si se presiona el botón de reinicio. También se setea el botón de inicio para que empiece

otra secuencia automáticamente.

Figura 29

Segmento 8

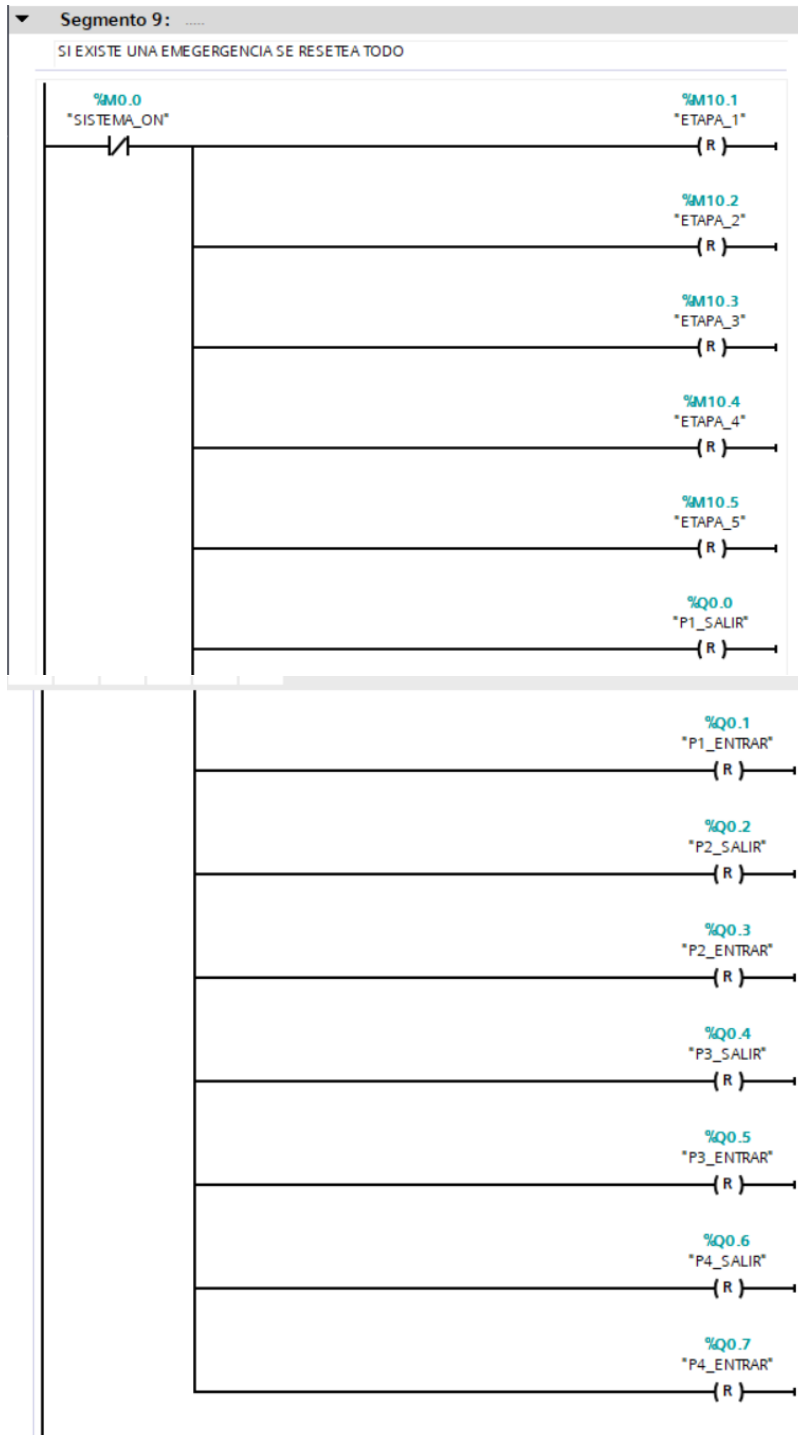


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 8 en TIA Portal

Segmento 9 Este segmento, Figura 30 es el protocolo de seguridad para detener el proceso de forma inmediata ante cualquier problema. Este segmento se activa mediante el contacto normalmente cerrado de la marca $M0.0$ (SISTEMA ON); si este contactor se abre, es porque el botón de emergencia fue presionado ($I0.0$), el programa resetea mediante las bobinas que se desactivan simultáneamente las marcas de secuencia desde la $M10.1$ hasta la $M10.5$, y se fuerzan a cero todas las salidas de los actuadores.

Figura 30

Segmento 9

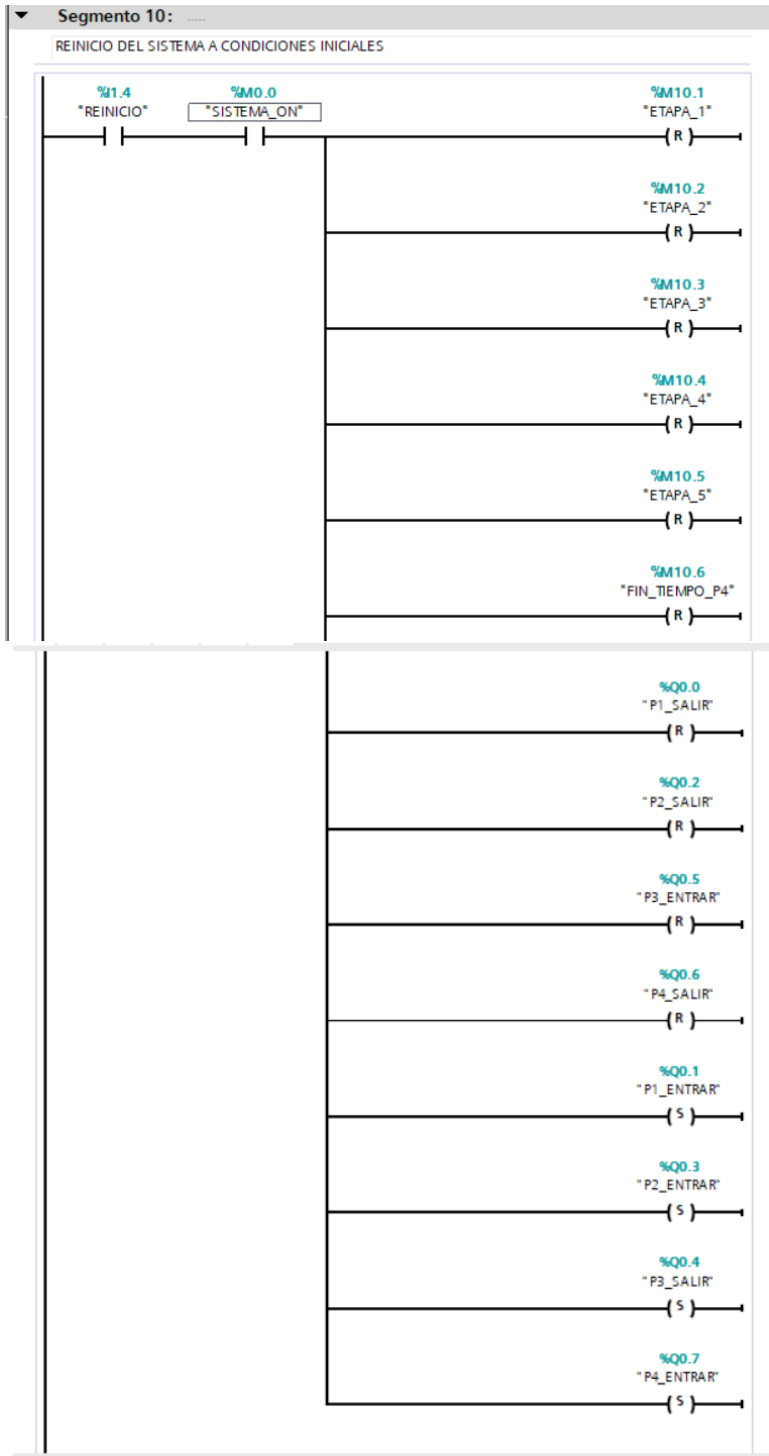


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 9 en TIA Portal

Segmento 10 En este segmento, Figura 31 se realiza el reinicio del sistema; este se activa mediante el pulsador físico de reinicio *I1.4*, y siempre que la marca de sistema encendido esté *M0.0* activa. Al cumplir estas condiciones, el programa ejecuta un Reset sobre todas las marcas de etapa (*M10.1* a *M10.5*) y el bit de temporización *M10.6*, reiniciando todo. Así mismo, aquí se reinicia el contador de producción acumulada. *MW20* Esta operación garantiza que la máquina comience desde las condiciones iniciales necesarias para que el sistema vuelva a funcionar, asegurando un control preciso de todos los movimientos.

Figura 31

Segmento 10

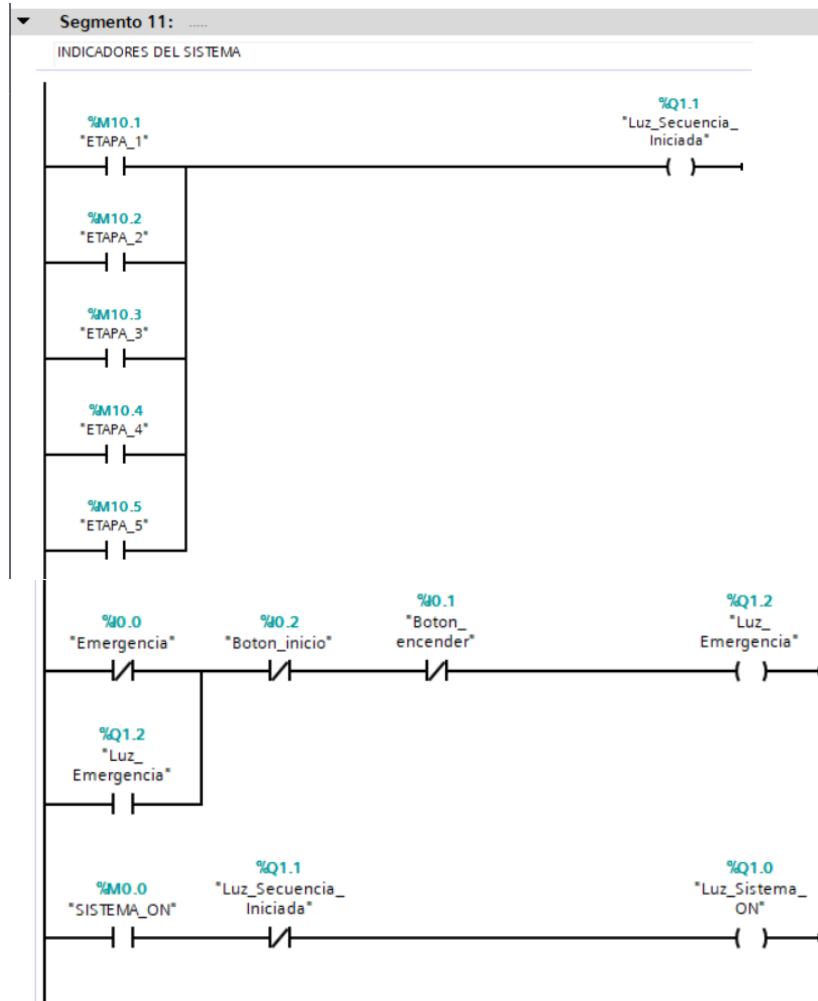


Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 10 en TIA Portal

Segmento 11 Este segmento, Figura 32 enciende los indicadores del sistema mediante tres indicadores luminosos. La luz de sistema ON (*Q1.0*) se activa directamente con la marca sistema on *M0.0*, indicando que la máquina está encendida y está lista para iniciar. Así mismo, la Luz de Sistema de secuencia iniciada (*Q1.1*) se activa cuando alguna de las etapas están activas (*M10.1* a *M10.5*) . Finalmente, la Luz de Sistema Parado (*Q1.2*) se controla mediante un contacto normalmente cerrado de *M0.0*; esta luz permanece encendida siempre que el sistema tenga algún problema o el botón de emergencia haya sido presionado, garantizando que el personal identifique visualmente que la máquina no está en condiciones de operar.

Figura 32

Segmento 11



Nota: La imagen corresponde a la programación del Segmento 11 en TIA Portal

5.4. Diseño del sistema eléctrico

El diseño del sistema eléctrico es muy importante para cualquier sistema automatizado. El propósito del sistema eléctrico es pasar de una lógica de programación en el PLC hacia los actuadores y sensores usados en el proceso; es decir, una vez acabado el diseño y programación de control, se realiza el diseño eléctrico dependiendo de lo que se necesitó en el control.

Aquí en esta etapa garantiza una distribución de energía estable y segura, así mismo toda

la conexión entre PLC salidas y entradas todo lo necesario para el correcto funcionamiento de la célula flexible, así también se necesita una fuente de 24VDC la cual nos ayudara a energizar los sensores de posición y las bobinas de las electroválvulas, este diseño no solo busca ser funcional sino también seguro y entendible en caso de que se requiera algún cambio o ampliación en el sistema de la célula flexible y nos toque cambiar la parte eléctrica del sistema.

