



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**

**TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA INDUSTRIAL**

**MODALIDAD DUAL**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MUESTREADOR AUTOMÁTICO PARA  
CEMENTO, INSTALADO EN UN DUCTO DE PRODUCTO TERMINADO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial y  
Tecnólogo Superior en Mecánica Industrial

**AUTORES: WILLIAM ARIOSTO LÓPEZ VILLAVICENCIO**

**DIEGO ARMANDO ZUMBA DUCHI**

**TUTOR: ING. RENÉ FRANCISCO ZUMBA RIVERA, MGTR.**

Cuenca - Ecuador

2025

## I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, William Ariosto López Villavicencio con documento de identificación N° 0105481436 y Diego Armando Zumba Duchi con documento de identificación N° 0103749529; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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.

Cuenca, 14 de febrero del 2025

Atentamente,



---

William Ariosto López Villavicencio  
0105481436



---

Diego Armando Zumba Duchi  
0103749529

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

Nosotros, William Ariosto López Villavicencio con documento de identificación N° 0105481436 y Diego Armando Zumba Duchi con documento de identificación N° 0103749529, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: "Diseño e implementación de un muestreador automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial y Tecnólogo Superior en Mecánica Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 14 de febrero del 2025

Atentamente,



---

William Ariosto López Villavicencio  
0105481436



---

Diego Armando Zumba Duchi  
0103749529

### III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Francisco Zumba Rivera con documento de identificación N° 0102374436, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MUESTREADOR AUTOMÁTICO PARA CEMENTO, INSTALADO EN UN DUCTO DE PRODUCTO TERMINADO, realizado por William Ariosto López Villavicencio con documento de identificación N° 0105481436 y por Diego Armando Zumba Duchi con documento de identificación N° 0103749529, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de febrero del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'René Francisco Zumba Rivera', is written over a horizontal line.

Ing. René Francisco Zumba Rivera, Mgtr.

0102374436

#### **IV. Dedicatoria.**

A nuestras esposas y a nuestros hijos, nuestras mayores bendiciones y el motor de nuestras vidas. Les dedicamos este trabajo con todo nuestro amor y gratitud, conscientes de los sacrificios que han hecho por nosotros. A pesar de las largas horas de ausencia debido al trabajo y al estudio, siempre estuvieron ahí, dándonos su apoyo incondicional, su paciencia y sus palabras de aliento cuando más lo necesitábamos.

Sabemos que hubo noches largas y difíciles, momentos en los que nuestras responsabilidades les robaron tiempo y descanso, pero su comprensión y amor nunca faltaron. Gracias por creer en nosotros y por ser nuestro refugio en los momentos más desafiantes.

Este logro no es solo nuestro; es el reflejo del esfuerzo, sacrificio y cariño que ustedes nos brindaron. Cada página de este trabajo lleva un pedacito de ustedes, porque sin su apoyo, nada de esto habría sido posible.

Con eterna gratitud y amor.

**William Ariosto López Villavicencio.**

**Diego Armando Zumba Duchi.**

## V. Resumen.

El proyecto titulado "**Diseño e Implementación de un Muestreador Automático para Cemento, instalado en un ducto de producto terminado**" se desarrolló en una empresa cementera ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La necesidad de este trabajo surgió al identificar que el muestreo manual actual, aunque funcional, presentaba limitaciones en cuanto a precisión, representatividad y seguridad en las muestras de cemento utilizadas para el control de calidad.

El objetivo del proyecto fue diseñar e implementar un sistema automatizado que permitiera la toma de muestras de manera eficiente y segura, directamente desde el ducto de transporte del producto terminado. Este sistema redujo la intervención directa del personal, disminuyendo riesgos laborales y garantizando un muestreo homogéneo. Además, permitió que las muestras fueran tomadas en tiempos exactos configurados por el personal del laboratorio, lo que aseguró un control riguroso y consistente.

El desarrollo del proyecto comenzó con la identificación de los requisitos técnicos y operativos de la planta. Posteriormente, se diseñaron planos mecánicos y eléctricos para asegurar la integración adecuada del sistema al proceso existente. Después, se fabricaron los componentes y se programó el sistema de control, garantizando su funcionalidad y adaptabilidad. Finalmente, el equipo fue implementado y sometido a pruebas en condiciones reales de operación, con el fin de validar su desempeño y realizar los ajustes necesarios.

Este proyecto representó una solución innovadora y técnica que mejoró la eficiencia operativa y reforzó el control de calidad en la planta cementera. Además, redujo la exposición del personal a riesgos asociados con el manejo manual, promoviendo un entorno laboral más seguro. La implementación de este muestreador automático marcó un hito en la modernización de los procesos industriales de la empresa, contribuyendo significativamente a la confiabilidad y estandarización del producto final.

## VI. Abstract.

The project titled "**Design and Implementation of an Automatic Cement Sampler, installed in a Finished Product Duct**" was developed at a cement company located in the city of Cuenca, Ecuador. The need for this project arose from identifying that the current manual sampling process, while functional, had limitations in terms of precision, representativeness, and safety of the cement samples used for quality control.

The objective of the project was to design and implement an automated system that would allow for the efficient and safe sampling of cement directly from the finished product duct. This system reduced the direct involvement of personnel, minimizing workplace risks and ensuring homogeneous sampling. Additionally, it allowed for samples to be taken at exact times set by the laboratory staff, ensuring a rigorous and consistent control process.

The development of the project began with the identification of the technical and operational requirements of the plant. Subsequently, mechanical and electrical plans were designed to ensure the proper integration of the system into the existing process. Then, the components were manufactured, and the control system was programmed, ensuring its functionality and adaptability. Finally, the equipment was implemented and tested under real operating conditions to validate its performance and make any necessary adjustments.

This project represented an innovative and technical solution that improved operational efficiency and strengthened quality control at the cement plant. Additionally, it reduced the exposure of personnel to risks associated with manual handling, promoting a safer working environment. The implementation of this automatic sampler marked a milestone in the modernization of the company's industrial processes, contributing significantly to the reliability and standardization of the final product.

## VII. INDICE DE CONTENIDO.

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	2
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	3
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	4
IV. Dedicatoria. ....	5
V. Resumen.....	6
VI. Abstract. ....	7
VII. INDICE DE CONTENIDO.....	8
VIII. INDICE DE FIGURAS. ....	11
IX. INDICE DE TABLAS.....	13
X. Introducción. ....	14
XI. Descripción del problema.....	15
XII. Objetivos generales y específicos. ....	19
XIII. Revisión de la literatura o fundamentos teóricos.....	20
XIV. Marco metodológico.....	23
CAPITULO 1.....	26
Diseño de un Muestreador Automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado.....	26
1.1 Especificaciones técnicas de las áreas relacionadas por parte de la empresa.....	26
1.1.1 Requerimientos del departamento de calidad: .....	26
1.1.2 Requerimientos del departamento de mantenimiento: .....	28
1.1.3 Requerimientos del departamento de producción: .....	30
1.2 Diseño eléctrico.....	30
1.2.1 Diagramas eléctricos.....	31
1.2.2 Etiquetado de componentes eléctricos.....	35
1.3 Diseño del circuito neumático.....	36
1.3.1 Descripción del circuito neumático.....	38
1.3.2 Elección del cilindro neumático.....	38
1.3.3 Elección de la electroválvula neumática.....	39
1.3.4 Pruebas y simulación del circuito neumático. ....	40
1.4 Diseño mecánico:.....	41



1.4.1 Diseño de la placa de unión.....	42
1.4.2 Diseño del cilindro exterior - parte inferior.....	42
1.4.3 Diseño del buje roscado.....	43
1.4.4 Diseño del inserto o cilindro interior.....	44
1.4.5 Diseño de bujes de bronce.....	45
1.4.6 Diseño del cilindro exterior - parte exterior.....	46
1.4.7 Diseño del recipiente para recolectar las muestras.....	47
1.4.8 Espacio y dirección del diseño.....	48
<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>50</b>
<b>Fabricación e Implementación de un Muestreador Automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado.....</b>	<b>50</b>
<b>2.1 Proceso de fabricación del tablero eléctrico de control.....</b>	<b>50</b>
2.1.1 Selección y preparación del tablero eléctrico.....	51
2.1.2 Perforación y fijación de elementos eléctricos.....	52
2.1.3 Cableado eléctrico interno.....	52
2.1.4 Etiquetado de componentes.....	52
2.1.5 Pruebas iniciales del tablero eléctrico.....	53
<b>2.2 Proceso de fabricación tablero neumático.....</b>	<b>54</b>
2.2.1 Selección del tablero neumático.....	54
2.2.2 Determinación de los componentes neumáticos.....	55
2.2.3 Montaje y fijación de componentes.....	55
<b>2.3 Proceso de fabricación componentes mecánicos.....</b>	<b>58</b>
2.3.1 Selección y corte de materiales:.....	58
2.3.2 Mecanizado de las piezas.....	59
2.3.3 Soldadura y ensamblaje.....	63
2.3.4 Ensamblado de componentes.....	65
2.3.5 Acabado superficial.....	66
<b>2.4 Desarrollo del software para el PLC S7-1200.....</b>	<b>67</b>
2.4.1 Creación del proyecto en TIA Portal V16.....	67
2.4.2 Asignación de direcciones y configuración de hardware.....	69
2.4.3 Programación de la Lógica de Control.....	70
<b>2.5 Desarrollo del software para la HMI KTP700 de SIEMENS.....</b>	<b>73</b>
2.5.1 Configuración Inicial del Proyecto.....	73
2.5.2 Diseño de pantallas de operación.....	73
2.5.3 Asignación de Variables.....	76

2.5.4 Gestión de Alarmas y Eventos. ....	77
<b>CAPITULO 3. ....</b>	<b>78</b>
Montaje y Puesta en Marcha del Muestreador Automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado. ....	78
3.1 Montaje del tablero eléctrico de control. ....	78
3.2 Montaje del tablero neumático de control. ....	79
3.3 Montaje de Unidad de mantenimiento y switch de presión. ....	80
3.3.1 Detalles de la Instalación: ....	80
3.3.2 Consideraciones Técnicas: ....	81
3.4 Montaje de elementos mecánicos en ducto de producto terminado. ....	81
3.4.1 Perforación del ducto. ....	82
3.4.2 Instalación del Soporte Tipo Brida. ....	82
3.4.3 Montaje de Muestreador: ....	83
3.4.4 Instalación del Cilindro Neumático: ....	84
3.4.5 Instalación de Mangueras Neumáticas. ....	84
3.5 Prueba de funcionamiento. ....	85
3.6 Mejora en descarga de muestras. ....	86
3.7 Toma de aire para limpieza. ....	88
3.8 Prueba de funcionamiento. ....	88
<b>CAPITULO 4. ....</b>	<b>90</b>
Resultados y Conclusiones. ....	90
4.1 Análisis y Resultados. ....	90
4.2 Conclusiones del Proyecto. ....	90
4.3 Recomendaciones Finales. ....	92
XII Cronograma. ....	94
XIII Presupuesto. ....	95
XIV Referencias Bibliográficas. ....	96

## VIII. INDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Lugar de implementación. ....	28
Figura 2: Representación cableado en AC.....	31
Figura 3: Representación cableado en DC.....	31
Figura 4: Primera hoja del diagrama eléctrico en AutoCAD. ....	33
Figura 5 : Diagrama HMI KTP 700 BASIC. ....	34
Figura 6: Elementos entradas digitales.....	35
Figura 7: Elementos salidas digitales.....	35
Figura 8: Diagrama Neumático.....	37
Figura 9: Cilindro FST198444 FESTO. ....	39
Figura 10: Electroválvula 3/2" FST792500 FESTO.....	40
Figura 11: Simulación Circuito Neumático.....	41
Figura 12: Diseño Mecánico. ....	41
Figura 13: Placa de Unión.....	42
Figura 14: Diseño Tubo exterior parte inferior.....	43
Figura 15: Diseño Buje Roscado.....	44
Figura 16: Diseño Inserto o cilindro interno. ....	45
Figura 17: Diseño de Bujes.....	46
Figura 18: Diseño Cilindro Exterior Parte Externa. ....	47
Figura 19: Diseño recipiente recolector de muestras. ....	48
Figura 20: Muestreador Ensamblado.....	49
Figura 21: Presentación de elementos de control.....	51
Figura 22: Montaje de Componentes Concluido. ....	54
Figura 23: Fabricación Tablero Neumático. ....	56
Figura 24: Pasamuros y silenciadores. ....	57
Figura 25: FRL Festo 1/2". ....	58
Figura 26: Corte de Tubo inferior, inserto.....	59
Figura 27: Torneado acople.....	60
Figura 28: Buje y Filtro.....	62
Figura 29: Reten Filtro.....	62
Figura 30: Montaje de filtro.....	63
Figura 31: Corte y Presentación.....	64

<b>Figura 32: Soldadura Final.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 33: Ensamblado de componentes.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 34: Fondeado elementos mecánicos. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 35: Árbol de proyecto Tía Portal V16 .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 36: Segmento 5. Control Muestreador.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 37: Segmentos de Alarmas y Avisos. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 38: DB3 (Avisos y Alarmas).....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 39: Variables Remanentes. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 40: Imagen de Inicio HMI.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 41: Control Manual. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 42: Control Automático.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 43: Configuración Alarmas HMI.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 44: Ángulos de riel Chanel.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 45: Instalación de tableros y bandeja porta cables. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 46: Unidad de mantenimiento y switch de presión.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 47: Perforación ducto.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 48: Instalación soporte brida.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 49: Montaje de muestreador en brida. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 50: Muestreador Instalado. ....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 51: Prueba de muestreo. ....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 52: Mejora en agujero del inserto.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 53: Corte para implementar tubería 1/2" de desfogue.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 54: Soldadura desfogue. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 55: Racor de limpieza.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 56: Muestra obtenida.....</b>	<b>89</b>

## IX. INDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1: Tags Componentes Elèctricos.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 2: Elementos Eléctricos Utilizados en la fabricación del tablero de control. ....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 3: Tabla de Variables.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 4: Variables HMI.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 5: Lista de materiales para montaje de tablero de control. ....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 6: Elementos presupuestados. ....</b>	<b>96</b>

## X. Introducción.

En la industria cementera, garantizar la calidad constante del producto final es esencial para satisfacer los estándares del mercado y las normativas internacionales. El muestreo de cemento, como parte de este proceso, juega un papel crucial en el aseguramiento de la calidad, pues las muestras tomadas deben ser representativas y reflejar las características del material procesado. Sin embargo, la forma tradicional de realizar este muestreo, a menudo manual, presenta limitaciones en cuanto a precisión, repetibilidad y seguridad, lo que puede comprometer la calidad del producto y la eficiencia operativa de las plantas.

El presente trabajo de titulación se enfoca en la **diseño e implementación de un sistema automatizado para la toma de muestras de cemento**, con el fin de mejorar el proceso de muestreo dentro de un ducto de producto terminado. Este sistema, que será instalado en una planta cementera en la ciudad de Cuenca, Ecuador, tiene como propósito automatizar la toma de muestras, permitiendo su recolección en intervalos precisos establecidos por el personal del laboratorio, garantizando así una mayor exactitud y consistencia en las muestras tomadas, en comparación con el método manual.