5.4.1. Componentes eléctricos utilizados en el diagrama eléctrico

La siguiente (Tabla 11) nos muestra los componentes utilizados en el diseño eléctrico y neumático, el modelo específico y la cantidad que necesitamos.

Tabla 11

Especificaciones de los componentes del sistema eléctrico y neumático.

Categoría	Modelo / Referencia	Cant.	Marca
Control Principal	PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC	1	Siemens
Módulo de expansión	Módulo digital SM 1223	1	Siemens
Cilindro P1 (Elevador)	DSBC-32-150-PPSA-N3	1	Festo
Cilindro P2 y P3 (Pinza)	DSBC-32-125-PPSA-N3	2	Festo
Cilindro P4 (Empuje)	DSNU-25-400-P-A	1	Festo
Sensores de posición	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8	8	Festo
Sensor de material	Inductivo SIEN-M8B-PS-S-L	1	Festo
Electroválvulas	VUVG-L14 (5/2 biestable)	4	Festo
Mando	Pulsador Metálico ACT 22mm	4	Siemens
Paro	Pulsador de Paro de Emergencia	1	Siemens
Luz Piloto	SIRIUS ACT	3	Siemens
Fuente de poder	SITOP PSU100C 24V / 5A	1	Siemens

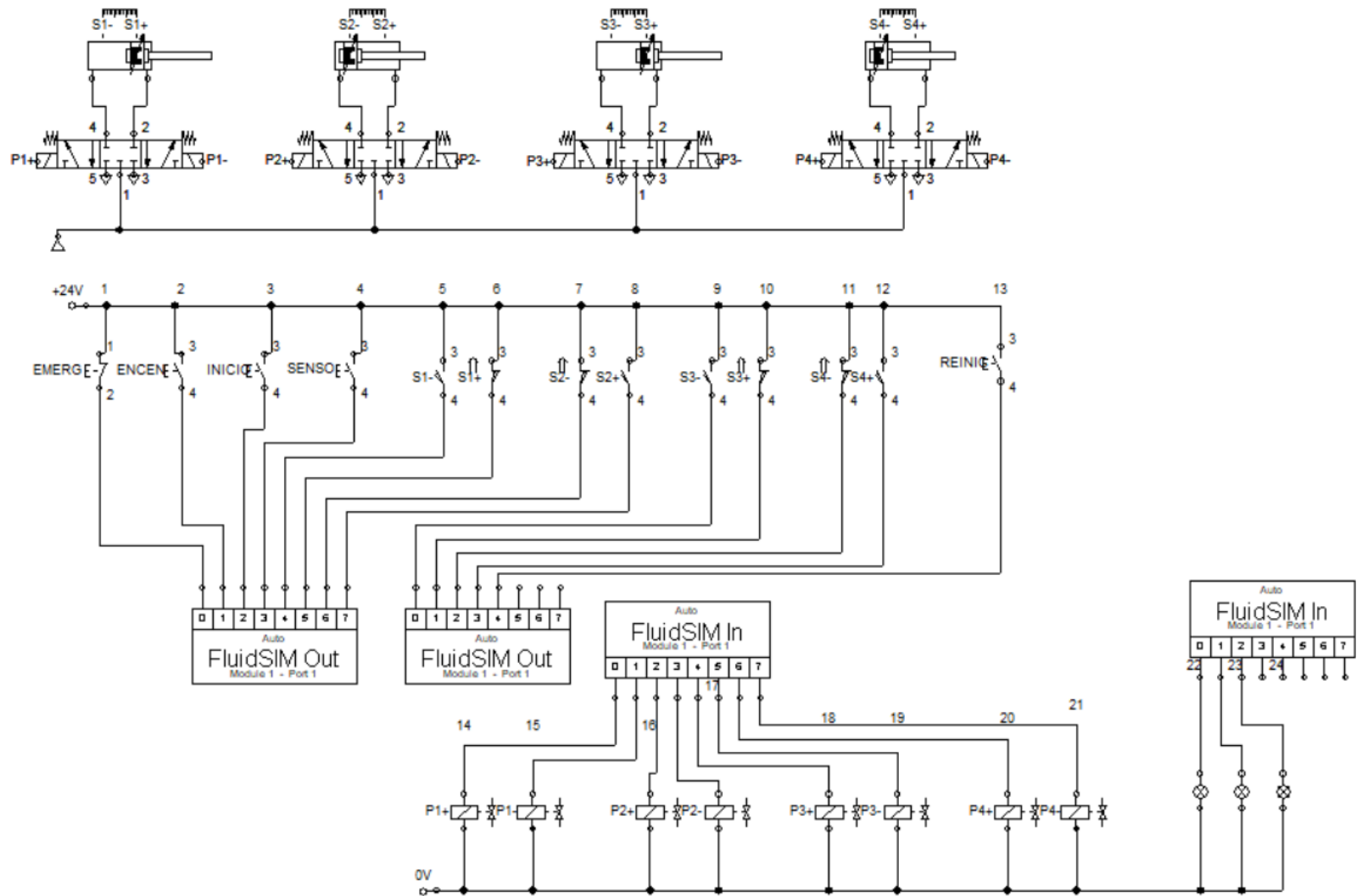
Nota: Todos los modelos seleccionados cuentan con soporte técnico y stock en distribuidores autorizados en Ecuador.

5.4.2. Diagrama de conexión eléctrica

A continuación, se muestra en la figura 33 el diseño eléctrico detallado, toda la conexión una por una a cada variable del PLC, tanto entradas como salidas; esto comprende lo que son sensores, actuadores, luminarias, botones de mando.

Figura 33

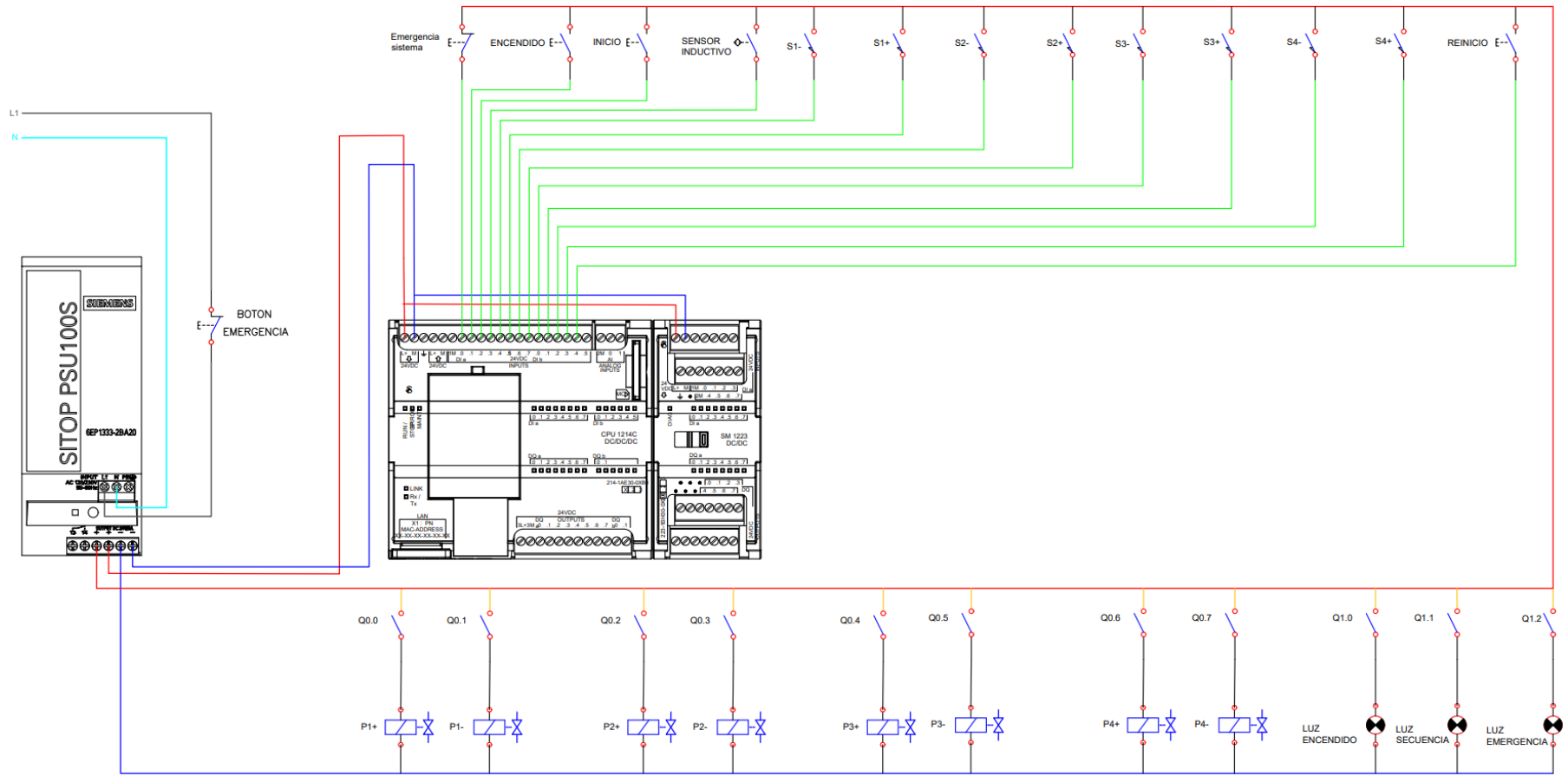
Diagrama electropneumático



Así también, en la figura 34, se muestra el diagrama unifilar del sistema.

Figura 34

Diagrama unifilar



Para entender mejor estos diagramas, se presenta la (Tabla 12), donde se muestra a detalle la asignación de entradas digitales del PLC como de su módulo de expansión, los componentes de mando y cada sensor. Finalmente, la (Tabla 13) describe la asignación de salidas digitales, especificando las bobinas de las electroválvulas modelo VUVG responsables del movimiento de los cuatro pistones del sistema, así como los indicadores lumínicos de estado.

Tabla 12

Asignación de entradas digitales del PLC y módulo de expansión digital.

Dirección	Componente	Tipo	Descripción
%I0.0	Emergencia	NC	Parada de seguridad del sistema.
%I0.1	Botón encender	NA	Habilita la energía lógica.
%I0.2	Botón inicio	NA	Inicia la secuencia automática.
%I0.3	Sensor material	NA	Sensor inductivo (acero galvanizado).
%I0.4	S1–	NA	Final de carrera retraído Pistón 1.
%I0.5	S1+	NA	Final de carrera extendido Pistón 1.
%I0.6	S2–	NA	Final de carrera retraído Pistón 2.
%I0.7	S2+	NA	Final de carrera extendido Pistón 2.
%I1.0	S3–	NA	Final de carrera retraído Pistón 3.
%I1.1	S3+	NA	Final de carrera extendido Pistón 3.
%I1.2	S4–	NA	Final de carrera retraído Pistón 4.
%I1.3	S4+	NA	Final de carrera extendido Pistón 4.
%I1.4	Reinicio (SB)	NA	Reset de sistema Posiciones iniciales.

Tabla 13

Asignación de salidas digitales para actuadores y luminarias.

Dirección	Actuador	Modelo	Función
%Q0.0	Bobina P1+	VUVG	Avance Pistón 1 (Empuje).
%Q0.1	Bobina P1–	VUVG	Retroceso Pistón 1.
%Q0.2	Bobina P2+	VUVG	Avance Pistón 2 (Cierre Pinza).
%Q0.3	Bobina P2–	VUVG	Retroceso Pistón 2 (Apertura).
%Q0.4	Bobina P3+	VUVG	Avance Pistón 3 (Elevador).
%Q0.5	Bobina P3–	VUVG	Retroceso Pistón 3.
%Q0.6	Bobina P4+	VUVG	Avance Pistón 4 (Carga CNC).
%Q0.7	Bobina P4–	VUVG	Retroceso Pistón 4.
%Q1.0	Luz Sistema ON	XB4	Indicador Módulo de expansión.
%Q1.1	Luz Secuencia	XB4	Indicador Módulo de expansión.
%Q1.2	Luz Emergencia	XB4	Indicador Módulo de expansión.

La implementación de este sistema nos lleva de un sistema manual a un sistema automatizado. Donde fue necesario agregar un módulo de expansión digital, permitiendo ampliar la capacidad del PLC Siemens S7-1200 para controlar todas las señales de entradas y salidas necesarias en el sistema de la célula flexible. Finalmente, la supervisión mediante luminarias nos ayuda a pasar de una labor de esfuerzo físico a solo monitorear el sistema, identificando cualquier anomalía de forma inmediata y segura.

5.4.3. Simulación y control programado de un sistema electroneumático en entorno virtual.

Aquí se puede ver cómo funciona conjuntamente la programación de TIA Portal y la respuesta de los actuadores neumáticos en FluidSim, permitiéndonos visualizar todo el proceso de alimentación y extracción de tubería en máquinas CNC.