El proyecto abarca diversas etapas, desde el diseño del sistema hasta la implementación del muestreador automático en condiciones operativas reales. Se plantea que el sistema no solo incrementará la precisión del muestreo, sino que también disminuirá los riesgos laborales asociados con la intervención directa del personal en las tomas de muestras, mejorando la seguridad en el proceso productivo.

A lo largo de este trabajo, se describirán los aspectos técnicos, operativos y metodológicos adoptados para llevar a cabo la construcción y puesta en marcha del muestreador, así como las pruebas y validaciones que permitirán asegurar su desempeño en el entorno industrial. Este proyecto, por tanto, busca representar una solución tecnológica avanzada para un proceso crítico en la industria cementera, elevando la eficiencia y calidad del producto final, y promoviendo la seguridad y el bienestar de los trabajadores.

## **XI. Descripción del problema.**

### **Antecedentes y justificación.**

La producción de cemento es una actividad fundamental para el desarrollo de la infraestructura en Ecuador y el mundo. La calidad del cemento influye directamente en la durabilidad y seguridad de las construcciones, lo que lo convierte en un producto crítico para el sector de la construcción y la industria en general. Sin embargo, la toma manual de muestras de cemento en las plantas productoras presenta varios desafíos que afectan tanto la seguridad y salud ocupacional de los técnicos de laboratorio como en el análisis de calidad del producto.

En la empresa, donde se llevará a cabo este proyecto, se ha observado que el proceso actual de muestreo presenta riesgos considerables. Los técnicos del laboratorio deben realizar tomas de muestras manualmente, lo que aumenta el riesgo de contacto directo con el cemento, siendo un material que puede causar irritaciones en la piel y problemas respiratorios. Este problema ha sido documentado en informes de seguridad industrial que destacan la necesidad de medidas preventivas en la manipulación de materiales peligrosos.

Además, la pérdida de herramientas de muestreo en los ductos y aerodeslizadores que llegan a parar en los silos de almacenamiento, representa otro riesgo. Estas herramientas pueden obstruir las máquinas de despacho, como la ensacadora, rompe grumos y zarandas, lo que puede provocar paradas inesperadas en la producción afectando la eficiencia operativa de la planta. Este problema ha sido evidenciado en diagnósticos previos realizados por el departamento de despachos, donde se ha identificado que las interrupciones en la producción se correlacionan directamente con la falta de un sistema de muestreo automatizado.

Finalmente, el laboratorio de la empresa actualmente realiza muestreos puntuales de cemento cada hora, lo que limita la representatividad de los análisis de calidad. Los técnicos del laboratorio necesitan un muestreador automático porque este equipo les permitirá obtener muestras de cemento a lo largo de todo el día de producción, cada media hora. Esta frecuencia de muestreo hará que los resultados sean más efectivos, ya que se podrá lograr una muestra homogénea para el análisis de calidad. Además,

al reducirse los factores de error en la toma de muestras, se garantizará un análisis más preciso y confiable. En contraste, las muestras manuales no siempre son tomadas en tiempos exactos por los analistas. Con el muestreador automático, el laboratorio podrá programar la toma de muestras exactamente en los intervalos deseados, asegurando así una recolección de datos más sistemática y eficiente.

### **Grupo objetivo (beneficiarios).**

El desarrollo del "Diseño y Fabricación de un Muestreador Automático de Cemento" beneficiará a varios grupos clave dentro del contexto académico, laboral e industrial. A continuación, se detallan los principales beneficiarios y la contribución que se espera alcanzar con este trabajo de grado:

### **Autores del Proyecto (William Ariosto López Villavicencio y Diego Armando Zumba Duchi).**

Este proyecto es una oportunidad para los autores de aplicar los conocimientos adquiridos durante su formación en la Universidad Politécnica Salesiana, tanto en las áreas de Electricidad Industrial como en Mecánica Industrial. El desarrollo de esta solución tecnológica permitirá a los estudiantes demostrar sus capacidades técnicas y habilidades en el campo de la automatización y la mejora de procesos industriales. Además, el proyecto contribuirá a su crecimiento profesional y abrirá puertas para futuras oportunidades laborales en el sector industrial.

### **Entidad beneficiaria del proyecto.**

La entidad beneficiaria del proyecto, perteneciente a un reconocido grupo industrial, se beneficiará significativamente con la implementación de este muestreador automático de cemento. Este dispositivo reducirá la dependencia de servicios externos costosos, optimizando así el presupuesto del área de mantenimiento. Además, permitirá mejorar los procesos internos de toma de muestras y análisis de calidad, haciendo más eficiente la operación diaria y disminuyendo posibles errores o interrupciones en la producción.

### **Técnicos de Laboratorio en la entidad beneficiaria del proyecto.**



Los técnicos de laboratorio también se verán beneficiados, ya que la automatización del proceso de muestreo reducirá su exposición a los riesgos asociados con la manipulación manual del cemento, mejorando así sus condiciones de trabajo y disminuyendo la probabilidad de accidentes laborales o problemas de salud derivados del contacto con este material.

### **Departamento de Calidad en la entidad beneficiaria del proyecto.**

El jefe del departamento de calidad tendrá una herramienta adicional para realizar controles más precisos y constantes sobre la calidad del cemento producido. La posibilidad de tomar muestras de manera automática y en intervalos de tiempo más cortos (cada media hora, por ejemplo) permitirá obtener datos más representativos y confiables, lo que facilitará la toma de decisiones y la mejora continua en los estándares de calidad del producto.

### **Sector Industrial.**

Aunque este proyecto se desarrolla específicamente para una sola empresa, su implementación muestra la viabilidad de soluciones de automatización en la industria del cemento.

Esto puede servir de ejemplo para otras empresas del sector, promoviendo la adopción de tecnologías que aumenten la eficiencia, mejoren la seguridad laboral y aseguren una mayor calidad en los productos. Además, el éxito del proyecto puede incentivar a pequeñas y medianas empresas a considerar la automatización como parte de sus procesos de mejora continua.

### **Importancia del Proyecto.**

El proyecto es importante porque no solo beneficia a los actores directamente involucrados, sino que también impulsa la innovación y la mejora de procesos industriales. Al automatizar una tarea crítica como la toma de muestras de cemento, se optimiza el control de calidad, se minimizan los riesgos laborales, y se contribuye al desarrollo tecnológico dentro de la industria. Asimismo, el proyecto destaca la importancia de aplicar conocimientos académicos en situaciones reales, lo que fortalece tanto a los estudiantes como a las instituciones educativas y empresariales participantes.

## **Delimitación del problema:**

### **Delimitación Geográfica.**

El proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. La implementación del muestreador automático de cemento se realizará en una empresa del parque industrial principal de Cuenca, especializada en la producción de cemento.

### **Delimitación Temporal.**

El tiempo estimado para el desarrollo e implementación del proyecto es de 3 a 4 meses. Este período incluye todas las fases del proyecto, desde la planificación y diseño del muestreador automático hasta su instalación y puesta en funcionamiento en la planta beneficiaria del proyecto.

### **Delimitación Sectorial.**

La empresa beneficiaria del proyecto opera en el sector de la industria del cemento. Este proyecto está dirigido exclusivamente a esta empresa, sin involucrar a otras organizaciones del sector en su desarrollo o beneficios.

### **Delimitación Institucional.**

En la realización del proyecto están involucradas varias instituciones, incluyendo la Universidad

Politécnica Salesiana, que respalda el trabajo académico de los autores; la Cámara de la Industria,

Producción y Empleo (CIPEM), que promueve el desarrollo industrial; y la Cámara de Industrias y Comercio Ecuatoriano Alemana (AHK), que nos apoya mediante un sistema de estudio dual, facilitando tanto la formación académica como la colaboración con empresas del sector productivo.

## **XII. Objetivos generales y específicos.**

### **Objetivo General.**

Diseñar e implementar un muestreador automático de cemento, que se instalará en un ducto de producto terminado, con el propósito de optimizar el proceso de toma de muestras, garantizando la calidad del producto y mejorando la eficiencia operativa en la empresa.

### **Objetivos Específicos.**

- **Diseñar el sistema automatizado de muestreo de cemento** que permita la recolección de muestras de forma segura y eficiente, adaptándose a las condiciones operativas de la planta en la empresa beneficiaria del proyecto.
- **Fabricar e implementar el prototipo del muestreador automático**, utilizando materiales y tecnologías adecuadas que aseguren un funcionamiento continuo y confiable en el proceso de producción de cemento.
- **Calibrar el proceso de toma de muestras, estableciendo un intervalo de tiempo preciso** para la recolección automática de muestras que permita obtener datos más representativos de la producción diaria.
- **Realizar pruebas del muestreador automático de cemento**, garantizando que las muestras recolectadas sean limpias, correctamente obtenidas y representativas.

### **XIII. Revisión de la literatura o fundamentos teóricos.**

#### **Automatización Industrial.**

La automatización industrial es el uso de sistemas tecnológicos, como controladores lógicos programables (PLC), sensores y actuadores, para operar maquinaria y procesos de forma automática. En este contexto, la automatización es crucial para mejorar la eficiencia, precisión y seguridad en los procesos de producción industrial, como el muestreo de materiales.

Autores como Groover (2016) señalan que la automatización reduce la dependencia del trabajo manual, incrementando la productividad y minimizando los errores humanos en tareas repetitivas o peligrosas. En la industria del cemento, la automatización permite obtener muestras representativas y periódicas sin la necesidad de intervención directa por parte de los técnicos, lo que mejora la precisión de los análisis de calidad.

#### **Tecnología de Muestreo Automatizado.**

El muestreo es un proceso clave en diversas industrias para asegurar que los productos cumplen con las especificaciones de calidad. Según Roy (2018), los sistemas de muestreo automatizado son esenciales para obtener datos consistentes y confiables. En la industria del cemento, un muestreador automático puede tomar muestras a intervalos regulares, lo que proporciona una visión más clara y continua del estado de la producción.

El muestreo automatizado en la industria del cemento ha sido abordado por autores como Will (2019), quien destaca la importancia de contar con sistemas que eviten la contaminación cruzada y la pérdida de material. Además, la integración de estos sistemas con el control de calidad asegura que las muestras representen adecuadamente la producción diaria, mejorando así la toma de decisiones en tiempo real.

#### **Seguridad y salud Ocupacional.**

La seguridad en los procesos industriales es un aspecto fundamental, especialmente en aquellos que involucran el manejo de materiales potencialmente peligrosos, como el cemento. De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2020), la

exposición a polvo de cemento puede causar problemas respiratorios y dermatológicos en los trabajadores. Por lo tanto, la automatización de procesos de muestreo reduce el contacto directo de los empleados con el material, disminuyendo el riesgo de accidentes y problemas de salud.

El uso de un muestreador automático no solo mejora la seguridad, sino que también aumenta la eficiencia del proceso, al eliminar la necesidad de que los técnicos se expongan físicamente al área de producción para recolectar muestras.

### **Control de calidad en la industria del cemento.**

El control de calidad es uno de los procesos más críticos en la producción de cemento, dado que garantiza que el producto final cumpla con las especificaciones requeridas. Según Ahmad (2017), el análisis de muestras de cemento a intervalos regulares permite detectar variaciones en la composición o el rendimiento del material antes de que afecten la calidad final del producto.

El uso de muestreadores automáticos puede mejorar significativamente el control de calidad al permitir un monitoreo más continuo y detallado de la producción.

Al tomar muestras en intervalos preestablecidos, se reduce el riesgo de variabilidad en las mediciones y se asegura que los resultados reflejen con mayor precisión la calidad de la producción en cada etapa del proceso.

### **Impacto de la automatización en los campos operativos.**

La implementación de sistemas automatizados, como los muestreadores automáticos, puede tener un impacto significativo en la reducción de costos operativos. Según Brown (2018), la automatización de

procesos no solo reduce los costos de mano de obra, sino que también minimiza el tiempo de inactividad y las interrupciones en la producción, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa.

En el caso específico de la empresa beneficiaria del proyecto, la reducción de costo asociada a servicios externos de muestreo se traducirá en un ahorro considerable para el área de mantenimiento, mejorando la rentabilidad de la operación.

### **Normativas y estándares en la industria del cemento.**

En el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas en la industria del cemento, es crucial cumplir con las normativas y estándares internacionales que regulan la producción y calidad del producto. Las normativas, como las establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la International Organization for Standardization (ISO), definen los procedimientos para la toma de muestras y los controles de calidad en la producción de cemento.

Autores como Smith (2021) sugieren que la automatización de procesos, cuando está alineada con estos estándares, puede mejorar el cumplimiento normativo y aumentar la confiabilidad de los resultados en los análisis de calidad.

#### **XIV. Marco metodológico.**

El marco metodológico describe el proceso que se seguirá para llevar a cabo el diseño y la fabricación del muestreador automático de cemento en la empresa beneficiaria del proyecto.

Este proceso se divide en diferentes etapas que cubren desde la planificación hasta la implementación final del proyecto.

##### **Tipo de Investigación:**

Este proyecto se basa en una **investigación aplicada**, ya que busca resolver un problema concreto dentro de un entorno industrial. El objetivo es diseñar y fabricar un dispositivo automatizado que optimice el proceso de toma de muestras de cemento.

Se emplearán tanto métodos cuantitativos como cualitativos para evaluar el desempeño del equipo una vez implementado.

##### **Método de diseño y desarrollo:**

El proceso metodológico se estructura en las siguientes fases:

###### **Fase 1: Análisis del Problema.**

**Objetivo:** Comprender a fondo los desafíos que enfrenta la empresa beneficiaria del proyecto en la toma manual de muestras de cemento, así como los requerimientos específicos para automatizar este proceso.

###### **Actividades:**

- Reuniones con el personal del área de producción y laboratorio de la empresa para identificar los riesgos y dificultades actuales en el proceso de muestreo.
- Revisión de documentación interna, incluyendo informes de calidad y análisis de fallas.
- Definición de especificaciones técnicas preliminares para el muestreador automático.

###### **Fase 2: Diseño del Prototipo.**

**Objetivo** Desarrollar el diseño técnico del muestreador automático de cemento, tomando en cuenta las especificaciones previamente definidas.

**Actividades:**

- Reuniones con el personal del área de producción y laboratorio de la empresa beneficiaria del proyecto para identificar los riesgos y dificultades actuales en el proceso de muestreo.
- Revisión de documentación interna, incluyendo informes de calidad y análisis de fallas.
- Definición de especificaciones técnicas preliminares para el muestreador automático

**Fase 3:** Fabricación y Montaje.

**Objetivo** Fabricar y ensamblar el prototipo del muestreador automático de cemento.

**Actividades:**

- Adquisición de materiales y componentes, incluyendo sensores, actuadores, recipientes de almacenamiento y elementos de control.
- Montaje de las piezas mecánicas (soportes, tolvas, cintas transportadoras, etc.).
- Integración de los componentes eléctricos y electrónicos (motores, PLCs, sensores, etc.).
- Conexión de los sistemas de control y pruebas de funcionamiento en laboratorio para verificar la interacción entre el software y hardware.