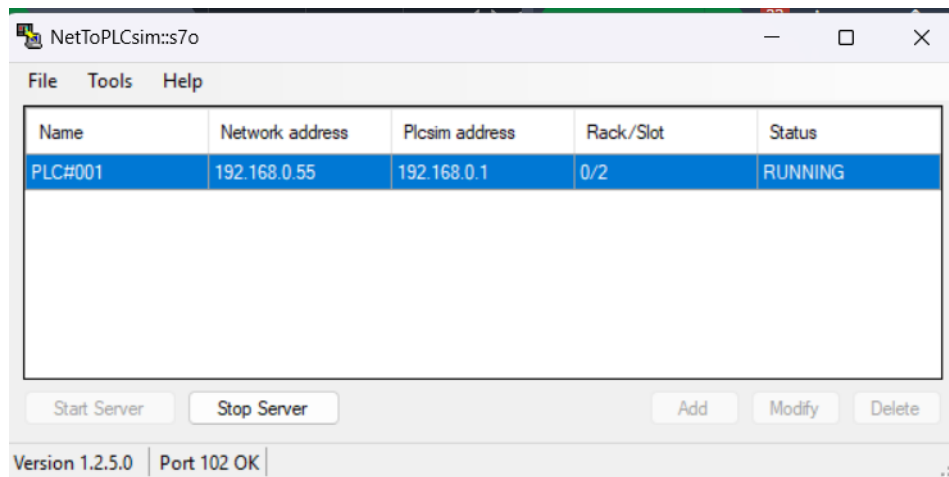
Para realizar el intercambio de datos en tiempo real, se hizo la comunicación basada en el protocolo TCP/IP y el estándar de comunicación OPC; esta conexión es indispensable para pasar de una simulación estática a una simulación dinámica.

NetToPLCSim: Como se puede ver en la figura 35 se realizó la configuración de un servidor de red para mapear la dirección IP del PLCSIM (192.168.0.1) hacia una IP accesible por el

sistema operativo (192.168.0.55). Esto nos ayuda a que el software de control sea reconocido como una red industrial.

Figura 35

NetToPlcSim

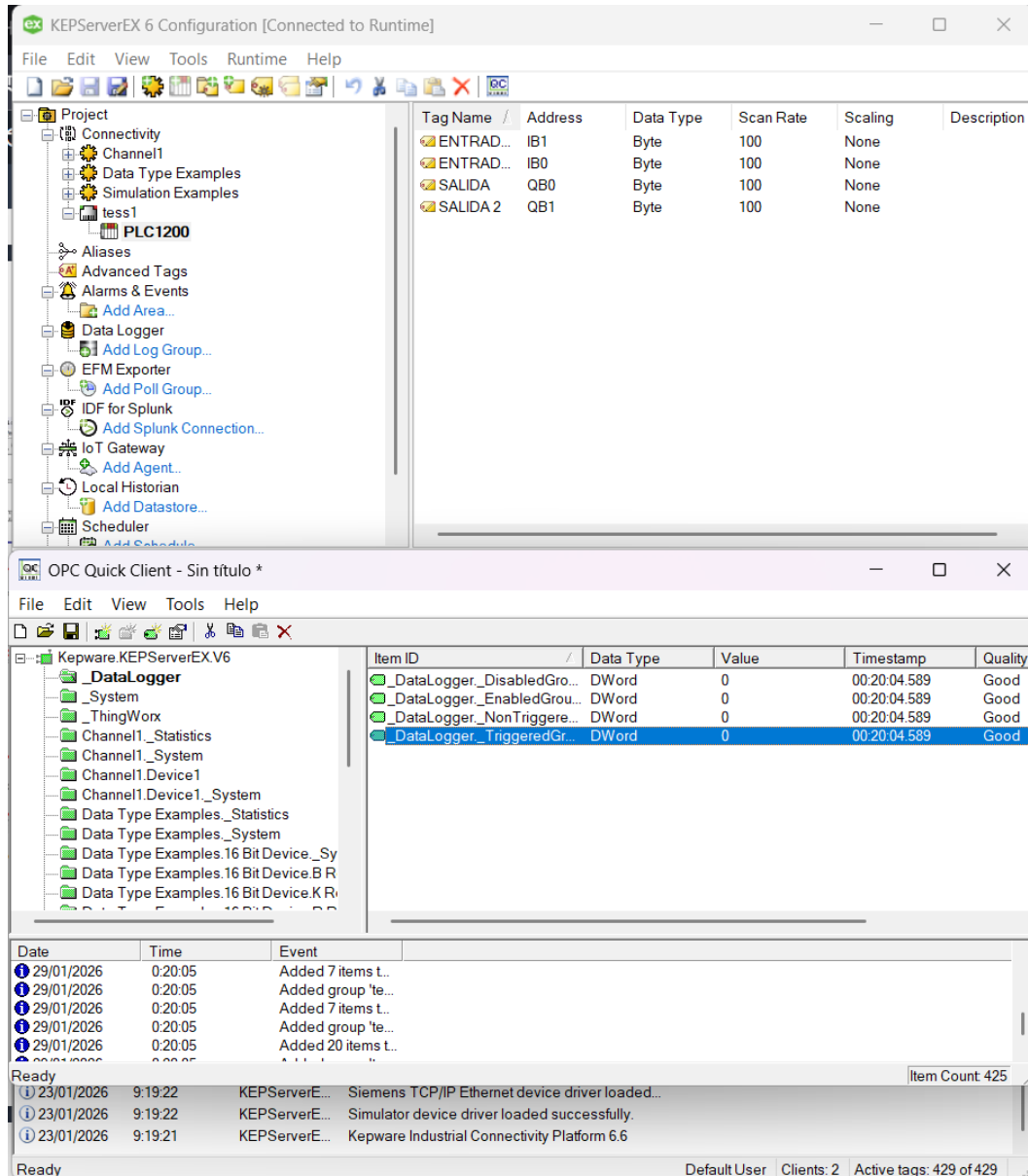


Nota: Aquí se puede visualizar la interfaz de NetToPlcSim

Gestión de Datos (KEPServerEX): En la Figura 36 se utilizó este servidor como intérprete OPC para la consolidación de las variables utilizadas en el proceso. En la simulación, se verificó el direccionamiento de las entradas y salidas digitales, tales como IB0 y QB0, y nos aseguramos de que cada bit corresponda a un actuador o sensor específico.

Figura 36

KEPServerEx 6 Configuration



Nota: Aqui se puede visualizar la interfza de KEPServerEx

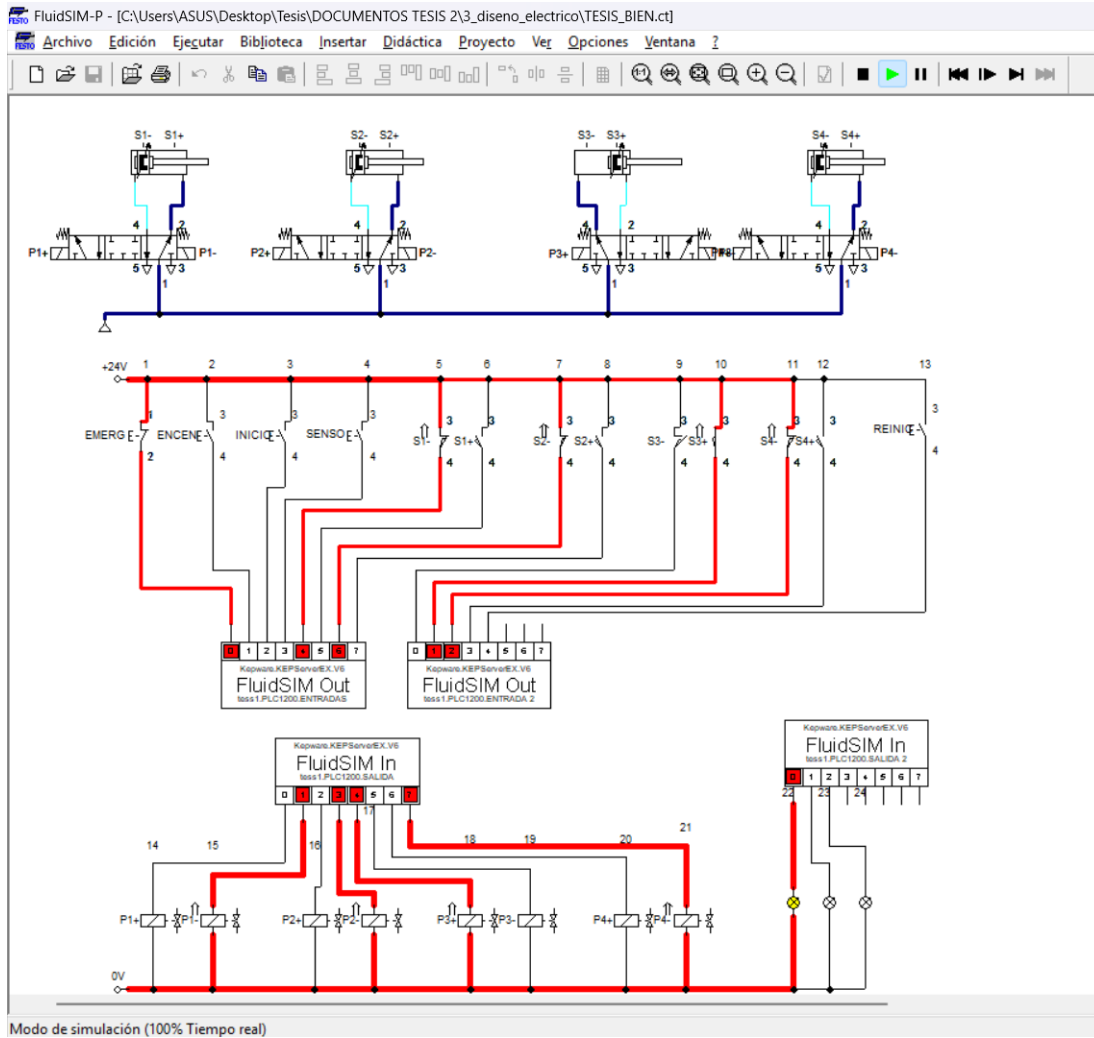
Una vez realizada la comunicación, se ejecutó la programación de control para poder ver el comportamiento dinámico de los componentes neumáticos.

Interfaz FluidSim: En la simulación en la Figura 37 se observa la activación de las líneas de

presión (color azul) y las señales eléctricas de mando (color rojo). Al activarse las salidas del PLC, las electroválvulas conmutan su posición, permitiendo el flujo de aire hacia las cámaras de los cilindros.

Figura 37

Entorno FluidSim



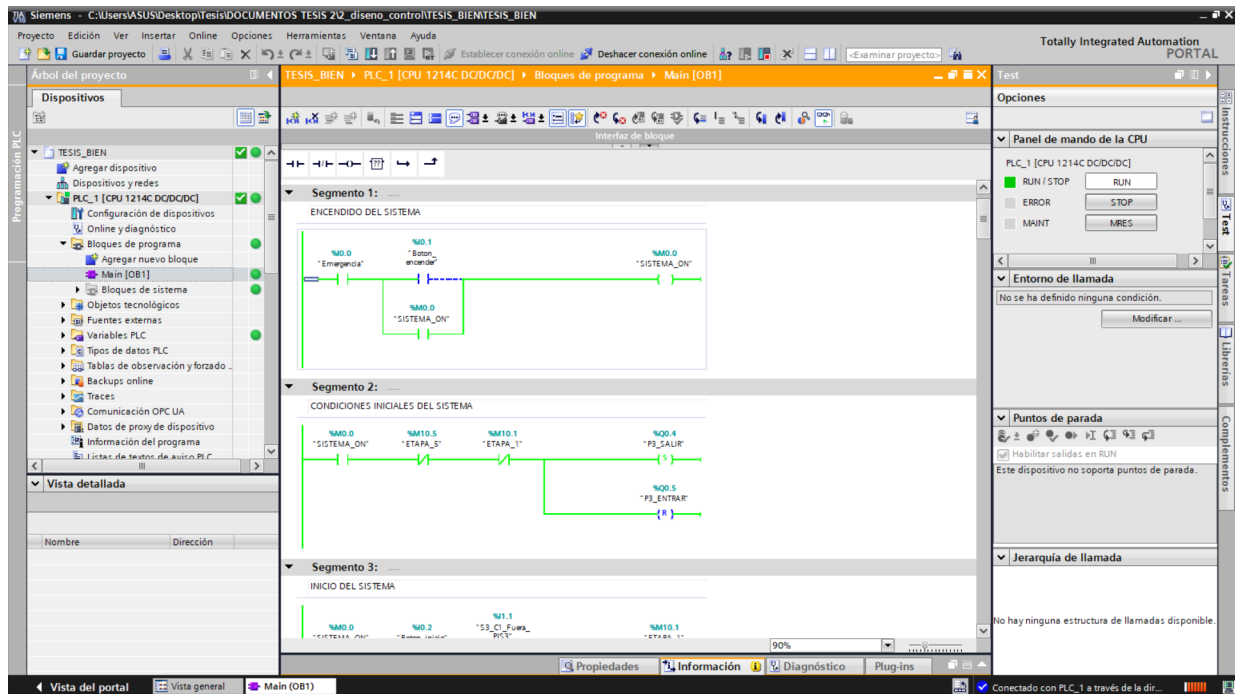
Nota: Aquí se puede visualizar el comportamiento dinámico de los actuadores y circuito electroneumático en entorno FluidSim.