**Fase 4:** Implementación y pruebas en planta.

**Objetivo** Instalar y probar el prototipo en la planta beneficiaria del proyecto para verificar su funcionalidad en un entorno real.

**Actividades:**

- Instalación del equipo en las líneas de producción de cemento.



- Configuración de los parámetros de muestreo automático según los requerimientos del laboratorio de calidad (por ejemplo, intervalos de toma de muestras cada 30 minutos).
- Realización de pruebas de operación para asegurar que el equipo cumpla con los estándares de calidad y seguridad industrial.
- Ajustes y optimización del sistema según los resultados obtenidos durante las pruebas.

**Fase 5:** Capacitación y entrega.

**Objetivo** Capacitar al personal de la empresa en el uso y mantenimiento del equipo.

**Actividades:**

- Preparación de manuales de operación y mantenimiento del equipo.
- Capacitación al personal técnico de la empresa sobre la operación y resolución de problemas relacionados con el muestreador automático.
- Entrega oficial del equipo a la empresa y cierre del proyecto.

## **CAPITULO 1.**

### **Diseño de un Muestreador Automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado.**

#### **1.1 Especificaciones técnicas de las áreas relacionadas por parte de la empresa.**

El desarrollo del muestreador automático de cemento se fundamentó en las necesidades específicas proporcionadas por los departamentos de calidad y mantenimiento de la planta cementera. Estas especificaciones técnicas son esenciales para asegurar el correcto funcionamiento, la operatividad continua y el cumplimiento de estándares industriales.

A continuación, se detallan los requerimientos identificados:

##### **1.1.1 Requerimientos del departamento de calidad:**

- **Interfaz Hombre-Máquina (HMI).**

El departamento de calidad estableció como requerimiento la incorporación de una HMI como parte integral del sistema de control del muestreador automático, diseñada para facilitar la interacción entre el operador y el equipo. Este componente clave permite al usuario realizar diversas acciones esenciales, asegurando un control eficiente y flexible del proceso. Las principales funcionalidades incluyen: Configurar parámetros como los tiempos de muestreo, adaptándolos según las necesidades de producción.

- **Configuración de parámetros operativos.**

Se definió que la HMI debe permitir la configuración de parámetros como los tiempos de muestreo, adaptándolos de manera dinámica según las necesidades de producción. Esto garantizará que el equipo pueda ajustarse a diferentes condiciones

operativas, optimizando tanto la calidad como la cantidad de las muestras obtenidas.

- **Tomas de muestras manuales.**

Se especificó que la HMI debe incluir la posibilidad de realizar tomas de muestras manuales en situaciones específicas, como pruebas de control de calidad o eventos imprevistos. Esta funcionalidad brindará un nivel adicional de flexibilidad operativa, permitiendo ajustes inmediatos para garantizar la continuidad del proceso y la obtención de resultados precisos.

- **Supervisión en tiempo real.**

También se determinó que la HMI debe contar con una pantalla intuitiva que presente información en tiempo real sobre el estado del equipo y los parámetros configurados. Esto permitirá monitorear el funcionamiento del sistema.

- **Facilidad de uso y accesibilidad.**

Se estableció que la interfaz debe ser diseñada con un enfoque en la simplicidad y la ergonomía, asegurando que los operadores puedan interactuar con el sistema sin necesidad de una capacitación extensa. Los menús estarán organizados de manera lógica, y las opciones serán fácilmente accesibles mediante una pantalla táctil de alta resolución.

- **Operación continua.**

Se estableció como requerimiento que el equipo tenga la capacidad de operar de manera ininterrumpida durante todo el tiempo de funcionamiento de la planta, garantizando un monitoreo constante, confiable y eficiente que cumpla con los estándares operativos de calidad.

- **Compatibilidad con el ducto**

Se determinó que el muestreador debe ser compatible con tuberías verticales de un diámetro de 4 pulgadas, asegurando su adaptabilidad y correcto

funcionamiento en el ducto de producto terminado, de acuerdo con las especificaciones del proceso.



*Figura 1: Lugar de implementación.*

### 1.1.2 Requerimientos del departamento de mantenimiento:

- **Accesibilidad para el mantenimiento.**

El departamento de mantenimiento ha establecido como requerimiento fundamental que el diseño del equipo permita un acceso fácil y rápido a sus componentes principales. Esto incluye la disposición de las partes críticas del sistema de manera que se pueda realizar tanto el mantenimiento preventivo como correctivo sin complicaciones. El diseño debe garantizar que las intervenciones sean sencillas y seguras, reduciendo el tiempo de inactividad y minimizando los riesgos durante las labores de mantenimiento. Además, se debe prever el espacio necesario para que los técnicos puedan trabajar cómodamente y sin obstáculos, lo cual es crucial para mantener la operatividad continua de la planta.

- **Documentación técnica.**

Se especificó que el diseño debe incluir una documentación técnica completa, que abarque los diagramas eléctricos, mecánicos y neumáticos actualizados. Estos planos deben ser entregados a la empresa al momento de concluir el diseño del muestreador para cemento, asegurando que estén disponibles para su consulta durante las actividades de mantenimiento y reparación. Los diagramas deben estar claramente estructurados y etiquetados, facilitando la

comprensión del sistema y permitiendo intervenciones precisas y eficientes. La entrega de estos planos actualizados es crucial para garantizar que el personal de mantenimiento pueda realizar las intervenciones de manera adecuada y sin demoras.

- **Robustez del equipo.**

El equipo debe ser diseñado y construido con materiales de alta resistencia y una estructura sólida que sea capaz de soportar las exigentes condiciones de trabajo dentro de la planta. Se requiere que el muestreador esté preparado para resistir las vibraciones, temperaturas Elevadas, y otros factores ambientales que podrían afectar su rendimiento a largo plazo. Esta robustez garantizará que el sistema minimice las fallas operativas, reduzca la necesidad de intervenciones frecuentes y, en consecuencia, maximice la disponibilidad operativa del equipo. Además, se espera que el equipo tenga una vida útil prolongada, reduciendo los costos asociados con reemplazos y reparaciones. La fiabilidad del sistema será esencial para mantener la continuidad del proceso de producción sin interrupciones.

- **Alineación con estándares.**

El equipo debe cumplir estrictamente con los estándares internos de la planta y las normativas aplicables en el ámbito del mantenimiento industrial. Esto incluye adherirse a las mejores prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo, así como a las regulaciones locales e internacionales en cuanto a seguridad y eficiencia operativa. El diseño y las operaciones de mantenimiento deben alinearse con los protocolos establecidos, garantizando que cada intervención técnica se realice siguiendo procedimientos bien definidos. Además, se espera que el equipo sea compatible con las herramientas y sistemas de diagnóstico existentes en la planta, lo que facilitará su integración con las prácticas de mantenimiento establecidas. La alineación con estos estándares no solo optimizará la eficiencia del mantenimiento, sino que también asegurará el cumplimiento de las normativas regulatorias, reduciendo riesgos operacionales y aumentando la seguridad en el entorno laboral.

### **1.1.3 Requerimientos del departamento de producción:**

- **Sincronización con la operación del molino de cemento.**

El sistema del muestreador automático debe estar diseñado para activarse y desactivarse de manera automática en sincronización con el funcionamiento del molino vertical MV-MV-01. Esta funcionalidad se implementará mediante una entrada digital del PLC Siemens S7-1200, que recibirá la señal del estado operativo del molino. Esto garantiza que el equipo se encienda únicamente cuando el molino esté en operación y se apague inmediatamente al finalizar su actividad. Este enfoque optimiza el uso del equipo, reduce el desgaste innecesario y asegura que el sistema opere únicamente bajo las condiciones necesarias para la extracción de muestras.

- **Integración con el sistema SCADA.**

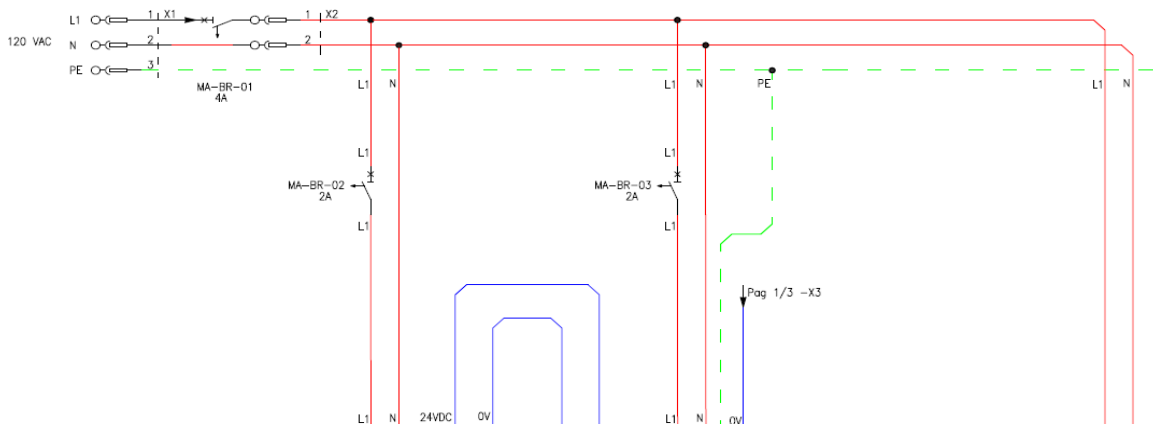
El muestreador automático debe ser capaz de enviar una señal al sistema SCADA indicando su estado operativo en tiempo real. Para lograr esto, se empleará una salida digital del PLC Siemens S7-1200, la cual transmitirá la información del estado del muestreador al sistema de supervisión. Esta señal permitirá a los operadores monitorear el funcionamiento del equipo directamente desde la interfaz SCADA, proporcionando información clara sobre si el muestreador está activo o inactivo. Esta integración mejora la supervisión, facilita la detección de posibles anomalías y optimiza las labores de control y mantenimiento

### **1.2 Diseño eléctrico.**

El diseño eléctrico del muestreador automático para cemento, fue desarrollado siguiendo las normativas y estándares técnicos requeridos por la empresa cementera, que opera con maquinaria de origen alemán. Con el fin de garantizar la compatibilidad con los sistemas eléctricos existentes en la planta, se adoptaron las directrices de la normativa internacional IEC (International Electrotechnical Commission), asegurando que todos los componentes y sistemas eléctricos cumplieran con los requisitos de calidad, seguridad y eficiencia exigidos.

### 1.2.1 Diagramas eléctricos.

El diagrama eléctrico fue elaborado con el más alto nivel de precisión, utilizando herramientas de diseño avanzadas como AutoCAD en formato 2D. El diseño de los diagramas se realizó tomando en cuenta el formato solicitado por la empresa cementera, lo que permitió asegurar la correcta representación de todos los componentes y conexiones del sistema eléctrico. Se implementaron convenciones de color específicas: los conductores de corriente alternan (AC) fueron representados en color rojo (Figura 2), mientras que los conductores de corriente continua de 24VDC se representaron en color azul (Figura 3), lo que facilita la identificación rápida y segura de los conductores. [1]



**Figura 2:** Representación cableado en AC.



**Figura 3:** Representación cableado en DC.

Además, se prestó especial atención a la representación gráfica de los componentes principales del sistema, como el PLC Siemens S7-1200, la HMI KTP700 Basic y la fuente de alimentación Logo Power (**Figura 4**). Estos elementos fueron dibujados con precisión, utilizando los símbolos correspondientes para asegurar una interpretación

clara y uniforme del diseño por parte de los técnicos y operarios. Los diagramas no solo cumplen con los requisitos técnicos y operativos, sino que también fueron creados para ser fácilmente entendibles, facilitando tanto la instalación como el mantenimiento del sistema, y garantizando la integración perfecta con los sistemas existentes en la planta.

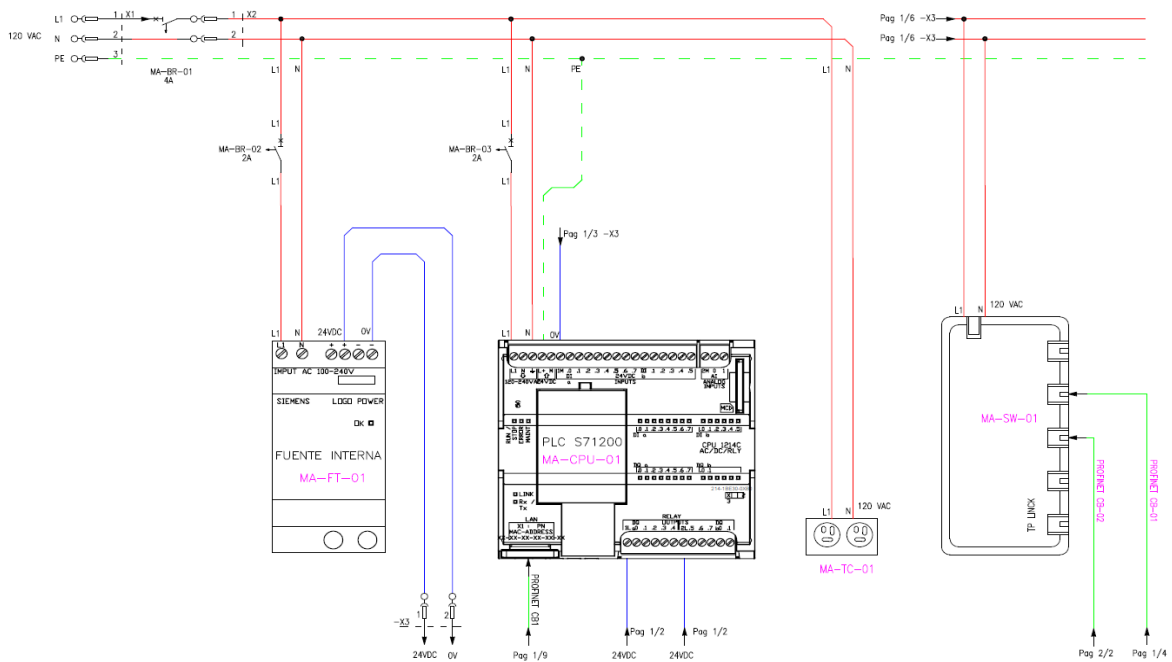
- **Normativa aplicada.**

Se utilizó simbología normalizada según la norma IEC (International Electrotechnical Commission), ya que es el estándar predominante en la planta debido a que la mayoría de los equipos instalados son de origen europeo. Esto garantiza la compatibilidad con los sistemas existentes y el cumplimiento con las regulaciones internacionales. [1]

- **Componentes y control.**

Los diagramas eléctricos detallan de manera exhaustiva todos los componentes esenciales del sistema, incluyendo sensores, actuadores, motores y sus respectivas conexiones al PLC. Esto asegura una representación clara y precisa del sistema de control del muestreador, facilitando su comprensión y operación por parte de los técnicos y operadores. Además, cada componente está debidamente etiquetado para garantizar una fácil identificación durante la instalación, mantenimiento y posibles intervenciones futuras. [2]