Monitoreo de variables (TIA Portal): En la Figura 38 se puede ver que, mediante la función de observación del software, se puede visualizar el estado de cada segmento del programa

en tiempo real. Se verifica que las condiciones lógicas se cumplen antes de enviar la orden de movimiento a los actuadores. Se logra verificar que las condiciones se cumplen antes de realizar cualquier etapa.

Figura 38

Entorno TIA Portal

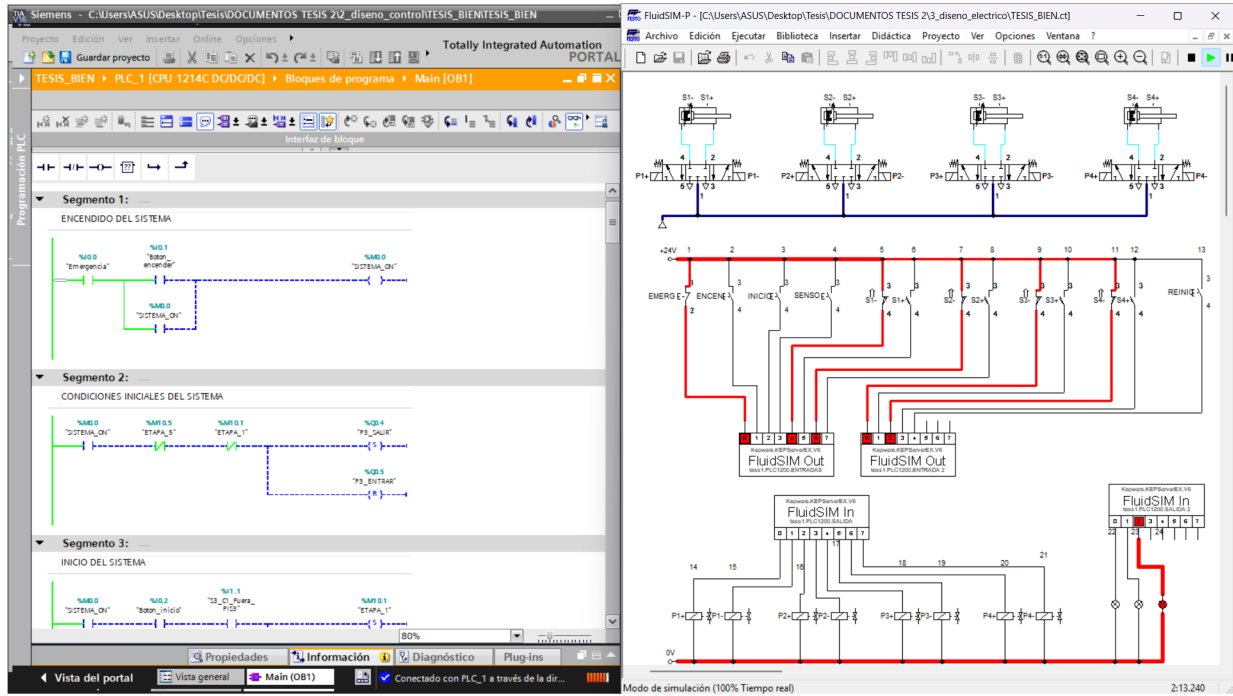


Nota: La imagen corresponde Lógica de control programada en TIA Portal y estado de las variables en tiempo real.

En la Figura 39 podemos ver los dos softwares funcionando conjuntamente, donde, al activar el contacto de encendido, inicio o reinicio, realiza dicho proceso en la interfaz de FluidSim inmediatamente, logrando tener una retroalimentación en tiempo real.

Figura 39

Entorno FluidSim y TIA Portal



Nota: La imagen corresponde a la sincronización de señales entre el controlador lógico y la planta virtual.

5.5. Analizar los costos de implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

Una vez concluida la fase del diseño mecatrónico y especificación de componentes de la célula flexible, se hace el análisis económico detallado para determinar la inversión necesaria. Se va a detallar el costo de recursos materiales mecánicos, componentes eléctricos, componentes de control y el costo operativo, es decir, la mano de obra para la programación, montaje y mecanizado.

Realizar un análisis de costos nos ayuda a fijar una inversión inicial, la cual nos ayudará a determinar la rentabilidad en el entorno operativo de la empresa Remibrass S.A.

En las siguientes tablas (14, 15 y 16) se van a mostrar los costos detallados de los

materiales.

Tabla 14

Presupuesto de recursos materiales mecánicos

Material / Especificación	Cant.	P. Unit. (USD)	Total (USD)
Tubo estructural cuadrado 60x60x3	2	41	82
Plancha de acero A36 3mm)	2	75	150
Acero SAE 1045	1	250	250
Grilón 25x25x10	1	85	85
Aluminio 6061-T6	1	280	280
Acero inoxidable, espesor 1.5 mm.	1	100	100
Pernos y tuercas	30	0.2	6
Subtotal Materiales Mecánicos (USD)			953

Nota: La tabla presenta los costos de los materiales mecánicos (Novacero, 2026) (Hierro, 2025).

Tabla 15*Presupuesto de componentes eléctricos, de control y neumáticos*

Modelo / Referencia				Cant.	P. Unit. (USD)	Total (USD)
PLC	S7-1200	CPU	1214C	1	1.125,85	1.126
DC/DC/DC						
Módulo digital SM 1223				1	288	288
Cilindros DSNU-25-400-P-A				1	85	85
Cilindros DSBC-32-150-PPSA-N3				1	150	150
Cilindros DSBC-32-125-PPSA-N3				2	150	300
Sensores de posición SMT-8M				8	51	408
Sensor inductivo SIEN-M8B				1	77	77
Electroválvulas VUVG-L14 (5/2 bies- table)				4	141	564
Unidad de mando				4	15	60
Luz piloto				3	13	39
Unidad de emergencia				1	30	30
Fuente de poder SITOP PSU100C 24V / 5A				1	160	160
Subtotal Componentes Electrónicos (USD)						3,287

Nota: La tabla presenta los costos de los materiales eléctricos (Rodríguez, 2026) (Montero, s.f.) (Wia, 2026).

Tabla 16*Costo de la mano de obra para el proyecto*

# de Elemento	Nombre	Costo hora (USD)	Horas	Total (USD)
1	Programación	20	40	800
2	Montaje	10	30	300
3	Mecanizado	20	40	800
Precio Final				1,900

Nota: La tabla presenta los costos de la mano de obra.

Una vez detallados los costos de materiales y mano de obra, se suma el valor total de la inversión necesaria para la implementación física del sistema. En la (Tabla 17) se muestra el costo total de implementación de la célula flexible.

Tabla 17*Costo total de la implementación del sistema*

Costo final del sistema		
# de Elemento	Nombre	Total (USD)
1	Recursos materiales	4,240
2	Mano de obra	1,900
Precio Final		6.140

Nota: La tabla presenta el costo total de la implementación del sistema

Una vez detallados los costos de los componentes mecánicos, eléctricos y de mano de obra, cuyo monto total define la inversión en la célula flexible, se determinan los costos fijos y variables de operación en la tabla (Tabla 18) y (Tabla 19) . Es importante mencionar que los valores presentados en este apartado tienen un carácter referencial, con el fin objetivo

de proteger la información sensible comercial de la empresa Remibrass S.A. Estos datos son necesarios para el análisis de costos que nos permiten verificar si el sistema es viable financieramente con una proyección de 5 años.

Tabla 18

Costos fijos

	Descripción	Inversión (USD)	Vida útil (Años)
Sistema de Control	PLC Siemens S7-1200, módulos de expansión I/O y fuentes.	1,574	5
Sistema neumático	Actuadores, electroválvulas y unidad de mantenimiento Festo.	1,228	5
Sensores	Sensores inductivos, ópticos y de final de carrera.	485	5
Estructura Mecánica	Perfilería de aluminio, placas de acero y tornillería.	953	10
Costo total		4.240	–

Nota: *La tabla presenta los activos fijos.*

Tabla 19*Costos Variables*

Concepto	Cálculo / Detalle	Costo (USD)
Materia Prima	$\$9.00 \div 4$ unidades	2.25
Energía y Aire Comprimido	Consumo eléctrico del sistema por ciclo.	0.15
Insumos	Limpieza.	0.05
Desperdicios	Desperdicio por cada ciclo.	0.05
Costo total		2.50

Nota: Valores calculados por unidad producida basados en el rendimiento de la célula flexible.

En la (Tabla 20) tenemos una proyección del valor de cada tubo en los primeros dos años; el tubo tendrá un valor de \$ 2.75 y del año 3 al 5 costará \$3.00.

Tabla 20*Proyección de precios de Venta*

Concepto	Cálculo / Detalle	Precio (USD)
Del año 1 al año 2	Precio proyectado por unidad	2.75
Del año 3 al año 5	Precio proyectado por unidad	3.00

Nota: Valores proyectados por la empresa para la venta de tubos.

En la (Tabla 21) se detalla la planificación de la producción para los 5 años. Para los años 1 y 2, se estima una capacidad operativa del 85%, considerando una jornada de 8 horas diarias durante los 248 días laborables del año. A partir del tercer año, se proyecta un incremento en la producción hasta alcanzar el 100% de la capacidad.

Tabla 21*Estimación de producción de Tubos*

Años	Cálculo / Detalle	Unidades
Año 1	Producción estimada	208,320
Año 2	Producción estimada	208,320
Año 3	Incremento del 14% vs período anterior	237,485
Año 4	Mantenimiento de producción	237,485
Año 5	Producción final estimada	237,484

Nota: Esta tabla muestra las proyecciones de crecimiento del 14% para el tercer año.

En la (Tabla 22) se muestra el total de ingresos en 5 años de acuerdo con el precio y la producción en cada año.

Tabla 22*Ingresos de cada año de producción*

DETALLES	0	1	2	3	4	5
PRECIO		\$ 2.75	\$ 2.75	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00
PRODUCCIÓN		208,320.00	208,320.00	237,484.80	237,484.80	237,484.80
VENTAS		\$ 572,880.00	\$ 572,880.00	\$ 712,454.40	\$ 712,454.40	\$ 712,454.40
TOTAL DE INGRESOS		\$ 572,880.00	\$ 572,880.00	\$ 712,454.40	\$ 712,454.40	\$ 712,454.40

En la (Tabla 23) se muestra el total de egresos, el cual se saca sumando los costos fijos, variables y depreciaciones de cada año.

Tabla 23*Egresos de cada año de producción*

DETALLES	0	1	2	3	4	5
VARIABLES	\$ 520,800.0	\$ 520,800.0	\$ 593,712.0	\$ 593,712.0	\$ 593,712.0	\$ 593,712.0
FIJOS	\$ 4,240.0	\$ 4,240.0	\$ 4,240.0	\$ 4,240.0	\$ 4,240.0	\$ 4,240.0
DEPRECIACIONES						
CONSTRUCCIÓN	\$ 190.0	\$ 190.0	\$ 190.0	\$ 190.0	\$ 190.0	\$ 190.0
MAQUINARÍA	\$ 848.0	\$ 848.0	\$ 848.0	\$ 848.0	\$ 848.0	\$ 848.0
TOTAL DE EGRESOS	\$ 526,078.0	\$ 526,078.0	\$ 598,990.0	\$ 598,990.0	\$ 598,990.0	\$ 598,990.0

Los parámetros mostrados en la (Tabla 24) son la utilidad operativa que se saca de la resta entre el total de ingresos y egresos; así mismo, se saca el impuesto de una tasa impositiva del 25%, correspondiente a las obligaciones tributarias.

Tabla 24*Cálculo de utilidad operativa y Utilidad Neta*

DETALLES	0	1	2	3	4	5
UTILIDAD OPERATIVA	\$ 46.802,0	\$ 46.802,0	\$ 113.464,4	\$ 113.464,4	\$ 113.464,4	\$ 113.464,4
IMPUESTO (25%)	\$ 11.700,5	\$ 11.700,5	\$ 28.366,1	\$ 28.366,1	\$ 28.366,1	\$ 28.366,1
UTILIDAD NETA	\$ 35.101,5	\$ 35.101,5	\$ 85.098,3	\$ 85.098,3	\$ 85.098,3	\$ 85.098,3

Nota: El impuesto se calcula sobre la utilidad operativa.

En la (Tabla 25) se visualiza el capital de trabajo necesario para mantener operando continuamente la célula flexible. Esto se calculó teniendo en cuenta el 25% de la suma de los costos fijos y variables del primer año. Para el año 2, se visualiza un ajuste de capital de -\$18.228,00; este valor es negativo, ya que es la inversión que se necesita hacer, ya que la

producción va a incrementar, como ya proyectamos, a partir del año 3 para que la empresa pueda operar con insumos suficientes para cubrir la nueva capacidad de producción.

Tabla 25

Evaluación financiera: Flujo de efectivo neto e Indicadores

DETALLES	0	1	2	3	4
Capital de Trabajo	-\$ 131.260	\$- - -	-\$ 18.228,00	\$- - -	\$- - -

Nota: Este monto representa el flujo de salida inicial para la puesta en marcha del proyecto.

Finalmente, en la (Tabla 26) se sacó el efectivo neto, el cual se calculó mediante la suma de los costes de construcción, material y capital de trabajo; así mismo se sacó el flujo de efectivo neto de cada año mediante la suma de utilidad neta, depreciaciones y el capital de trabajo.