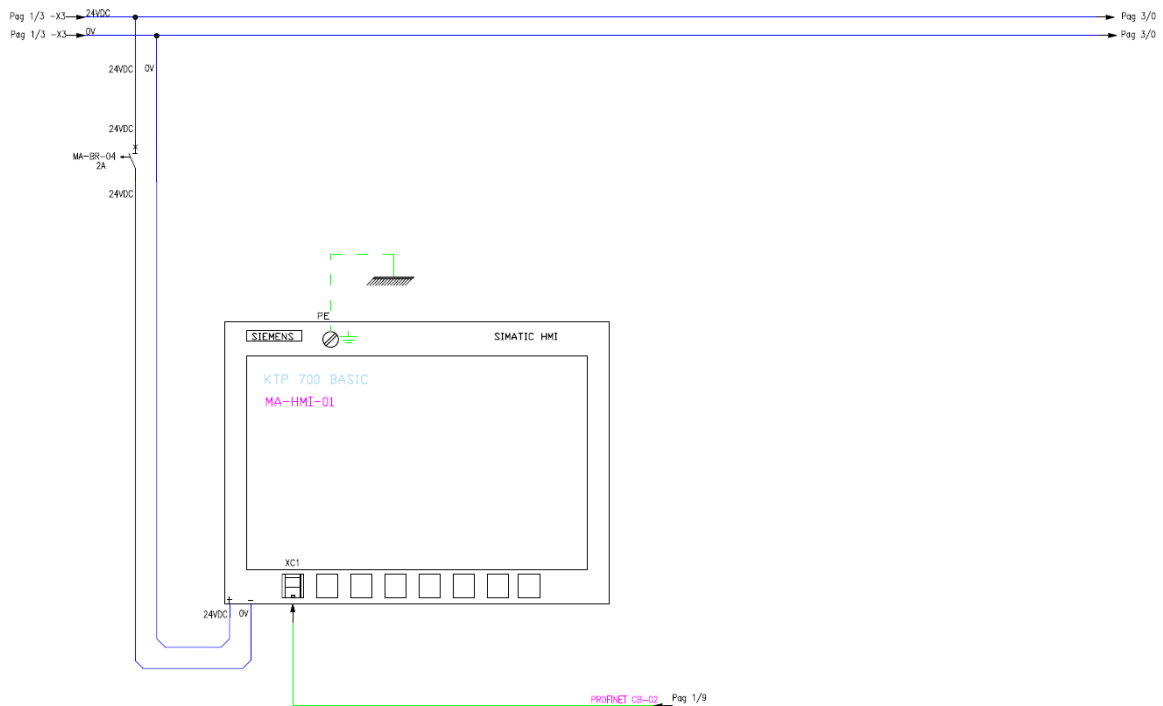


**Figura 4:** Primera hoja del diagrama eléctrico en AutoCAD.

- **Componentes de visualización.**

Dentro de los requerimientos del área de mantenimiento, producción y laboratorio (calidad), la visualización y el control son aspectos fundamentales en una máquina diseñada para operar bajo la supervisión de un operador.

En el diagrama del sistema, se incluye una HMI Siemens KTP700 Basic (**Figura 5**), cuyo propósito es facilitar la interacción con el operador. Esta interfaz mejora el proceso al proporcionar un acceso intuitivo a la configuración y monitoreo del equipo, asegurando así un control eficiente y el cumplimiento del objetivo principal del sistema. [2]



**Figura 5 :** Diagrama HMI KTP 700 BASIC.

- **Elementos de entrada y salida digital.**

Los diagramas de entrada y salida digital utilizados en el sistema han sido diseñados siguiendo la simbología establecida en proyectos anteriores de la empresa, en cumplimiento con los estándares de la normativa IEC.

En estos diagramas se representan los símbolos correspondientes a elementos inductivos, dispositivos de accionamiento manual y elementos de accionamiento tipo relé o contacto (**Figura 6 y 7**). [4]

La codificación y denominación de cada elemento se definieron con base en las observaciones y criterios establecidos por los representantes de la empresa, asegurando la coherencia y estandarización del sistema implementado en el muestreador de cemento.

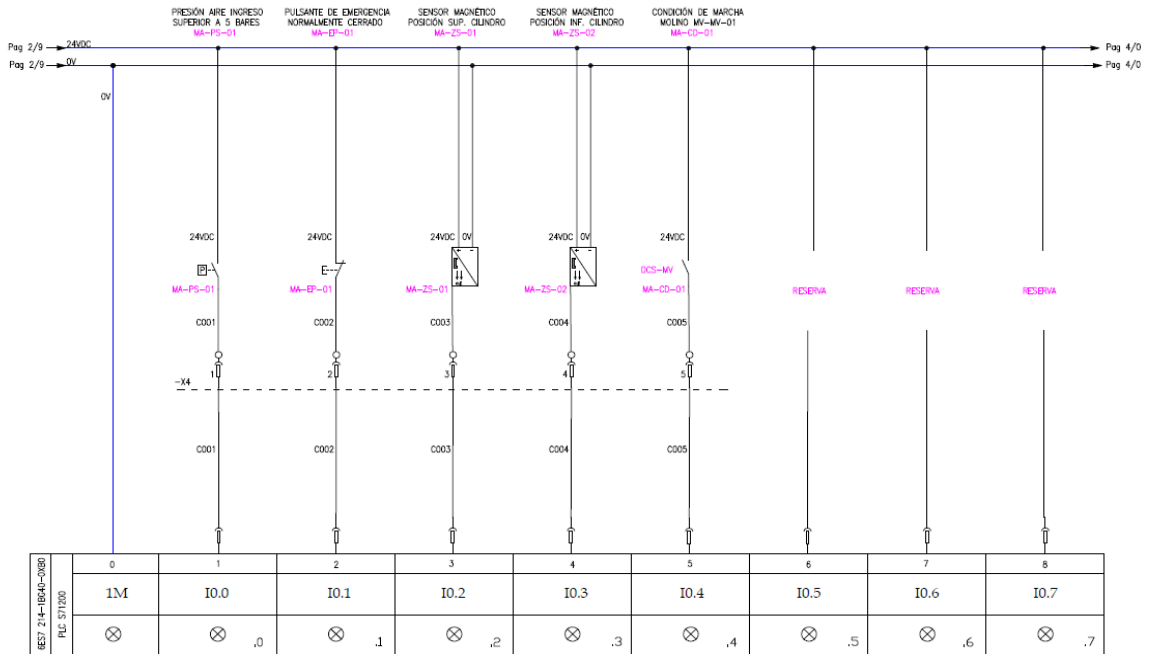


Figura 6: Elementos entradas digitales.

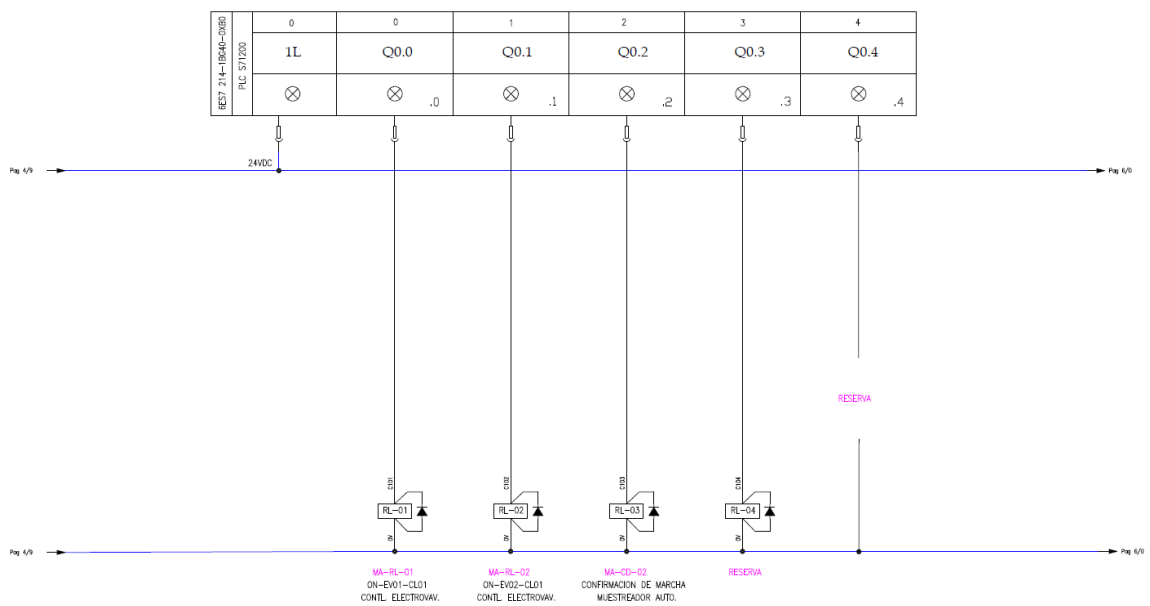


Figura 7: Elementos salidas digitales.

## 1.2.2 Etiquetado de componentes eléctricos.

El sistema de etiquetado de los componentes eléctricos y electrónicos del muestreador automático sigue un esquema organizado y estandarizado para

facilitar la identificación y el mantenimiento. Las etiquetas están compuestas de la siguiente manera:

- **Primer segmento (MA):** Las primeras dos letras corresponden a la palabra "Muestreador Automático".
- **Segundo segmento:** Después de un guion, se especifica el elemento al que pertenece el componente, utilizando siglas representativas.
- **Tercer segmento:** Tras otro guion, se incluye un número que indica la cantidad de componentes similares en el equipo.

A continuación, se presenta una tabla con los códigos y descripciones de los componentes principales del equipo: [3]

*Tabla 1: Tags Componentes Eléctricos.*

Código	Descripción
MA-FT-01	Fuente principal 24VDC
MA-CPU-01	PLC S7-1200 SIEMENS
MA-TC-01	Tomacorriente 01
MA-SW-01	Switch 01
MA-HMI-01	HMI KTP700 Basic SIEMENS
MA-BR-01	Breaker monofásico principal 4A
MA-BR-02	Breaker monofásico fuente principal 2A
MA-BR-03	Breaker monofásico PLC S7-1200 2A
MA-BR-04	Breaker monofásico KTP700 Basic 2A
MA-PS-01	Sensor de presión de aire comprimido 01
MA-EP-01	Pulsante de emergencia principal 01
MA-ZS-01	Sensor posición superior cilindro neumático 01
MA-ZS-02	Sensor posición inferior cilindro neumático 01
MA-CD-01	Condición de marcha proveniente CCM3/MV-MV-01
MA-RL-01	Relé control electroválvula 01
MA-RL-02	Relé control electroválvula 01
MA-CD-02	Confirmación de marcha del muestreador

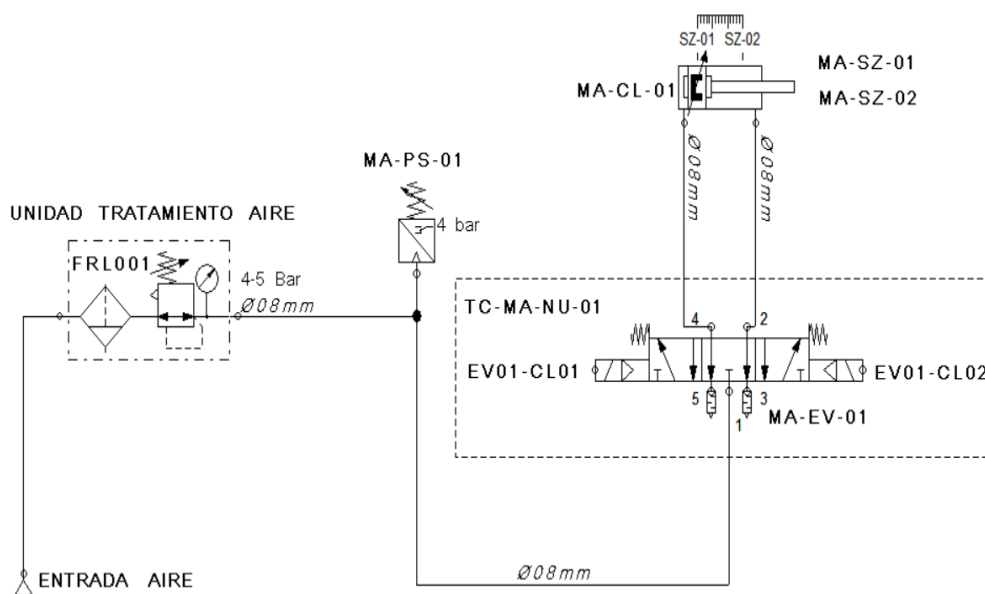
### 1.3 Diseño del circuito neumático.

Para el desarrollo de los diagramas neumáticos del proyecto, se emplearon herramientas de simulación utilizadas a lo largo de la carrera como parte del proceso de aprendizaje. En este caso, se utilizó el software FluidSIM Neumática 4.5 (versión en español), una herramienta avanzada de simulación y diseño de circuitos neumáticos.

El diagrama y el circuito neumático fueron elaborados con precisión, aplicando la simbología normalizada según los estándares técnicos vigentes. Durante el diseño, se consideraron cuidadosamente aspectos fundamentales, tales como:

- La selección del tipo de válvulas apropiadas para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema.
- La identificación y etiquetado (tags) de cada componente neumático, permitiendo un seguimiento claro y ordenado de los elementos integrados en el sistema.
- La inclusión de una unidad de mantenimiento de aire (FRL), compuesta por filtro, regulador y lubricador, con el fin de asegurar la calidad del aire comprimido y prolongar la vida útil de los componentes neumáticos.

Cada etapa del diseño fue llevada a cabo con un enfoque técnico riguroso, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad y eficiencia necesarios para la implementación del sistema. De esta manera, se asegura que el proyecto del muestreador automático no solo cumpla con los objetivos planteados, sino que además represente una solución robusta, funcional y de alto aprovechamiento para las áreas involucradas. [4]



**Figura 8:** Diagrama Neumático.

### 1.3.1 Descripción del circuito neumático.

Como se ilustra en la imagen (**Figura 8**), el circuito neumático está compuesto por:

- 1 válvula 3/2 de centro cerrado conexión a  $\frac{1}{4}$  24VDC.
- 1 cilindro neumático doble efecto C=125mm D=50mm.
- 1 sensor de presión de 0 a 8 Bar.
- 1 unidad de mantenimiento 1/2".
- 6m Mangueras de aire plásticas pum 8mm.
- 2 silenciadores de cobre 1/4".
- 6 racor 1/4" para manguera 8mm.

Los elementos del sistema fueron seleccionados con base en los resultados obtenidos durante las simulaciones realizadas en el software. Una vez completada la simulación y verificadas las pruebas correspondientes, se procedió a consultar los catálogos de los fabricantes para identificar los cilindros y otros componentes necesarios, asegurándose de seleccionar aquellos que cumplieran con los requerimientos técnicos del diseño. Cada elemento fue registrado con su respectivo número de parte para su inclusión formal en el diseño, garantizando la compatibilidad y el desempeño óptimo del sistema. [4]

### 1.3.2 Elección del cilindro neumático.


El cilindro neumático seleccionado para el diseño tiene un vástago con un alcance de 125 mm y un diámetro de 50mm. Estas dimensiones fueron cuidadosamente consideradas debido a las condiciones específicas del proyecto, como el trabajo con una tubería de 4" y una inclinación de 45 grados. Los 125 mm de alcance del vástago son fundamentales para calibrar adecuadamente la máquina y garantizar que el inserto del muestreador pueda alcanzar el flujo de cemento que desciende por gravedad en el tubo de llenado.

Esta configuración asegura que el muestreo sea preciso y eficiente, optimizando el proceso de recolección del material. [6]

## FST198444



### Hoja de datos

 General operating condition

Característica	Valor
Carrera	125 mm
Diámetro del émbolo	50 mm
Rosca del vástago	M16x1,5
Amortiguación	Amortiguación neumática, regulable en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa perfilada
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991235
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.04 MPa ... 1.2 MPa
Presión de funcionamiento	0.4 bar ... 12 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto

*Figura 9: Cilindro FST198444 FESTO.*

### 1.3.3 Elección de la electroválvula neumática.

La electroválvula seleccionada es una válvula 3/2 de centro cerrado, marca Festo. Esta electroválvula fue elegida debido a la necesidad de controlar el cilindro en varias posiciones, lo cual es esencial para la calibración precisa del sistema.

La calibración depende del diámetro de la tubería y de la caída del material, lo que requiere una válvula que permita ajustar el cilindro de manera efectiva para asegurar un muestreo adecuado. La electroválvula 3/2 de centro cerrado proporciona el control necesario para garantizar un funcionamiento preciso y fiable del muestreador automático en las condiciones de operación establecidas. [7]

## FST792500

FESTO



General operating condition

### Hoja de datos

Característica	Valor
Función de la válvula	5/3 normalmente cerrada
Tipo de accionamiento	Eléctrico
Tamaño de válvula	26.5 mm
Caudal nominal normal (normalizado según DIN 1343)	1200 l/min
Conexión neumática de utilización	G1/4
Presión de funcionamiento	0.25 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento	2.5 bar ... 10 bar
Forma constructiva	Corredera del émbolo
Tipo de reposición	Muelle mecánico
Certificación	c UL us - Recognized (OL)
Clasificación marítima	Véase el certificado
Organismo que expide el certificado	DNVGL-TAA000011J
Diámetro nominal	6.5 mm
Función de escape	Estrangulable

Figura 10: Electroválvula 3/2" FST792500 FESTO.

### 1.3.4 Pruebas y simulación del circuito neumático.

El diseño del sistema neumático fue sometido a pruebas de simulación mediante el software especializado Festo Fluidsim Neumática.

Estas simulaciones permitieron validar la funcionalidad del circuito neumático, comprobando que el diagrama estuviera correctamente elaborado y que todos los componentes trabajaran de manera óptima bajo las condiciones previstas. El proceso de simulación facilitó la detección de posibles inconsistencias y la verificación de parámetros clave, confirmando que el diseño cumplía con los estándares técnicos requeridos. Con esta validación, el esquema neumático quedó preparado para avanzar a la siguiente etapa: la construcción e implementación del sistema. [4]



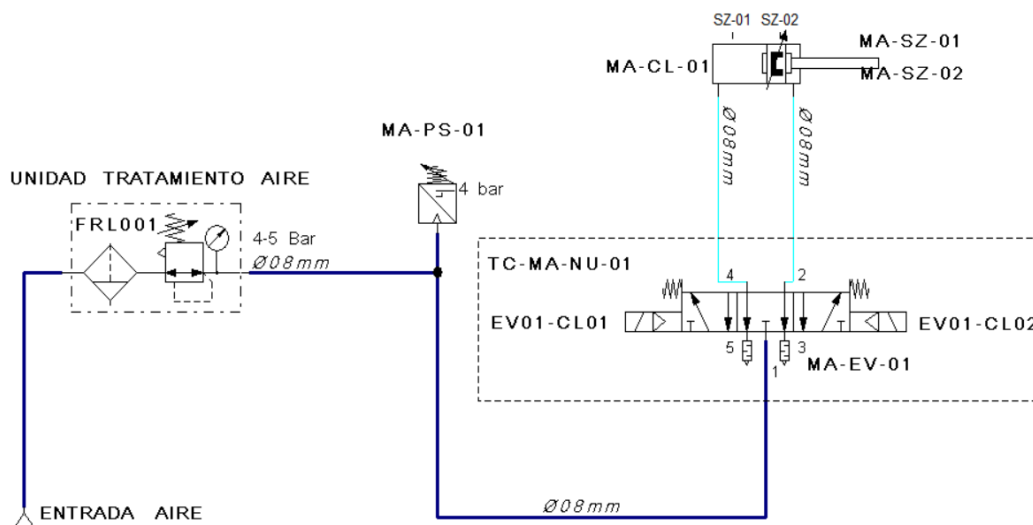


Figura 11: Simulación Circuito Neumático.

#### 1.4 Diseño mecánico:

El diseño mecánico del sistema fue desarrollado utilizando AutoCAD 2D, al igual que el diseño eléctrico, lo que permitió una integración entre ambos aspectos del proyecto. Este enfoque promete que todos los componentes del sistema se alineen correctamente, optimizando su funcionamiento y facilidad de implementación.

En cuanto a las dimensiones, el diseño se realizó con medidas exactas, siguiendo especificaciones precisas para garantizar el ajuste perfecto de cada componente. [7]

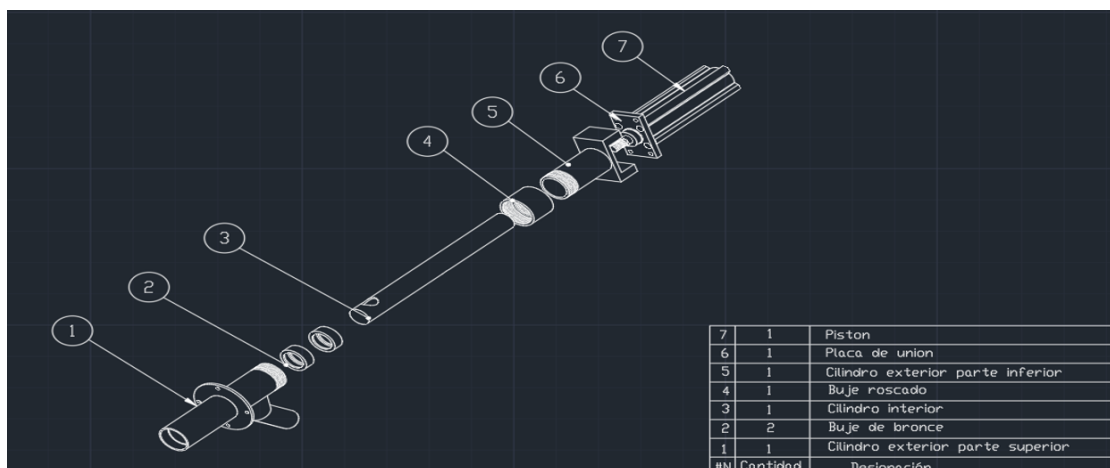
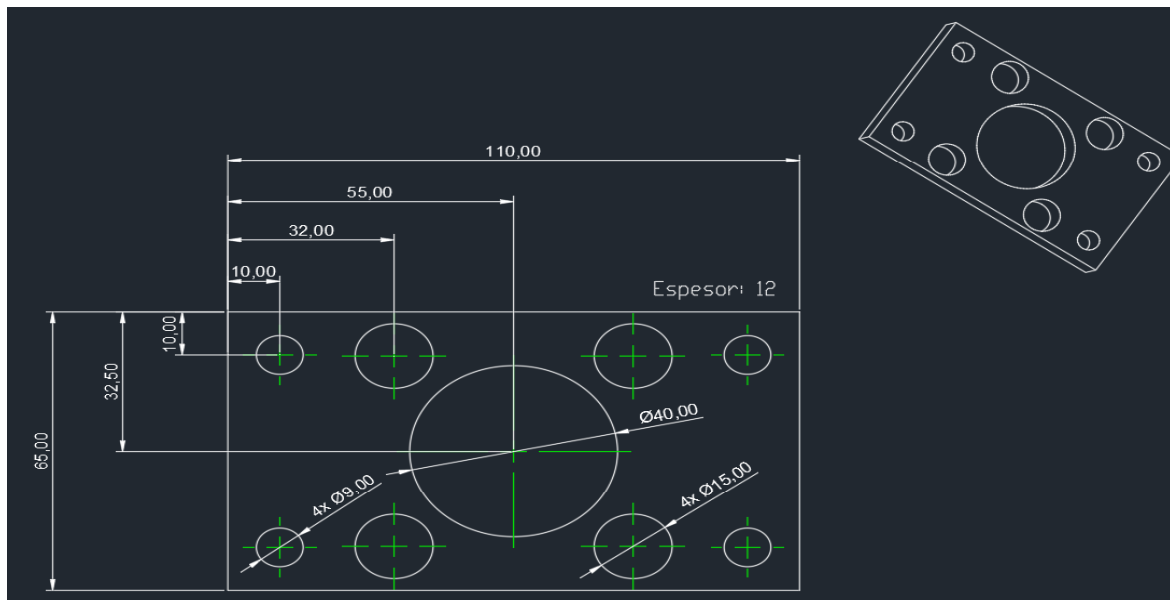


Figura 12: Diseño Mecánico.

#### 1.4.1 Diseño de la placa de unión.

La placa de unión ha sido diseñada específicamente para acoplar el cilindro neumático y la base del cilindro del muestreador. Este diseño personalizado considera las dimensiones exactas necesarias para asegurar una conexión robusta y estable.

Las cotas, longitudes y especificaciones técnicas de la placa están detalladamente representadas en la (**Figura 13**), incluye los parámetros geométricos necesarios para su fabricación. El diseño también contempla las fuerzas y cargas a las que estará sometida durante la operación, asegurando que el conjunto funcione de manera óptima y sin deformaciones. [5]



*Figura 13: Placa de Unión.*

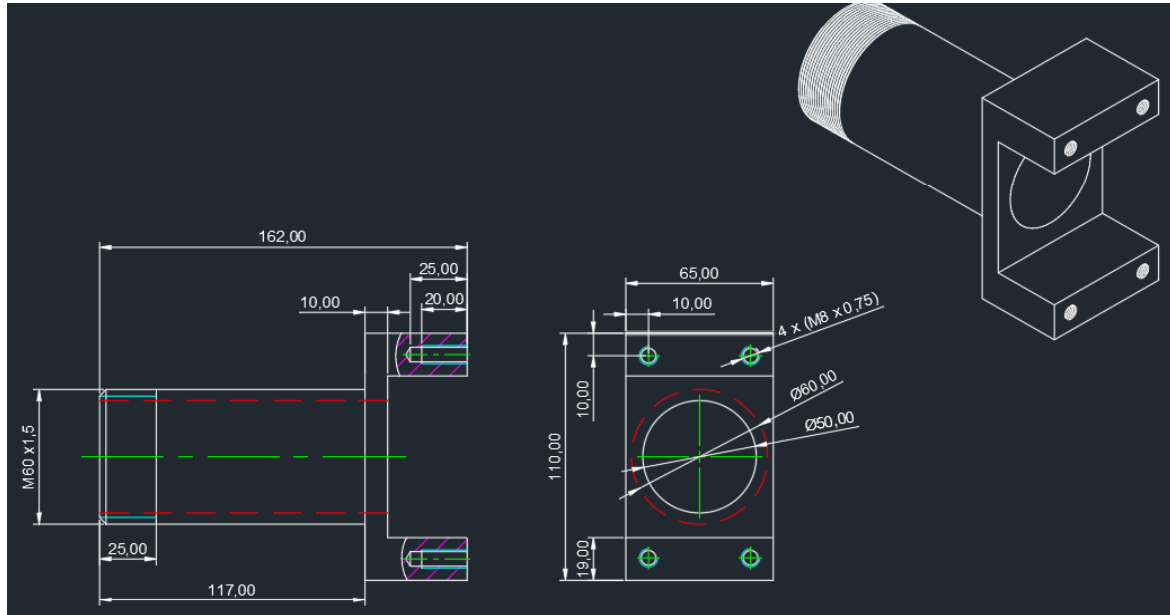
#### 1.4.2 Diseño del cilindro exterior - parte inferior.

La parte inferior del cilindro exterior fue diseñada con precisión para cumplir con los requerimientos operativos del muestreador automático. Este componente consta de un tubo circular acoplado a una placa en forma de "C", cuyas dimensiones están ajustadas específicamente para garantizar una integración perfecta con la placa de unión y el cilindro neumático.

En su extremo superior, el tubo presenta un proceso de roscado que facilita su ensamblaje y ajuste. En el extremo inferior, el diseño en forma de "C" está estratégicamente elaborado para crear un espacio que permita el acoplamiento y desacoplamiento eficiente del vástago del cilindro neumático con el tubo inserto del

muestreador. Este diseño no solo simplifica el montaje y desmontaje, sino que también asegura la estabilidad y funcionalidad del sistema durante su operación.

Las especificaciones técnicas y detalles dimensionales de esta parte están ilustrados en la **(Figura 14)**. [5]



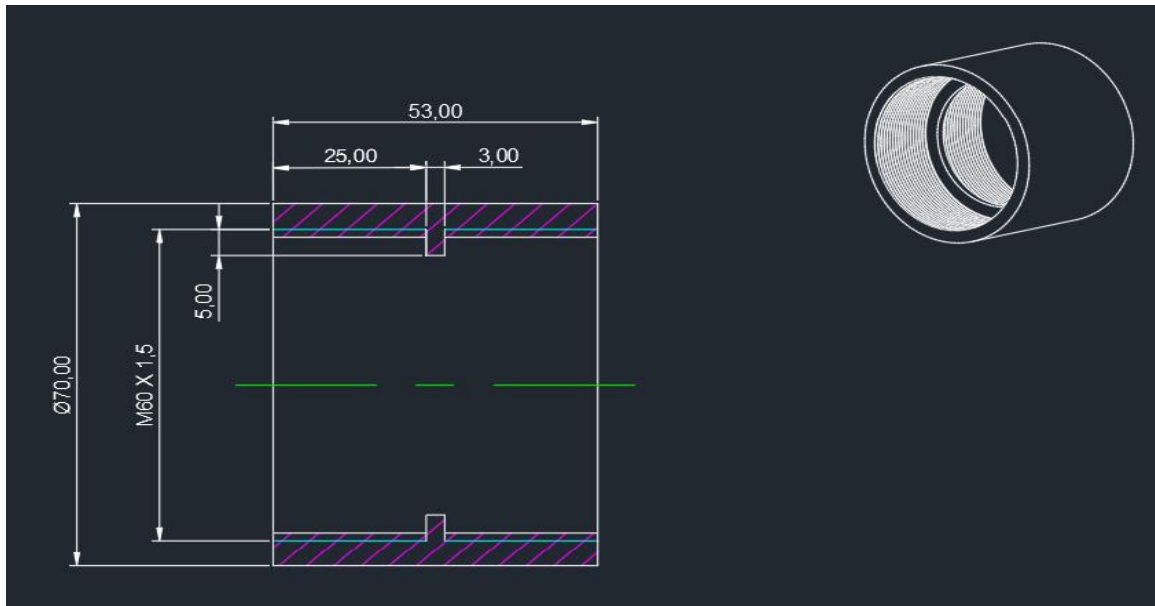
*Figura 14: Diseño Tubo exterior parte inferior.*

### 1.4.3 Diseño del buje roscado.

Con el objetivo de cumplir con los requerimientos establecidos por el departamento de Mantenimiento, se ha diseñado un buje roscado que actúa como elemento intermedio en la longitud del muestreador. Este componente ha sido concebido para dividir el cuerpo exterior del tubo en dos secciones, lo que facilita tanto el ensamblaje de los componentes como las labores de mantenimiento.