Tabla 26

Evaluación financiera: Flujo de efectivo neto e Indicadores

DETALLES	0	1	2	3	4	5
EFFECTIVO NETO	-\$ 137.400	\$ 36.139,50	\$ 17.911,50	\$ 86.136,30	\$ 86.136,30	\$ 86.136,30

Indicadores Financieros	Valor	Notas / Detalle
Tasa de Descuento	15%	Tasa mínima aceptable de rendimiento
Valor Actual Neto	56.279,01\$	Proyecto viable (VAN >0)
Tasa Interna de Retorno	28%	Rentabilidad superior a la tasa de descuento

Nota: El flujo neto considera la utilidad neta ajustada por gastos no desembolsables.

De acuerdo con los resultados presentados en la (Tabla 26), se observa que, al aplicar rentabilidad mínima exigida del 15%, el proyecto nos da una Tasa Interna de Retorno del 28%. Ya que la TIR supera el costo del capital establecido, se demuestra la rentabilidad de la

inversión. También, el Valor Actual Neto (VAN) obtenido es de \$56,279.01; ya que el valor del VAN es mayor a cero, se confirma que el proyecto es viable económicamente, ya que, aparte de recuperar lo invertido, también genera ganancias.

6. Resultados

6.1. Resultados de establecer los parámetros iniciales para el diseño de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

La determinación de los parámetros iniciales para el diseño de la célula flexible adaptada a la máquina CNC en la empresa Remibrass S.A. se basa en diferentes factores que son muy importantes para definir las características operativas necesarias para la integración entre el sistema de la célula flexible y el proceso de conformado.

Tabla 27

Parámetros iniciales establecidos para la célula flexible

Parámetro	Valor Objetivo
Capacidad de producción	120 piezas / hora
Tiempo de ciclo máximo	29 segundos / pieza
Disponibilidad operativa	85% (Jornada 10h)
Espacio físico disponible	3.0 m x 2 m
Presupuesto de implementación	\$20,000 USD
Adaptabilidad a tubos de diferentes longitudes	700mm - 1530mm
Seguridad operativa	Paradas de emergencia integradas

Nota: La tabla muestra los requerimientos operativos necesarios para el diseño del sistema en Remibrass S.A.

En la (Tabla 27) se detallan los parámetros técnicos y operativos fundamentales para el diseño de la célula flexible. Estas necesidades son como restricciones y objetivos que nos aseguran la sincronización con la máquina CNC.

6.2. Resultados de la propuesta del diseño mecatrónico de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

Se desarrolló un sistema automatizado diseñado para la colocación y extracción de tubos de acero galvanizado en la máquina CNC. El control de la célula depende del sistema mecánico, electrónico y la lógica de control. Con el objetivo de optimizar la fabricación y el mantenimiento, el diseño mecánico se consolidó de forma modular, dividiéndose en conjuntos funcionales que se detallan a continuación y sus componentes en las (Tablas 28, 29 y 30)

- Diseño del conjunto mecánico para el transporte de tubos. Este conjunto mecánico tiene la función de desplazar el tubo desde su posición inicial hasta la zona de posicionamiento. Cada elemento de este conjunto realiza una función para que el sistema de transporte pueda funcionar adecuadamente.

Tabla 28

Componentes del conjunto mecánico de transporte del tubo

Componente	Especificación
Material	Tubo estructural cuadrado galvanizado Plancha de acero A36 Grilón Aluminio 6061-T6
Actuador	DSBC-32-150-PPSAN3
Sensor	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8

Nota: La tabla presenta los componentes utilizados en el conjunto mecánico de transporte de tubos

- Diseño del conjunto mecánico para el posicionamiento de tubos. Este conjunto mecánico es el que se encarga de que el tubo quede dentro de la máquina CNC. Gracias a las guías lineales y pistones, el sistema logra mover el material y lo mantiene bien centrado antes de empezar a trabajar. Al usar una pinza que se desliza con precisión, se evita que el tubo se mueva de lado, lo que nos ayuda a que cada pieza salga igual a la anterior y sin errores.

Tabla 29

Componentes del conjunto mecánico para el posicionamiento de tubos

Componente	Especificación
Material	Aluminio 6061-T6
Actuador	2 - DSBC-32-125-PPSAN3 DSNU-25-400-P-A
Sensor	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8 Inductivo SIEN-M8B-PS-S-L

Nota: La tabla presenta los componentes utilizados en el conjunto mecánico para el posicionamiento de tubos.

- Diseño del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos. Cuando la máquina CNC termina de trabajar el tubo, el carro de posicionamiento lineal mueve la pieza de regreso a su posición inicial. Al llegar ahí, la pinza de sujeción se abre por completo para dejar que el tubo caiga por gravedad hacia la tolva de almacenamiento. Con este paso se logra que la descarga sea totalmente automática y segura.

Tabla 30*Componentes del conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos*

Componente	Especificación
Material	Acero inoxidable Tubo estructural cuadrado Plancha de acero A36

Nota: La tabla presenta los componentes utilizados en el conjunto mecánico para el almacenamiento de tubos.

6.3. Resultados del análisis de costos de implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.

Después del análisis detallado de los componentes y la mano de obra requerida, el costo total de implementación de la célula flexible para Remibrass S.A. es de \$6,140.00 USD (Tabla 31) . Este monto representa la inversión física inicial, detallando en recursos materiales y mano de obra especializada, tal como se detalla en la tabla:

Tabla 31*Costo total de la implementación de la célula flexible*

Item	Descripción del Rubro	Total (USD)
1	Recursos materiales (Mecánicos, Eléctricos y Neumáticos)	4,240.00
2	Mano de obra especializada (Montaje y Programación)	1,900.00
INVERSIÓN TOTAL EN ACTIVOS		6,140.00

Nota: Este monto representa el capital técnico necesario para la puesta en marcha física del sistema.

Finalmente, al integrar los costos de inversión, los gastos operativos y las proyecciones de

ingresos en cinco años, se obtienen los indicadores de rentabilidad mostrados en la (Tabla 32). Como se puede visualizar, el proyecto es viable, porque el VAN resultó con un valor mayor a cero, \$56,279.01, lo que asegura que la inversión genera ganancias para Remibrass S.A. Asimismo, la (TIR) alcanza un 28%, superando el 15% establecido, lo que indica que la automatización del proceso de conformado de tubería es rentable.

Tabla 32

Evaluación financiera: Flujo de efectivo neto e Indicadores

Indicadores Financieros	Valor	Detalle
Tasa de Descuento	15%	Tasa mínima aceptable de rendimiento
Valor Actual Neto	56.279,01\$	Proyecto viable (VAN >0)
Tasa Interna de Retorno	28%	Rentabilidad superior a la tasa de descuento

Nota: El flujo neto considera la utilidad neta ajustada por gastos no desembolsables.

7. Conclusiones

- **Calidad y seguridad:** La implementación de la célula flexible es fundamental para los estándares de calidad de *Remibrass S.A.*, ya que los tubos de acero galvanizado son componentes críticos para la conducción de gas en cocinas. Es muy importante; la precisión del sistema automatizado nos garantiza un buen producto final, aminorando riesgos de fuga y cumpliendo con los requisitos de seguridad industrial y de la empresa.
- **Eficacia del diseño mecatrónico:** Las variables que se obtuvieron durante la fase de diagnóstico resultaron muy importantes para el desarrollo del diseño mecatrónico que cumple con los requisitos de la empresa. Después de evaluar diferentes propuestas tecnológicas, se seleccionó la opción que más se adaptaba a las necesidades del sistema, logrando un equilibrio entre la complejidad técnica y los objetivos de producción.
- **Criterios de selección:** En el diseño del sistema se priorizó soluciones que no tengan mucha complejidad para su operación ni costos muy altos de implementación; esto nos permitió seleccionar tecnologías que sean robustas y accesibles, que nos aseguren que la inversión tecnológica se ajuste al tamaño de operación de la planta.

- **Mantenibilidad y diseño modular:** Se determinó que el diseño del sistema por módulos nos facilita manipular la máquina cuando requiera de mantenimiento, de reparación por alguna falla o simplemente por limpieza. Esto nos permite acceder a cualquier componente del sistema, reduciendo tiempos muertos que podrían existir y simplificando mantenimientos periódicos.
- **Viabilidad económica y rentabilidad:** Mediante el análisis de costos se confirmó que el proyecto es viable, estableciendo un costo de implementación de \$6,140.00 y una inversión operativa para producción de \$137,400.00., a pesar de que los valores son carácter referencial para proteger los datos sensibles de la empresa.

8. Recomendaciones

- **Escalabilidad y flexibilidad del sistema:** Es recomendable aprovechar el diseño modular de la célula flexible para que en un futuro se puedan realizar expansiones en la planta de producción. Este sistema tiene la capacidad de poder ser integrado a nuevas líneas de producción sin la necesidad de modificar el sistema significativamente; esto permitirá escalar su capacidad operativa de manera eficiente y sin muchas complicaciones.
- **Capacitación y seguridad operativa:** Se recomienda realizar capacitaciones del uso del sistema para los operadores antes de empezar a usar el sistema. La capacitación se debe enfocar en los elementos de seguridad que existen; así mismo, deben conocer cuáles son las condiciones iniciales de trabajo; también se debe conocer cuál es la lógica del sistema, para que no existan problemas entre el operador y la máquina.
- **Plan de Mantenimiento Preventivo:** Se sugiere realizar mantenimiento preventivo aprovechando que el sistema está diseñado de manera modular. Es recomendable realizar inspecciones periódicas de los actuadores neumáticos y conexiones eléctricas para evitar paradas no programadas que puedan afectar con el objetivo de producción de la empresa.
- **Actualización de software y sensores:** Con el fin de mantener la competitividad tecnológica, es recomendable realizar inspecciones anuales de los algoritmos de programación y del estado de los sensores. La actualización tecnológica nos permitirá que la célula flexible mantenga su precisión en el conformado de tubería frente al desgaste natural de los componentes electrónicos.

9. Cronograma

Tabla 33

Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Establecer los parámetros iniciales para el diseño una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	Indagación Bibliográfica.	X	X	X																						30
	Sintetizar la información encontrada en la literatura.				X	X																				20
	Analizar los datos.					X	X																			20
	Establecer los parámetros iniciales de diseño de acuerdo con los requerimientos encontrados en la revisión bibliográfica.								X	X	X															30
Proponer el diseño mecatrónico de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	Elaboración del diseño mecánico.										X	X	X	X											40	
	Elaboración del diseño de control.													X	X	X									30	
	Elaboración del diseño electrónico.															X	X								20	
	Depuración de los diseños elaborados.																		X						10	
	Evaluación del diseño mecánico mediante software.																			X	X				20	
Analizar los costos de implementación de una célula flexible adaptada a una máquina CNC para el proceso de conformado de tubería en la empresa Remibrass S.A.	Análisis de los costos de manufactura dede una célula flexible adaptada a una máquina CNC.																						X	X	20	
	Redacción de documento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Total de horas empleadas																							240			

95

Nota: La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados. La tabla puede ajustarse de acuerdo a la cantidad de objetivos y actividades que se requieran

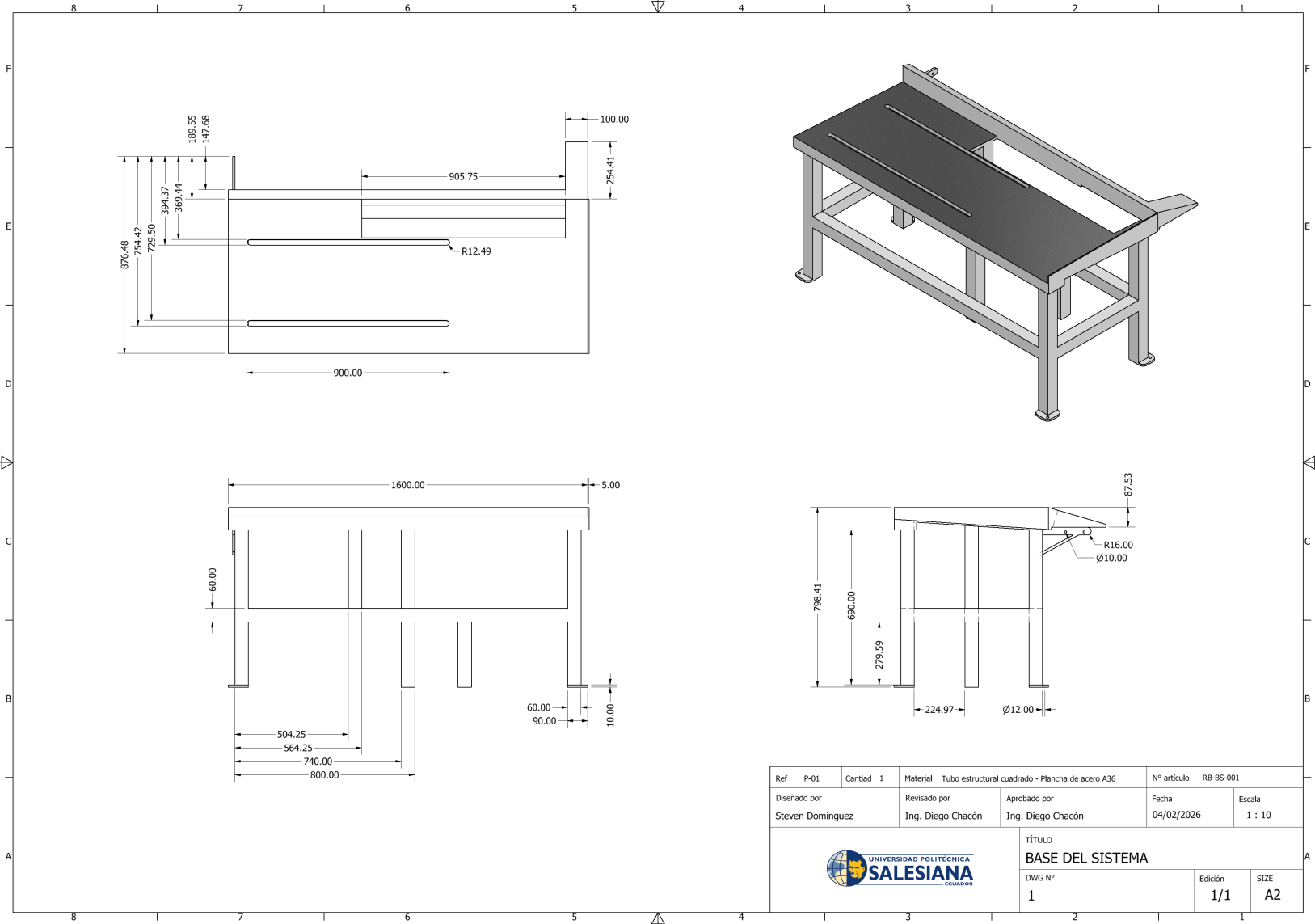
Referencias


- Amaya Pinos Esteban, C. C. e. (2021). Diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducción de tiempos en la línea de producción de la empresa indurama. *Consultado:28/03/2025*.
- AutomaQ. (2020). Sm 1223 modulo de entrada y salida digital 8di / 8do, 8di 24vdc, sink/source, 8do, transistor 0,5a., 6es7223-1bh32-0xb0. <https://automaq.pe/producto/3846/sm-1223-modulo-de-entrada-y-salida-digital-8di-8do-8di-24vdc-sinks-source-8do-transistor-05a>.
- Calcuvio. (2025). Calculadora de peso de un tubo de metal. *Consultado:15/06/2025*.
- Components, R. (2020). Siemens s7-1200 plc cpu. <https://es.rs-online.com/web/p/controladores-plcs-y-automatas/8624471?gb=a>.
- Dih4e. (2020). Activos célula de fabricación flexible. *Consultado:31/04/2025*.
- Electronica, E. (2021). Sensores industriales: Su importancia en la automatización. *Consultado:31/04/2025*.
- ES, E. C. (2024). ¿para qué se utilizan los rieles lineales? *Consultado:31/04/2025*.
- Fanuc. (2021a). Fiabilidad en el mecanizado y la alimentación de máquinas. *Consultado:28/03/2025*.
- Fanuc. (2021b). Los robots de alimentación de máquinas liberan tiempo a los operarios. *Consultado:28/03/2025*.
- Garcia, I. (2024). Los tipos de sensores más usados: definición y funcionalidad. *Consultado:31/04/2025*.
- Group, H. (2022). Sistema de alimentación automática garant basic. *Consultado:28/03/2025*.
- Group, Y. (2019). Máquina de alimentación de tubos. *Consultado:28/03/2025*.
- Hierro, M. (2025). Tubo cuadrado negro grandes. <https://metalhierro.com/producto/2942-tubo-cuadrado-negro-grandes>.
- Hoyos, L. (2023). Pneumatic cylinder force calculator. *Consultado:18/06/2025*.
- Industrial, S. (2023a). Bandas transportadoras. *Consultado:31/04/2025*.
- Industrial, S. (2023b). Introducción a los actuadores eléctricos: Motores eléctricos. *Consultado:31/04/2025*.
- Industriapedia. (2024). ¿qué es el diseño mecatrónico? *Consultado:31/04/2025*.
- Manufacturing, T. (2023). Las células de producción flexibles en el lean manufacturing. *Consultado:31/04/2025*.
- Montero, J. (s.f.). Plc simatics s7-1200 cpu 1214c, dc/dc/dc. <https://www.ajm.ec/shop/080826-6es7214-1ag40-0xb0-plc-simatics-s7-1200-cpu-1214c-dc-dc-dc-14di-24v-dc-10do-24v-dc-2ai-0-10v-dc-alim-20-4-28-8-v-dc-145060attr=>.

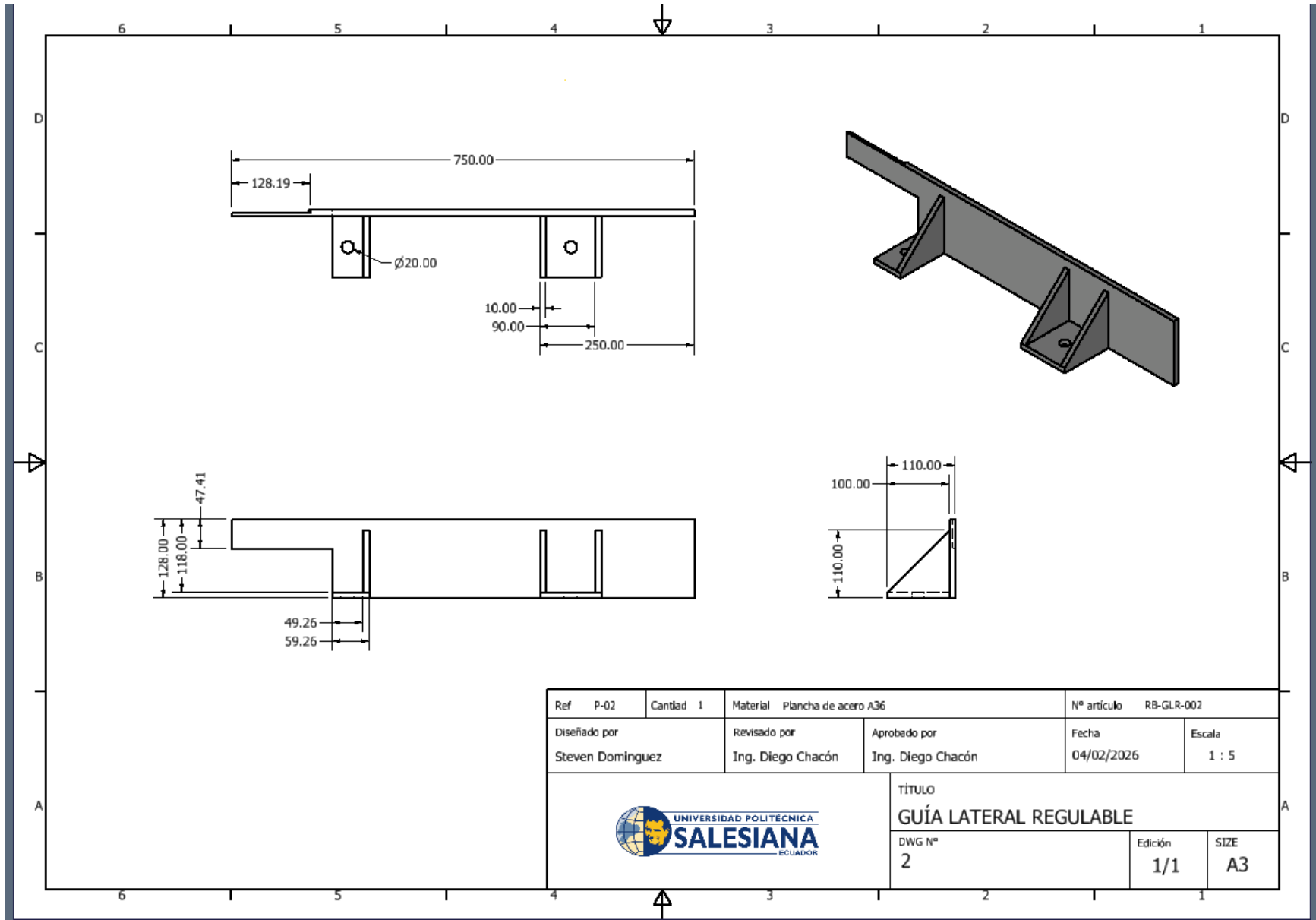
- Novacero. (2026). Plancha caliente. <https://www.novacero.com/industrial-metalmecanica/planchas-industriales-caliente/>.
- Pm, S. (2023). Vanguardia en mobiliario corporativo y sistemas de almacenamiento. *Consultado:31/04/2025*.
- Rodríguez, G. (2026). Pulsador tipo hongo siemens act. <https://electricoindustrial.com.ec/producto/pulsador-tipo-hongo-siemens-act-40mm/>.
- Saldias, A. (2023). ¿qué es un plc? ¿cómo funciona? ¿para qué sirve? *Consultado:31/04/2025*.
- Saltos Ruben, M. L., Gonzales Luis. (2022). Diseño de sistema automatizado de línea de mecanizado cnc. *Consultado:28/03/2025*.
- Steel, A. (2017). Density of carbon steel. *Consultado:16/06/2025*.
- Wecobots. (2020). Alimentación automática de máquina plegadora con robot colaborativo. *Consultado:28/03/2025*.
- Wia. (2026). 3su1152-6aa40-1aa0 siemens. <https://ec.wiautomation.com/siemens/variadores-motores-proteccion-de-circuitos/3SU11526AA401AA0>.

ANEXOS

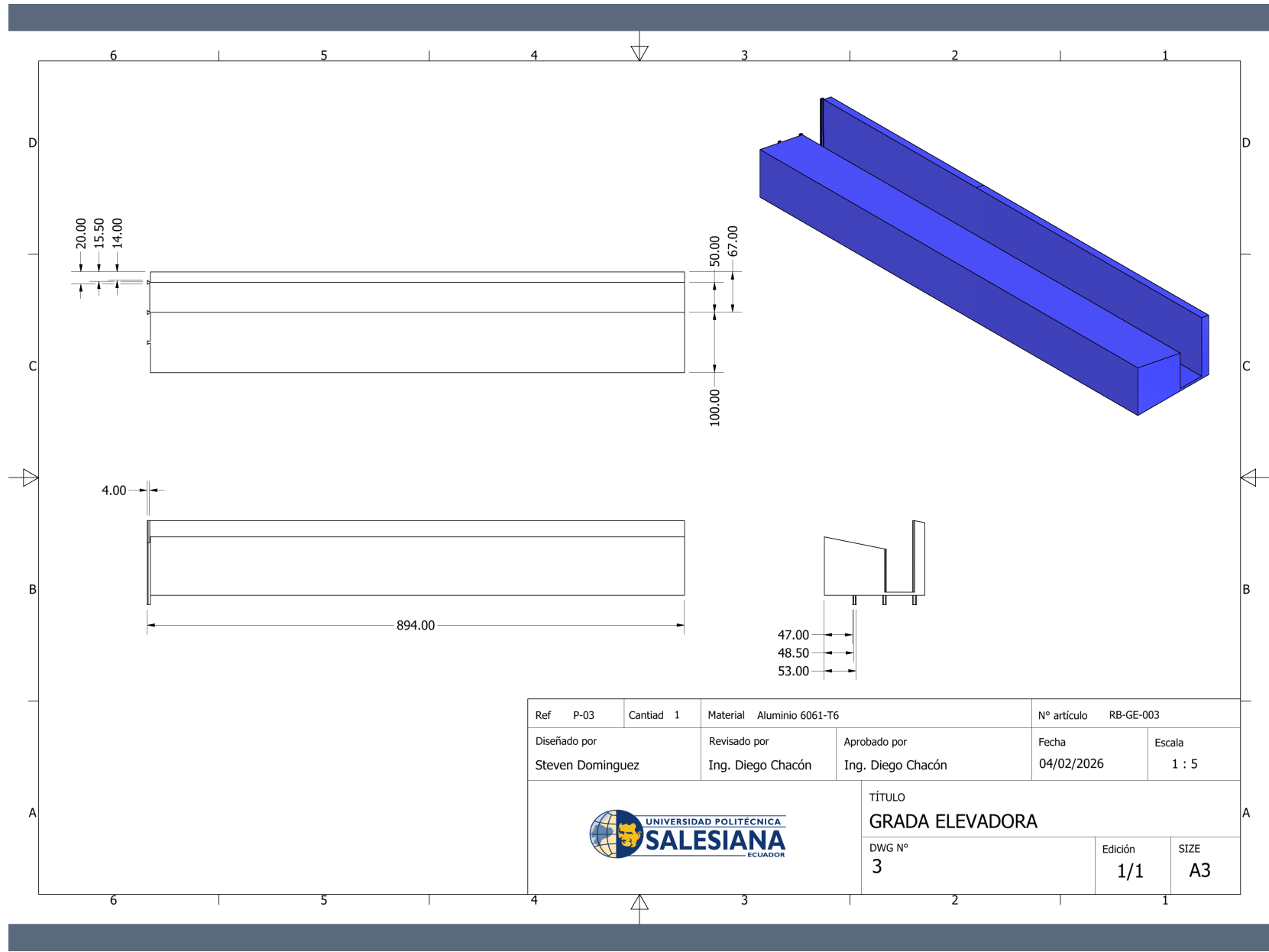
Anexo 1: Plano del conjunto de transporte