El buje roscado permite una conexión segura y precisa entre las dos partes del cuerpo exterior, asegurando la integridad estructural del sistema sin comprometer su funcionalidad. Este diseño no solo optimiza el acceso a los componentes internos, sino que también reduce el tiempo requerido para las intervenciones técnicas.

Las especificaciones dimensionales y detalles técnicos del buje roscado están representados con escala 1:1 en la **(Figura 15)**. [5]



*Figura 15: Diseño Buje Roscado.*

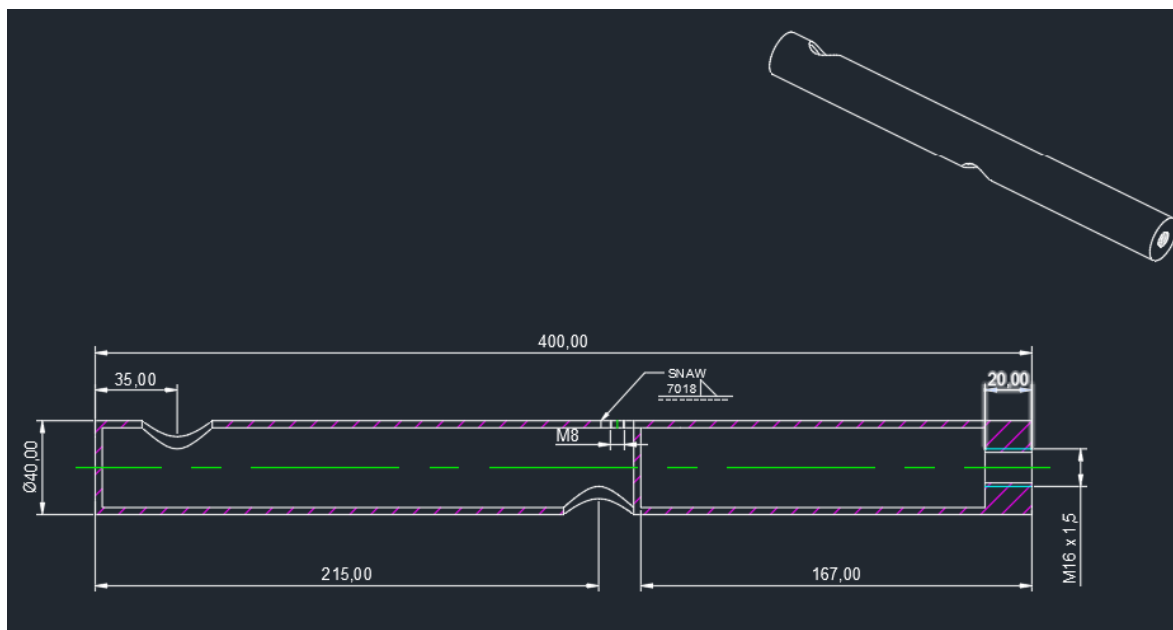
#### **1.4.4 Diseño del inserto o cilindro interior.**

El diseño del inserto, también conocido como cilindro interior, ha sido desarrollado considerando las dimensiones internas de una tubería de 4". Este componente presenta características únicas que optimizan su funcionalidad en el proceso de muestreo.

En su extremo delantero, el inserto cuenta con una muesca diseñada específicamente para recoger el cemento mientras se encuentra insertado en la tubería. En el extremo opuesto, pero en la parte inferior, se encuentra otra muesca que permite el desalojo del material hacia el envase correspondiente.

Para garantizar un flujo controlado y evitar la contaminación del interior del muestreador, el inserto está equipado con tapones en ambos extremos. Estos tapones dirigen el cemento recolectado exclusivamente a través de las muescas, manteniendo la integridad del sistema y asegurando un muestreo eficiente y limpio.

Las medidas detalladas, como diámetros y longitudes, están especificadas en la **(Figura 16)**, la cual presenta el diseño técnico del inserto con precisión y claridad. [5]



**Figura 16:** *Diseño Inserto o cilindro interno.*

#### 1.4.5 Diseño de bujes de bronce.

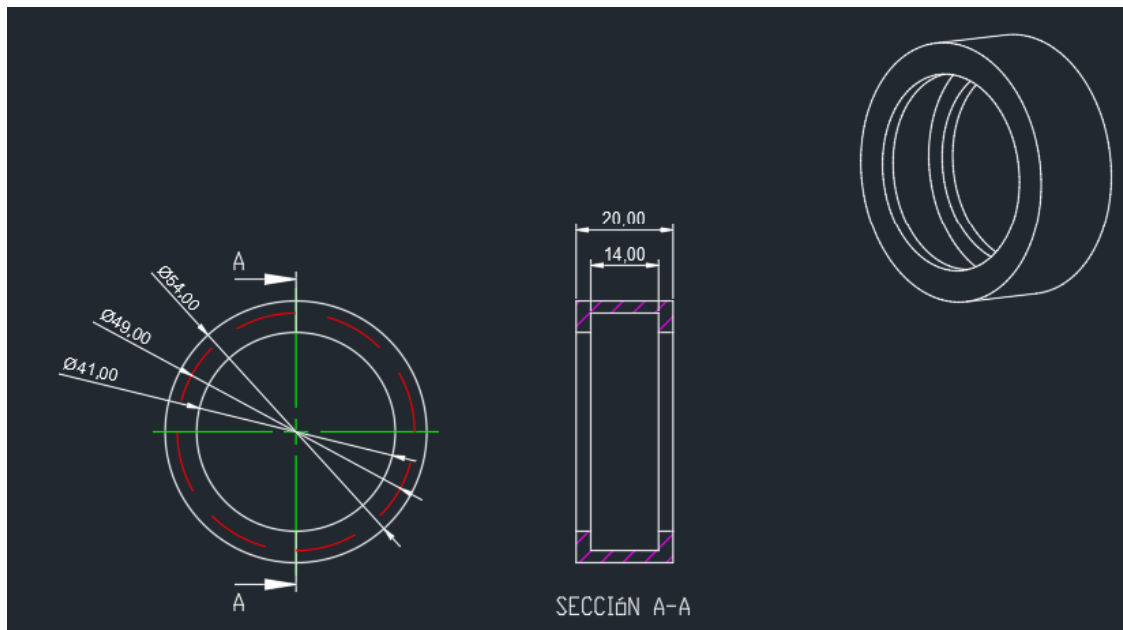
Los bujes de bronce desempeñan una función importante en el diseño del muestreador, ya que evitan el contacto directo entre el inserto o cilindro interior y el tubo exterior, también conocido como carcasa. Esta separación es esencial para reducir la fricción entre los componentes, lo que a su vez previene el desgaste progresivo que podría comprometer la funcionalidad del equipo. Sin esta protección, el muestreador no cumpliría con los requerimientos establecidos por el departamento de mantenimiento en términos de durabilidad y confiabilidad.

El diseño incluye dos bujes de bronce estratégicamente ubicados:

- Buje superior: Instalado en la parte superior del inserto.
- Buje inferior: Colocado en la parte inferior del inserto.

Ambos bujes están equipados con retenes de fieltro, los cuales cumplen una doble función: garantizar la hermeticidad del sistema y aumentar la durabilidad de los bujes al minimizar el desgaste causado por el contacto continuo con el cemento. Este diseño prolonga la vida útil del muestreador y también asegura un rendimiento óptimo incluso en condiciones de trabajo exigentes.

En la **(Figura 17)**, se puede observar el diseño realizado, donde se detallan las dimensiones y características de los bujes, junto con su integración en el sistema.



*Figura 17: Diseño de Bujes.*

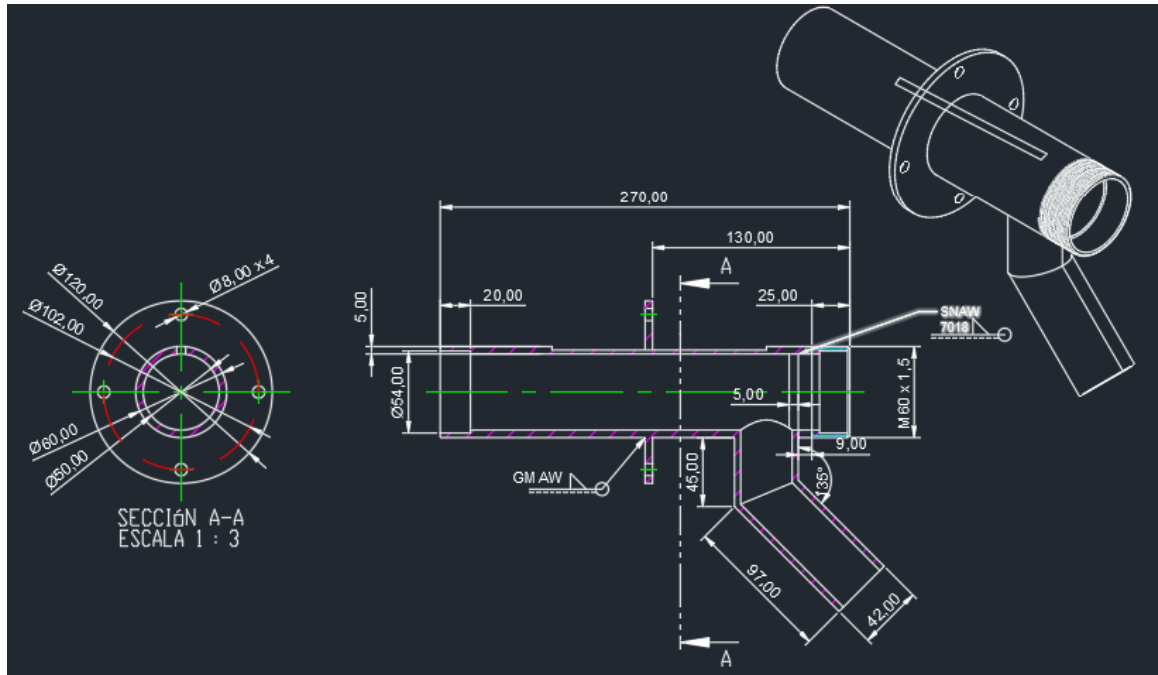
#### **1.4.6 Diseño del cilindro exterior - parte exterior.**

Este componente constituye una de las partes más críticas del diseño, ya que es el encargado de acoplarse al tubo donde se recolectarán las muestras de cemento. Su diseño incluye un ángulo de 35 grados, que permite una adecuada inclinación del tubo de descarga hacia un envase ubicado en la parte inferior. Este ángulo asegura que el material fluya de manera eficiente, optimizando el proceso de recolección de muestras.

El cilindro exterior es fundamental en el funcionamiento del muestreador, ya que es en este punto donde la máquina toma las muestras y las dirige hacia el envase destinado para su almacenamiento. La precisión y robustez de este diseño garantizan que el sistema cumpla con los requerimientos de operación de manera efectiva.

Para asegurar una sujeción firme y confiable al tubo de recolección, se ha incorporado una brida de acoplamiento. Esta brida permite una fijación sólida y al mismo tiempo facilita el desmontaje cuando sea necesario realizar tareas de mantenimiento o ajustes. [5]

En la (**Figura 18**), se presenta gráficamente el diseño de este elemento a una escala de 1:3, donde se detallan las dimensiones y características específicas del cilindro exterior.

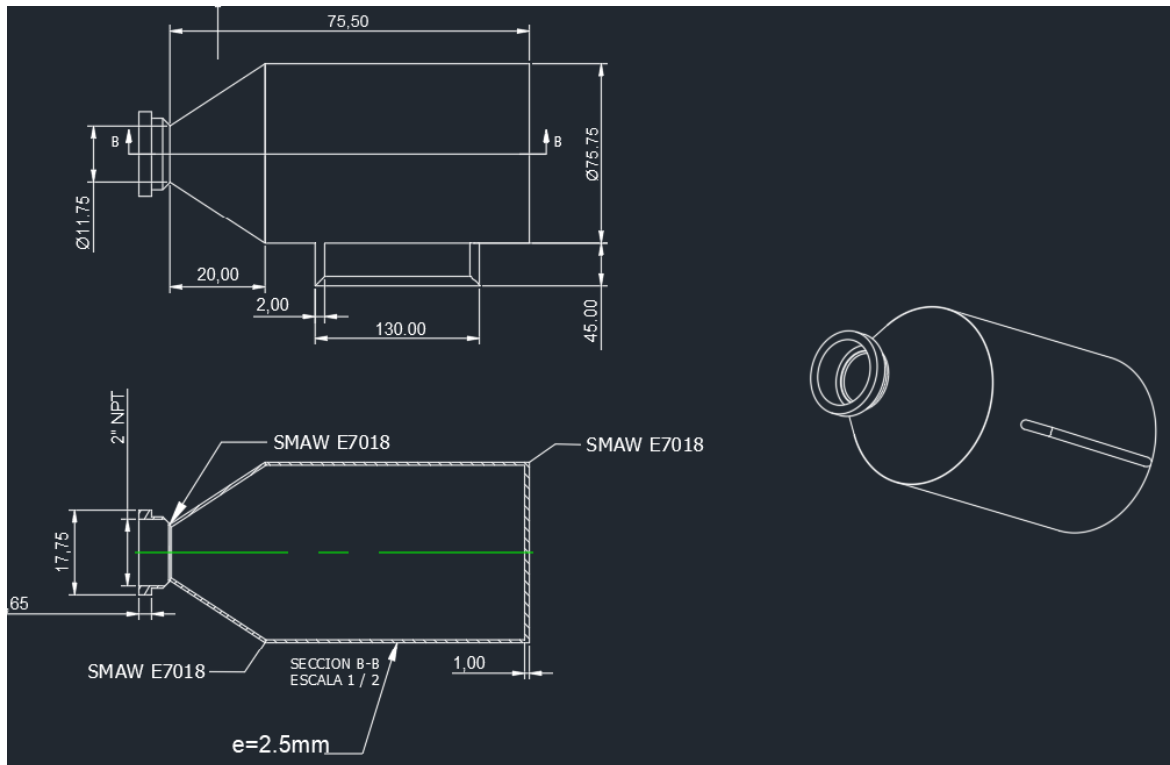


*Figura 18: Diseño Cilindro Exterior Parte Externa.*

#### 1.4.7 Diseño del recipiente para recolectar las muestras.

Para recolectar las muestras obtenidas por el muestreador, se diseñó un botellón equipado con acoples tipo Dixon de **200 (2 pulgadas)**. Este diseño fue seleccionado debido a su facilidad de uso, permitiendo al operador retirar y reinstalar el recipiente con rapidez y seguridad. Los acoples Dixon de 2 pulgadas fueron elegidos específicamente por sus características que optimizan el tiempo de operación, aseguran una conexión firme y minimizan riesgos durante la manipulación del recipiente. Además, este diseño garantiza una experiencia más eficiente para el personal de mantenimiento y operación.