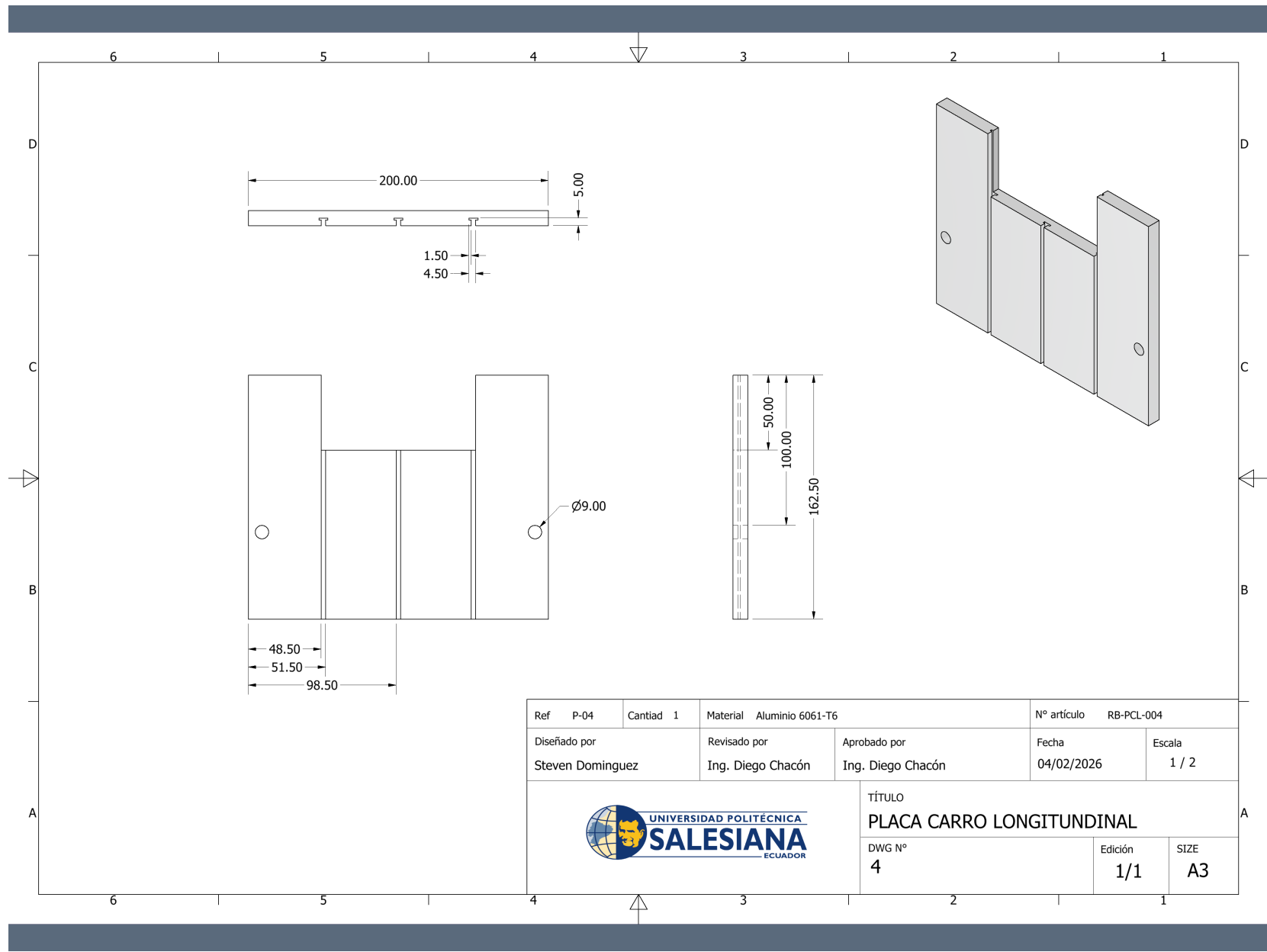
Ref	P-01	Cantidad	1	Material	Tubo estructural cuadrado - Plancha de acero A36	N° artículo	RB-BS-001		
Diseñado por	Steven Dominguez		Revisado por	Ing. Diego Chacón		Aprobado por	Ing. Diego Chacón		
						Fecha	04/02/2026	Escala	1 : 10
						TÍTULO			
						BASE DEL SISTEMA			
DWG N°						Edición	SIZE		
1						1/1	A2		




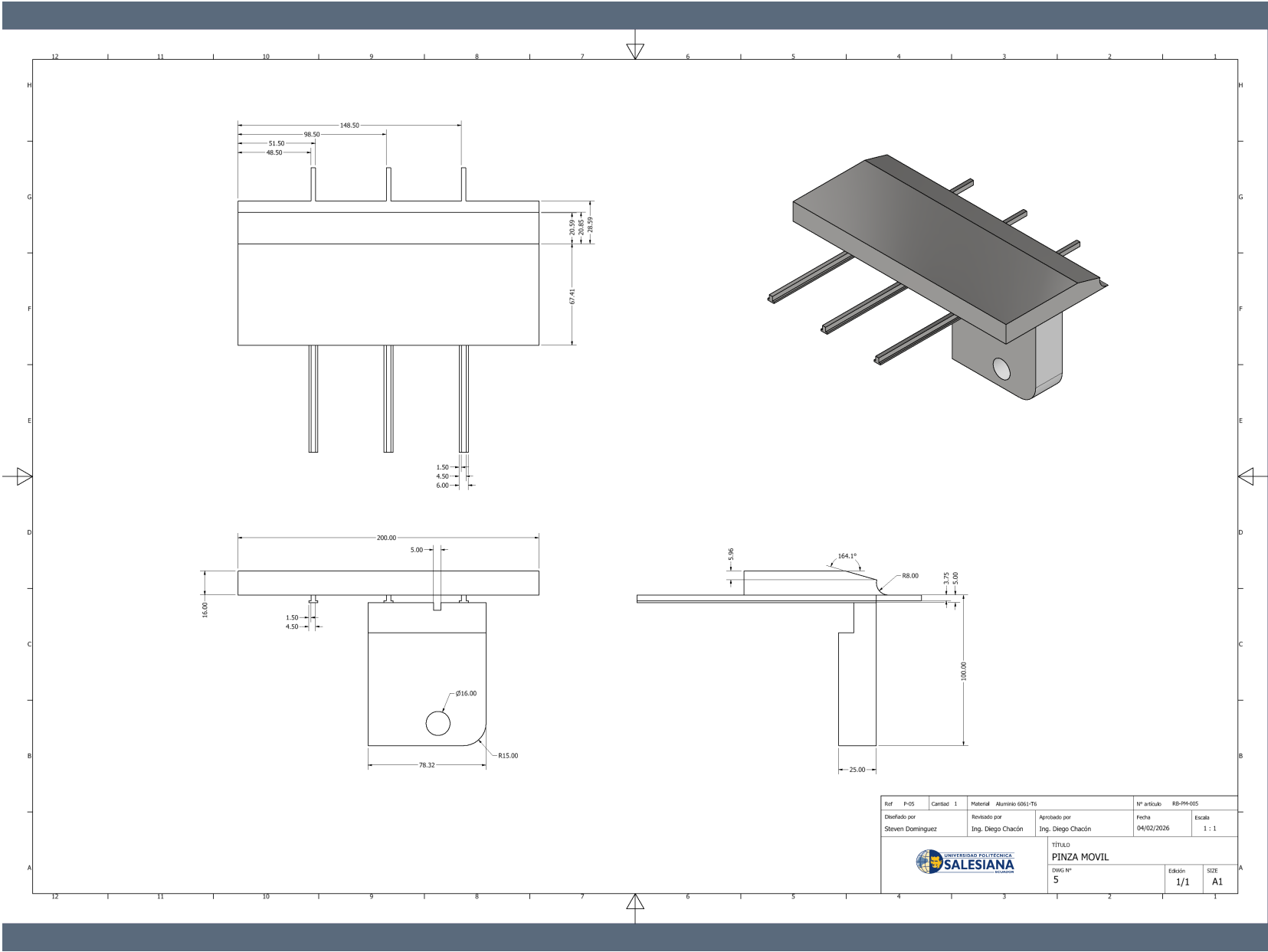
102




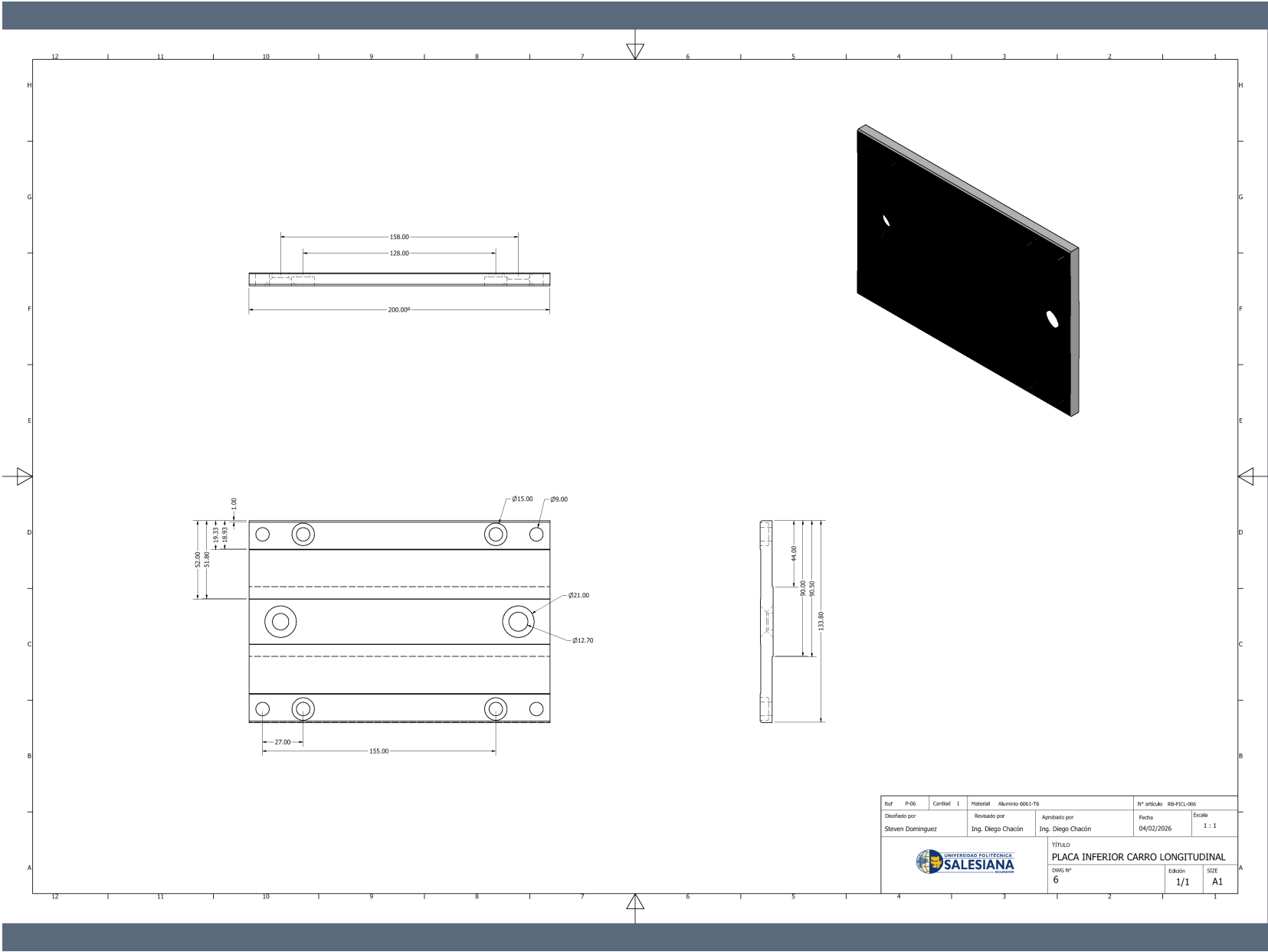
Anexo 2: Plano del conjunto mecánico de posicionamiento



Ref	P-04	Cantidad	1	Material	Aluminio 6061-T6	N° artículo	RB-PCL-004		
Diseñado por	Steven Dominguez		Revisado por	Ing. Diego Chacón		Aprobado por	Ing. Diego Chacón		
						Fecha	04/02/2026	Escala	1 / 2
						TÍTULO			
						PLACA CARRO LONGITUNDINAL			
DWG N°						Edición	SIZE		
4						1/1	A3		