El botellón cuenta con una capacidad volumétrica de **0.03 m<sup>3</sup>**, adecuada para las necesidades del proceso de muestreo. [5]



*Figura 19: Diseño recipiente recolector de muestras.*

#### **1.4.8 Espacio y dirección del diseño.**

En cuanto al espacio y la dirección en la que se integraría el muestreador automático, se realizó una revisión minuciosa del área destinada para su instalación. Esta revisión fue fundamental para garantizar que el diseño mecánico y neumático del sistema fuera adecuado al espacio disponible, sin interferir con otros procesos o equipos existentes. Además, se tomó en cuenta la dirección del flujo de producto y la accesibilidad para facilitar tanto la instalación como el mantenimiento del equipo.

Uno de los requerimientos clave proporcionados por el laboratorio de calidad fue la ubicación específica del muestreador. Se solicitó que el dispositivo se instalara a la salida de la molienda de cemento, justo antes de que el producto fuera almacenado en los silos de cemento. Esta ubicación estratégica permite una muestra representativa del cemento en su estado más fresco, asegurando la precisión de los análisis y garantizando la calidad del producto final. La ubicación también optimiza el



tiempo de respuesta y la eficacia del muestreo, evitando retrasos en el proceso de producción y almacenamiento del cemento.

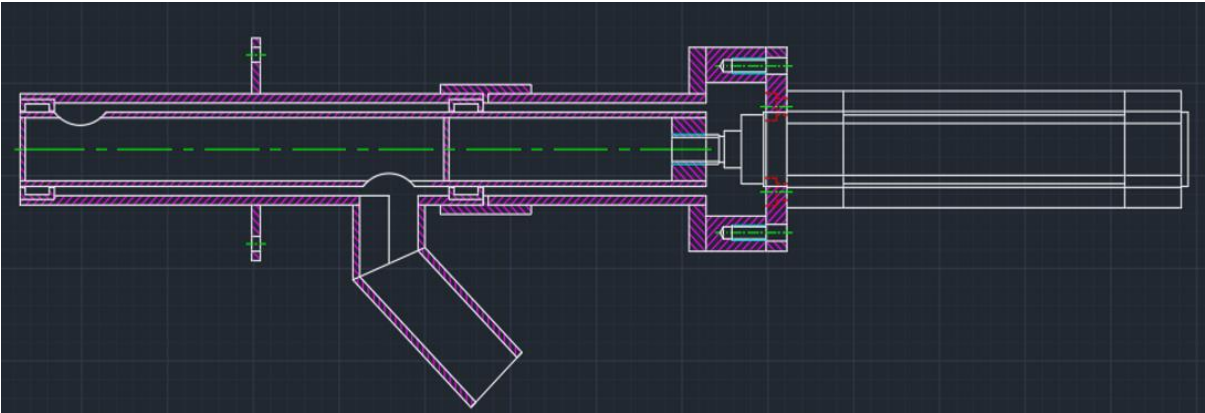


Figura 20: Muestreador Ensamblado.

## CAPITULO 2.

### Fabricación e Implementación de un Muestreador Automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado.

#### 2.1 Proceso de fabricación del tablero eléctrico de control.

El tablero eléctrico de control utilizado en este proyecto es un modelo de uso pesado, diseñado específicamente para circuitos eléctricos industriales. Sus dimensiones son de 40 cm x 40 cm x 20 cm, lo que proporciona un espacio adecuado para albergar todos los componentes eléctricos necesarios de manera ordenada y segura.

Este tipo de tablero ha sido seleccionado debido a su robustez y capacidad para operar en condiciones industriales exigentes, asegurando una adecuada protección para los dispositivos instalados y facilitando el acceso durante las labores de mantenimiento.

A continuación, se detalla a continuación, los elementos utilizados para la fabricación del tablero eléctrico. [6]

*Tabla 2: Elementos Eléctricos Utilizados en la fabricación del tablero de control.*

Ítem	Elemento	Cantidad.
1	PLC SIEMENS s71200 1214C AC/DC/RLY	1 un.
2	HMI SIEMENS KTP700 BASIC	1 un.
3	Fuente 24VDC LOGO POWER 2.5A	1 un.
4	Switch 5 Puertos TP-LINK	1 un.
5	Tomacorriente doble RIEL/DIN	1 un.
6	Borna para cable 16AWG	15 un.
7	Riel din.	1 un.
8	Mini relé 24VDC 1N/A 1N/C	3 un.
9	Breaker monofásico 4A	1 un.
10	Breaker monofásico 2A	3 un.
11	Canaleta Ranurada 30X40mm	1 un.
12	Terminal puntera para cable 16AWG	50 un.
13	Cable Azul 16AWDG FLEXIBLE	20 m.
14	Cable Rojo 16AWG FLEXIBLE	20 m.
15	Conector Profinet Rj45 Siemens	4 un.

Para el proceso de fabricación del tablero, se incluyeron las siguientes etapas:

### 2.1.1 Selección y preparación del tablero eléctrico.

Se llevó a cabo una verificación detallada para garantizar que las dimensiones y características del tablero eléctrico cumplieran con los requisitos establecidos en el diseño eléctrico. Para ello, se realizó una presentación preliminar de los elementos en el tablero (**Figura 21**), disponiéndolos físicamente en su interior según el diseño planeado.

Este procedimiento permitió corroborar que las dimensiones del tablero fueran suficientes para alojar todos los componentes necesarios de manera adecuada.

Además, esta presentación inicial aseguró que la distribución de los elementos respetara los espacios requeridos para el cableado, la ventilación y el acceso a cada dispositivo, minimizando posibles inconvenientes durante la instalación o el mantenimiento. Como resultado, se confirmó que el tablero seleccionado era el más adecuado para las necesidades del proyecto. [6]



**Figura 21:** Presentación de elementos de control.

### 2.1.2 Perforación y fijación de elementos eléctricos.

Una vez definida la ubicación de los elementos y establecidas las medidas y cantidades de los materiales necesarios, se procede a realizar la perforación en el doble fondo del tablero eléctrico. Esta etapa es fundamental para preparar el tablero y garantizar que cada componente pueda ser colocado correctamente en su posición asignada.

Posteriormente, se inicia la colocación o implantación de cada elemento, asegurando que queden firmemente fijados al tablero. Este proceso marca el comienzo de la etapa de montaje de los elementos en el tablero de control, sentando las bases para un sistema robusto y confiable.

### 2.1.3 Cableado eléctrico interno.

Para realizar el cableado de las bobinas, se inició obteniendo las medidas exactas de los cables necesarios, asegurando que estuvieran listos para su instalación. Se seleccionaron los colores y la cantidad adecuada para cada tipo de señal o alimentación, de acuerdo con los requerimientos establecidos. En este proyecto, se utilizaron los siguientes colores y longitudes para el cableado:

- **Rojo:** Asignado para señales o alimentaciones de corriente alterna (110 V AC), con una longitud total de **20 metros**.
- **Azul:** Destinado para señales de corriente directa (24 V DC), con una longitud total de **20 metros**. [2]

Asimismo, se emplearon puntas terminales para los cables y etiquetas previamente definidas, lo cual permitió identificar claramente cada conexión. Estas etiquetas fueron esenciales para garantizar un proceso ordenado y facilitar tanto la instalación como futuras tareas de mantenimiento.

### 2.1.4 Etiquetado de componentes.

El etiquetado de los componentes y conductores se llevó a cabo conforme al diseño eléctrico establecido. Para garantizar una correcta identificación, se utilizaron cintas adhesivas y una impresora especializada, lo que asegura la durabilidad y legibilidad de las etiquetas a lo largo del tiempo. [6]

En la (**Tabla 1**) se presentan los identificadores (tags) asignados a los elementos eléctricos del tablero de control. Estos tags son fundamentales para asegurar una instalación adecuada y facilitar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Para los cables, se adoptó un sistema de codificación específico que permite identificar claramente el tipo de señal o alimentación de cada conductor. A continuación, se detallan las convenciones utilizadas:

- **L1**: Cable de línea 1.
- **N**: Cable de neutro.
- **X1 en adelante**: Utilizado para numerar las borneras.
- **24VDC**: Cable de alimentación de 24 VDC.
- **0V**: Cable de 0 VDC.
- **C000 en adelante**: Señales de entradas digitales.
- **C100 en adelante**: Señales de salidas digitales.

Este sistema de codificación no solo facilita la identificación durante la instalación, sino que también permite una gestión más eficiente durante el mantenimiento y la resolución de posibles fallas en el sistema eléctrico.

### **2.1.5 Pruebas iniciales del tablero eléctrico.**

Las pruebas iniciales comenzaron con la medición de continuidad en los conductores, con el fin de verificar que no existieran cortocircuitos ni conexiones indebidas entre los cables. Esta etapa es necesaria se garantiza que los conductores estén correctamente conectados y que el sistema eléctrico no presente fallos que puedan comprometer su funcionamiento.

Posteriormente, se procedió con la prueba de alimentación, comenzando con el encendido del circuito principal a través del breaker principal. Una vez energizado este circuito, se activaron de manera secuencial los breakers que alimentan cada uno de los subcircuitos del tablero.

Durante esta fase, se verificó que cada componente se encendiera correctamente y que las señales eléctricas fueran las esperadas, asegurando que todos los elementos del sistema funcionaran de acuerdo con el diseño eléctrico.

Una vez completados los pasos descritos anteriormente, se obtuvo como resultado la **(Figura 22)**, en la cual se muestra el tablero eléctrico ya terminado. En esta imagen, se puede apreciar que cada componente está correctamente instalado, fijado en su lugar correspondiente y etiquetado de acuerdo con el diseño eléctrico.



*Figura 22: Montaje de Componentes Concluido.*

## **2.2 Proceso de fabricación tablero neumático.**

Para el diseño del tablero neumático, se siguió un proceso similar al del tablero eléctrico, adaptado a las características y requerimientos específicos de los componentes neumáticos. A continuación, se detallan los pasos seguidos para lograr el diseño y montaje adecuado del tablero neumático.

### **2.2.1 Selección del tablero neumático.**

El primer paso consiste en seleccionar un tablero neumático adecuado para las necesidades del proyecto. En este caso, se optó por un tablero de uso pesado con dimensiones de 30 cm x 30 cm x 20 cm, diseñado específicamente para aplicaciones industriales. [6]

Este tamaño ofrece suficiente espacio para alojar los componentes neumáticos, como válvulas, conectores, reguladores de presión y manómetros, de manera ordenada y segura.

### **2.2.2 Determinación de los componentes neumáticos.**

Los componentes neumáticos necesarios para la construcción del circuito fueron seleccionados previamente, de acuerdo con los requisitos del diseño y las especificaciones técnicas del proyecto. En la (**Figura 8**) se puede observar el diagrama neumático que ilustra la disposición y conexión de cada uno de los elementos. [7]

Los elementos que se montarán en el tablero neumático son los siguientes:

- 1 válvula 3/2 de centro cerrado, conexión a 1/4, 24VDC.
- 1 cilindro neumático de doble efecto, con carrera de 125 mm y diámetro de 50 mm.
- 1 sensor de presión con rango de 0 a 8 Bar.
- 1 unidad de mantenimiento 1/2".
- 6 metros de manguera plástica PUM de 8 mm.
- 2 silenciadores de cobre 1/4".
- 6 racores de 1/4" para manguera de 8 mm.
- 2 sensores magnéticos para el cilindro.

Estos componentes fueron elegidos en función de la funcionalidad del sistema neumático y su capacidad para operar de manera eficiente dentro de las condiciones del proyecto. [4]

### **2.2.3 Montaje y fijación de componentes.**

En este apartado, se describen las acciones realizadas durante el montaje de los componentes neumáticos en el tablero, siguiendo una serie de consideraciones para la correcta instalación y funcionalidad del sistema.

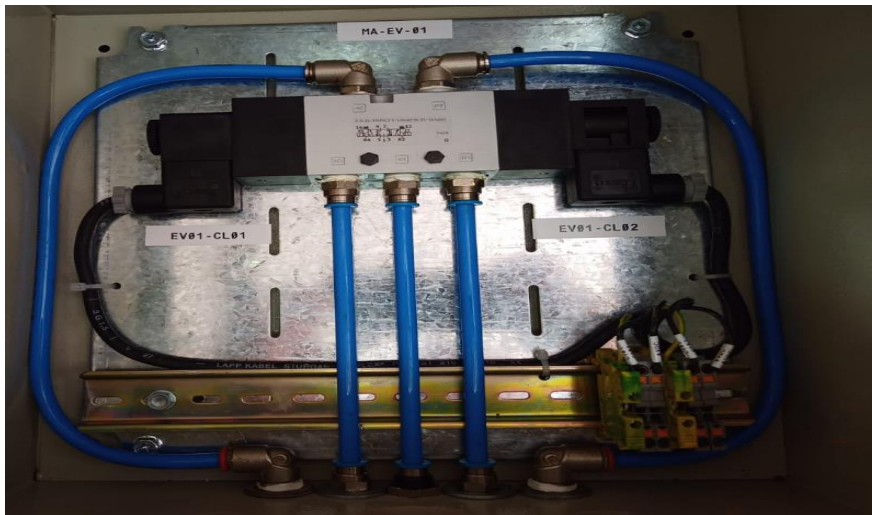
Se procedió a montar los componentes neumáticos en el tablero de acuerdo con las siguientes directrices.

### 2.2.3.1 Electroválvula.

La electroválvula fue instalada dentro del tablero, asegurándose de que estuviera debidamente protegida para evitar daños y facilitar su acceso durante el mantenimiento. Su instalación se puede apreciar en la (**Figura 23**). [7]

### 2.2.3.2 Mangueras neumáticas.

Las mangueras de aire fueron conectadas a la válvula a través de pasamuros (**Figura 21**), lo que permitió un paso seguro y ordenado de las mangueras, evitando cualquier contacto directo con las superficies del tablero que pudiera generar daños o interferencias [7]



*Figura 23: Fabricación Tablero Neumático.*

### 2.2.3.3 Silenciadores neumáticos.

Los silenciadores de cobre fueron montados en la parte externa del tablero (**Figura 24**), siguiendo las recomendaciones de instalación para asegurar un rendimiento óptimo en la reducción de ruido. [7]





*Figura 24: Pasamuros y silenciadores.*

#### **2.2.3.4 Cables de alimentación.**

Los cables de alimentación de las válvulas fueron conectados mediante bornas de conexión, que se encargaron de recibir los conductores provenientes del tablero de control. Esto permitió una instalación ordenada y segura, facilitando futuras labores de mantenimiento o modificación del sistema (**Figura 23**).

Como seguridad necesaria, se ha previsto la instalación de una **unidad de mantenimiento** en la toma principal de aire comprimido.