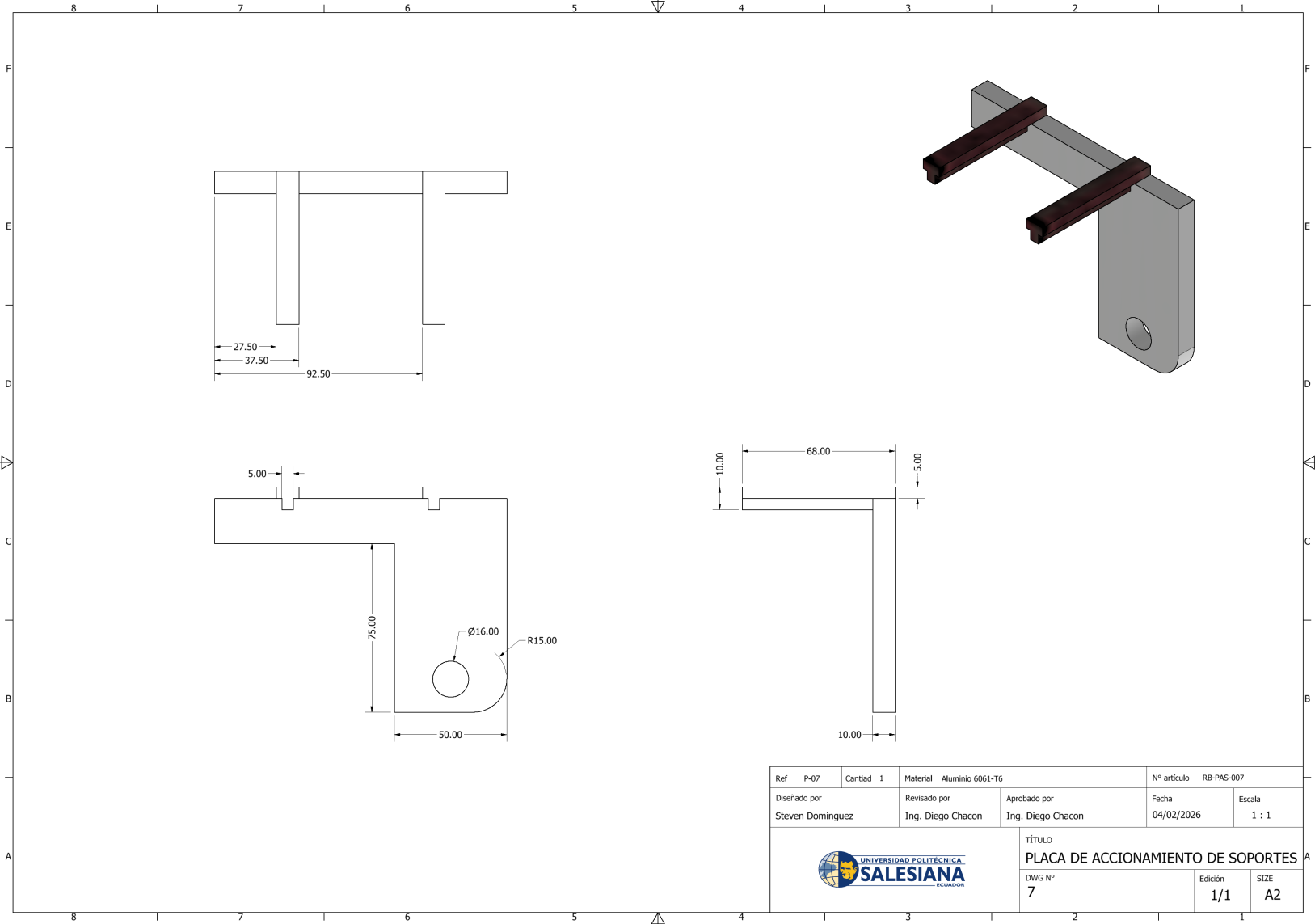


Ref	P-05	Cantidad	1	Material	Aluminio 6061-T6	N° artículo	RB-PM-005
Diseñado por	Steven Dominguez	Revisado por	Ing. Diego Chacón	Aprobado por	Ing. Diego Chacón	Fecha	04/02/2026
						TÍTULO	PINZA MOVIL
						DWG N°	5
						Edición	1/1
						SIZE	A1



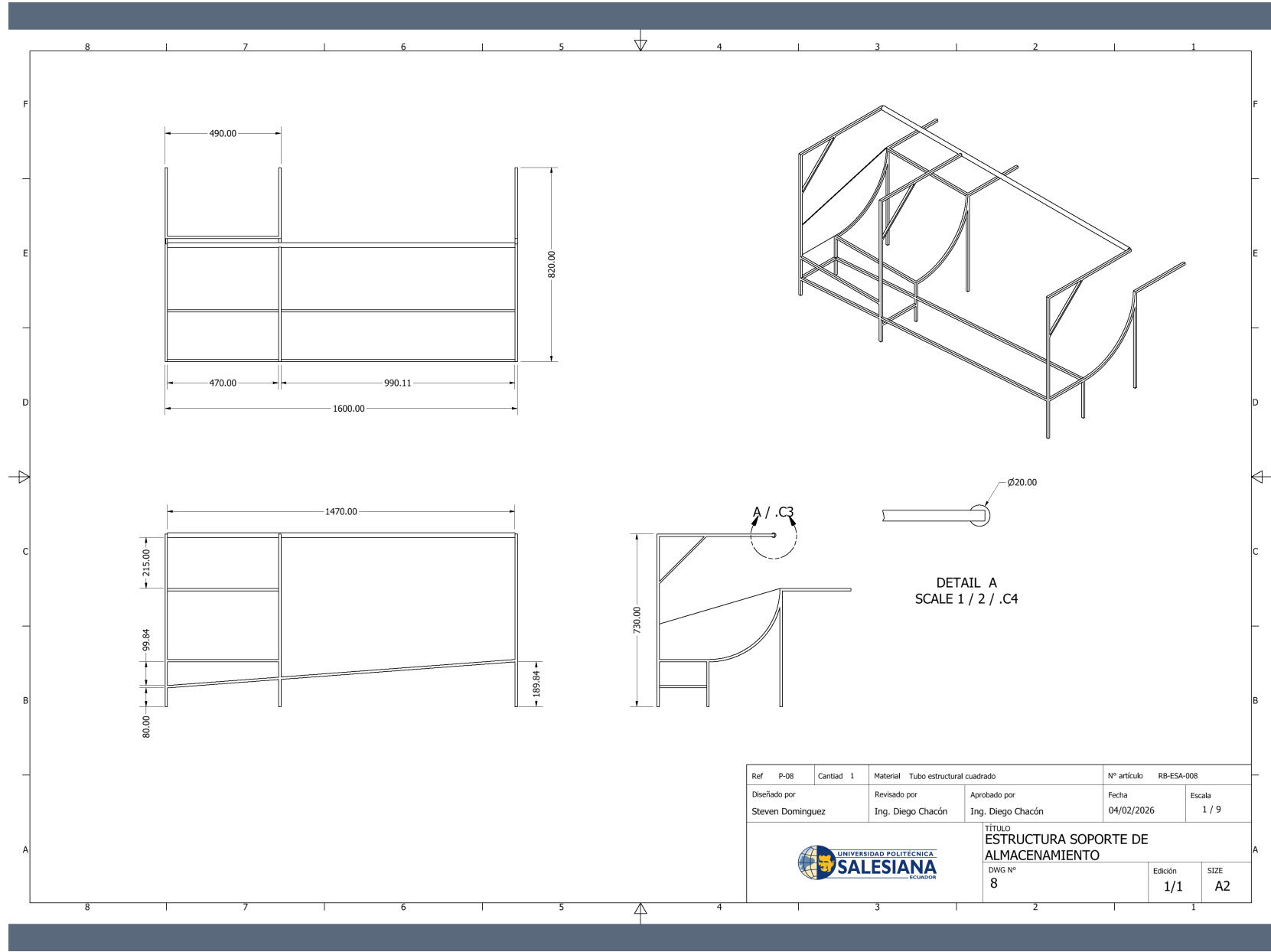
Ref	P-06	Cantidad	1	Material	Aluminio 6061-T6	N° artículo	88-PICL-006
Disenado por	Steven Dominguez	Revisado por	Ing. Diego Chacón	Aprobado por	Ing. Diego Chacón	Fecha	04/02/2026
						TÍTULO	PLACA INFERIOR CARRO LONGITUDINAL
						Edición	1/1
						Edición	1/1
						SIZE	A1
						Edición	1/1
						SIZE	A1


107



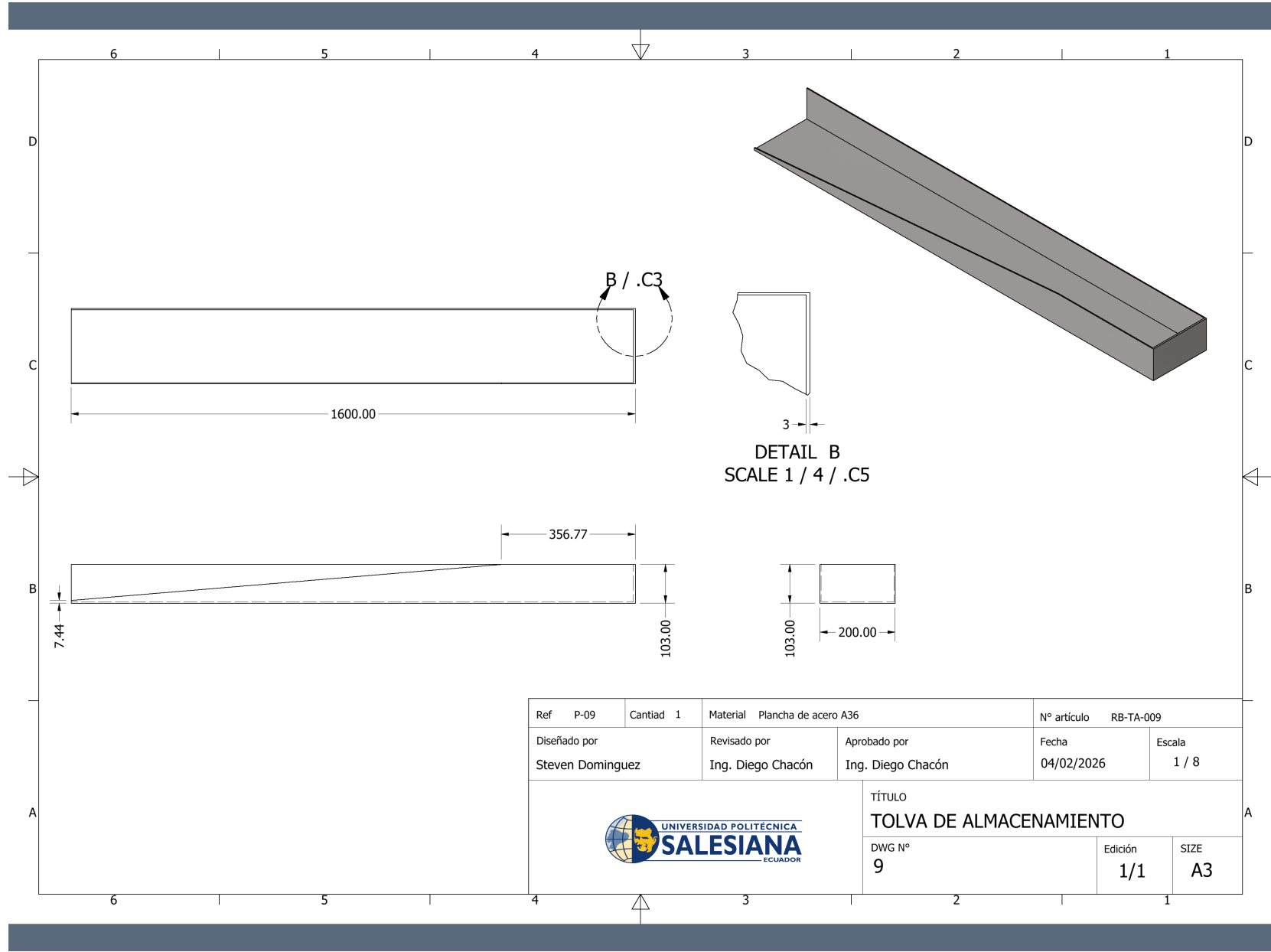
Ref	P-07	Cantidad	1	Material	Aluminio 6061-T6	N° artículo	RB-PAS-007
Diseñado por	Steven Dominguez	Revisado por	Ing. Diego Chacon	Aprobado por	Ing. Diego Chacon	Fecha	04/02/2026
						TÍTULO	PLACA DE ACCIONAMIENTO DE SOPORTES
						DWG N°	7
						Edición	1/1
						SIZE	A2


Anexo 3: Plano del conjunto mecánico para el almacenamiento



Ref	P-08	Cantidad	1	Material	Tubo estructural cuadrado	N° artículo	RB-ESA-008
Diseñado por	Steven Dominguez	Revisado por	Ing. Diego Chacón	Aprobado por	Ing. Diego Chacón	Fecha	04/02/2026
						TÍTULO	ESTRUCTURA SOPORTE DE ALMACENAMIENTO
						DWG N°	8
						Edición	1/1
						SIZE	A2

110



Ref	P-09	Cantidad	1	Material	Plancha de acero A36	N° artículo	RB-TA-009			
Diseñado por	Steven Dominguez		Revisado por	Ing. Diego Chacón	Aprobado por	Ing. Diego Chacón	Fecha	04/02/2026	Escala	1 / 8
						TÍTULO		TOLVA DE ALMACENAMIENTO		
						DWG N°	9	Edición	1/1	SIZE