Esta unidad incluye un filtro, regulador y lubricador (**Figura 25**), cuya función es garantizar la calidad del aire suministrado al sistema neumático. El filtro elimina impurezas, el regulador mantiene la presión adecuada, y el lubricador asegura el correcto funcionamiento de los componentes móviles, reduciendo el desgaste y optimizando el rendimiento del sistema. [7]



*Figura 25: FRL Festo 1/2".*

## **2.3 Proceso de fabricación componentes mecánicos**

En esta etapa, se llevaron a cabo los procesos de fabricación de las piezas mecánicas que conforman el muestreador automático, siguiendo las especificaciones detalladas en el diseño previamente elaborado. A continuación, se describen los pasos que se siguieron para la fabricación de las piezas.

### **2.3.1 Selección y corte de materiales:**

Los materiales seleccionados más importantes, elegidos para la fabricación de las piezas fueron:

- Acero inoxidable
- Bronce
- Hierro

según las necesidades de resistencia y durabilidad.

Una vez seleccionados los materiales a utilizar, se procedió al corte de las piezas según las dimensiones especificadas, empleando herramientas como sierras, cizallas o cortadoras de disco.

Como primer ejemplo, se presenta el caso del inserto o cilindro interno.



*Figura 26: Corte de Tubo inferior, inserto.*

En la (**Figura 26**), se observa el resultado del proceso de corte de un tubo de acero inoxidable con un diámetro externo de 40 mm e interno de 35mm, el cual será asignado al transporte del cemento hacia el depósito que almacena las muestras.

En este paso, el trabajo realizado consistió principalmente en cortar el tubo a las medidas especificadas en el diseño (**Figura 16**), además de realizar las muescas necesarias para la recepción y evacuación del material. En la parte inferior de este tubo se realizó una perforación, seguida del proceso de roscado con las dimensiones M16 x 1.5, correspondientes a la rosca del eje del cilindro que se acoplará a este tubo o inserto.

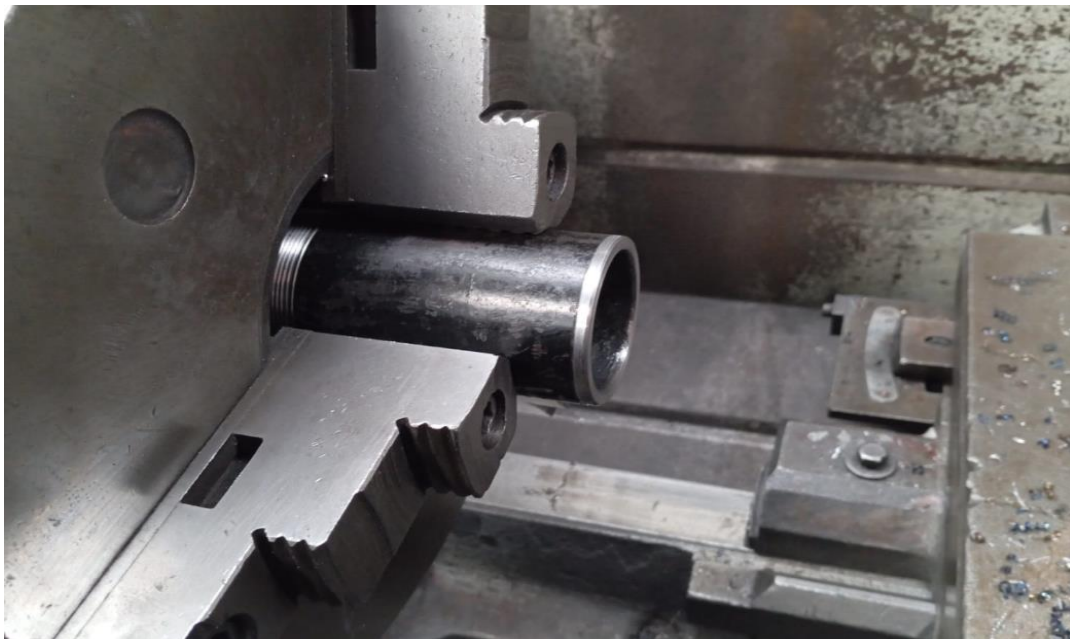
Para la fabricación de todas las piezas metálicas que conforman el muestreador, incluidos los cilindros, bujes y otros elementos, se siguió un procedimiento uniforme. Este incluyó la selección de materiales metálicos adecuados, el corte preciso de las piezas, los procesos de soldadura y el acoplamiento final de los diferentes componentes, garantizando su correcta integración. Cada etapa se realizó respetando rigurosamente las medidas especificadas en los planos y en el diseño mecánico descrito en el capítulo uno, sección 1.4. [8]

### **2.3.2 Mecanizado de las piezas.**

El proceso de mecanizado de las piezas comenzó tras la selección y corte inicial de los materiales, con el objetivo de obtener las geometrías y dimensiones requeridas según el diseño técnico del muestreador.

Este proceso es necesario para asegurar que los componentes mecánicos cumplieran con las tolerancias y especificaciones necesarias para su integración funcional.

En primer lugar, se procedió a la elección de las herramientas y maquinaria adecuadas, considerando las propiedades del material y las características geométricas de las piezas. El mecanizado se llevó a cabo mediante técnicas de torneado y rectificado, cada una seleccionada de acuerdo con los requisitos específicos de cada componente.



*Figura 27: Torneado acople.*

El **torneado** se utilizó para procesar las piezas con geometría cilíndrica como los tubos, donde se requirió precisión en el diámetro y acabado superficial.

Las piezas fueron montadas de forma segura en los tornos, ajustando los parámetros de corte y velocidad de avance según las especificaciones del diseño. Durante este proceso, se controlaron las tolerancias de diámetro y concentricidad, ya que cualquier variación podría afectar la alineación y el rendimiento del sistema final. [8]

Por último, el **rectificado** se utilizó para lograr un acabado superficial de alta precisión, especialmente en aquellas piezas que requerían tolerancias muy estrictas en sus dimensiones y acabados, como superficies de contacto o de ajuste.

A lo largo de todas las etapas de mecanizado, se realizó un control constante de las dimensiones y tolerancias mediante instrumentos de medición de alta precisión, como micrómetros y calibres de alta exactitud. La verificación de las piezas permitió detectar cualquier desviación antes de continuar con el siguiente paso del proceso de fabricación.

Al finalizar el mecanizado, cada pieza fue inspeccionada para asegurar que se cumplieran las especificaciones del diseño y las tolerancias requeridas.

### **2.3.2.1 Elaboración de Bujes de bronce.**

Para la fabricación de los bujes de bronce, se partió de una pieza de bronce que posteriormente fue sometida a diversos procesos de mecanizado y rectificado. El diseño de los bujes se caracteriza por un diámetro externo de 54 mm, un diámetro interno de 41 mm y un canal interno de 14 mm de ancho, el cual sirve para alojar el fieltro (**Figura 18**).

El proceso de fabricación inició con el corte de la pieza de bronce a las dimensiones iniciales requeridas. Posteriormente, se procedió a mecanizar la pieza mediante torneado, logrando la geometría externa del buje.

Una vez obtenida la forma externa, se llevó a cabo un proceso de rectificado para asegurar la precisión dimensional y obtener un acabado superficial adecuado.

En una fase posterior, se torneó la forma interna del buje, específicamente el canal donde se alojaría el fieltro, con el objetivo de asegurar un ajuste perfecto. Este canal interno tiene un diámetro de 14 mm, lo que permite la inserción del fieltro, cuyo rol es funcionar como un retén para evitar la entrada de polvo y otros contaminantes al interior del muestreador durante la recolección de muestras.



**Figura 28:** Buje y Filtro.

El filtro elegido fue seleccionado por su alta durabilidad y resistencia, ya que debe soportar condiciones de trabajo expuestas a polvos y temperaturas elevadas.



**Figura 29:** Reten Filtro.

El muestreador cuenta con dos bujes de bronce, uno ubicado en la parte superior y otro en la parte inferior del cilindro interior. Estos bujes permiten un funcionamiento adecuado del sistema, garantizando que el filtro se mantenga en su lugar y cumpla su función de sellado.

Las especificaciones del fieltro utilizado son las siguientes: un diámetro interior de 40 mm, un diámetro exterior de 48 mm y un ancho de 15 mm, lo que permite una instalación eficiente y funcional en los bujes. (**Figura 30**)

Este proceso asegura que el muestreador automático opere de manera eficiente, sin que el polvo o cualquier contaminante afecte el mecanismo interno, garantizando la calidad de las muestras recolectadas.



*Figura 30: Montaje de fieltro.*

### **2.3.3 Soldadura y ensamblaje.**

El proceso de soldadura y ensamblaje comenzó con el corte de los materiales metálicos, que fue la primera etapa para preparar las piezas.

Los cortes se realizaron de acuerdo con las dimensiones y tolerancias especificadas en los planos de diseño, utilizando sierras y cortadoras de disco.

Esta etapa es importante para obtener las piezas con las medidas necesarias para el ensamblaje.

Una vez cortadas las piezas, se procedió a realizar una presentación preliminar. Este paso consistió en colocar los componentes en su disposición final sin realizar la

soldadura, con el fin de verificar que los ángulos, medidas y diámetros fueran correctos y que todas las piezas encajaran adecuadamente.



*Figura 31: Corte y Presentación.*

Durante esta fase, se revisaron con especial atención los puntos críticos de ajuste, como los diámetros de las conexiones y los ángulos de soldadura.

La soldadura se realizó de manera práctica y controlada. Se utilizaron dispositivos de sujeción para mantener los componentes firmemente en su lugar durante el proceso, evitando que el metal se deformara. Esto fue importante, ya que el objetivo era evitar la necesidad de realizar un enderezado después de soldar, lo que no es adecuado en términos de precisión.

El control de la deformación se manejó mediante técnicas de soldadura que permitieron un calentamiento y enfriamiento controlado del material, para que las piezas no perdieran su forma original.

Una vez que las piezas fueron soldadas, se hizo una inspección visual para verificar la calidad de las soldaduras y comprobar que las piezas estuvieran correctamente unidas. Este proceso de soldadura y ensamblaje se repitió para todos los



componentes, cada pieza estuviera bien integrada antes de continuar con la siguiente etapa del proceso de fabricación.

Una vez tomadas las medidas definitivas y confirmado que el tubo estaba conforme al diseño, se procedió con la soldadura definitiva para asegurar su fijación. [8]



*Figura 32: Soldadura Final.*

Este proceso se repitió para el resto de los elementos, como la brida, el tubo exterior, entre otros.

#### **2.3.4 Ensamblado de componentes.**

Previo al proceso de pintura, se llevó a cabo el ensamblado de los componentes del sistema, verificando que todas las piezas mecánicas fabricadas cumplieran con las especificaciones dimensionales y de diseño. Durante esta etapa, se presentaron las diferentes partes mecanizadas, coincidiendo perfectamente en medida y forma, conforme a los planos técnicos previamente elaborados.

Este ensamblaje inicial permitió corroborar la funcionalidad y la correcta integración de los elementos, garantizando que no existieran interferencias o desajustes entre las piezas. Además, se realizaron ajustes finales para optimizar el encaje y alineación de los componentes, logrando un ensamblaje robusto y confiable. [8]



*Figura 33: Ensamblado de componentes.*

### **2.3.5 Acabado superficial.**

Tras la validación del ensamblaje, se procedió al acabado superficial del equipo mediante un proceso de pintura base (fondo). Este paso fue esencial para proteger las superficies metálicas frente a la corrosión y mejorar la apariencia estética del equipo.

El proceso inició con la preparación de las superficies, eliminando residuos de grasa, polvo o partículas mediante limpieza mecánica. A continuación, se aplicaron capas de pintura base color mate, seleccionada por su resistencia y propiedades estéticas, en una cámara de pintura al horno. Este procedimiento permitió lograr un acabado uniforme y duradero, con una resistencia superior a las condiciones de trabajo del equipo, incluyendo exposición a polvo y temperaturas elevadas.



*Figura 34: Fondeado elementos mecánicos.*

## **2.4 Desarrollo del software para el PLC S7-1200.**

Para el desarrollo de este proyecto, se optó por utilizar el PLC S7-1200 de Siemens, específicamente el modelo 1214 AC/DC/RLY, debido a la alta confiabilidad que representa la marca Siemens. Esta elección se justifica aún más considerando que en la empresa donde se lleva a cabo el proyecto, Siemens es la marca estándar utilizada en todos los proyectos actuales. El modelo S7-1200 fue seleccionado por su versatilidad, robustez y capacidad de escalabilidad, características que aseguran el buen desempeño del sistema a largo plazo.

Además, uno de los factores clave en la selección de este modelo fue que el PLC ya estaba disponible en la empresa, lo que permitió evitar la necesidad de realizar una compra adicional, optimizando los recursos del proyecto.

Con el PLC S7-1200 seleccionado, se procedió al desarrollo del programa encargado de controlar los tiempos de muestreo y gestionar los accionamientos mecánicos. [9]

### **2.4.1 Creación del proyecto en TIA Portal V16.**

El primer paso en el desarrollo del software para el PLC S7-1200 fue la creación del proyecto en la plataforma TIA Portal V16.

El nombre del proyecto fue definido como "Muestreador\_Automatico", y en este proyecto se configuró el modelo de CPU como "CPU 1214C AC/DC/RLY", cuya

referencia es "6ES7 214-1BG40-0XB0". Además, se especificó que la versión del firmware utilizada en el PLC era la 4.2, lo que asegura compatibilidad con las herramientas de desarrollo y las funcionalidades necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

Como primer paso, para la creación del proyecto, se definieron las variables a utilizar, asignando a cada una un tipo y un nombre único (**Tabla 3**).

Es crucial que cada variable tenga una dirección y tipo claramente establecidos, lo que permite su correcta programación y gestión dentro del sistema. Este proceso asegura que las señales de entrada y salida, así como los parámetros de control, sean identificados y manipulados con precisión durante el funcionamiento del PLC. Además, en base a los diagramas eléctricos, se realizó la asignación de las entradas y salidas (I/Os) al PLC, lo que facilitó la integración de los componentes eléctricos y neumáticos al sistema de control.

**Tabla 3:** Tabla de Variables.

Nombre Variable	Tipo de Dato	Dirección.
<b>Entradas Digitales.</b>		
MA-PS-01	Bool	%I0.0
MA-EP-01	Bool	%I0.1
MA-ZS-01	Bool	%I0.2
MA-ZS-02	Bool	%I0.3
CONDICION_MV	Bool	%I0.4
<b>Salidas Digitales.</b>		
MA-RL-01	Bool	%Q0.0
MA-RL-02	Bool	%Q0.1
CONFIRMACION_MV	Bool	%Q0.2
<b>Marcas Internas.</b>		
PRESION_AIRE_OK	Bool	%M0.0
STOP_EMERGENCI	Bool	%M0.1
INSERTAR_CAMARA	Bool	%M0.2
EXTRAER_CAMARA	Bool	%M0.3
MODO_MANUAL	Bool	%M0.4
MODO_AUTOMATICO	Bool	%M0.5
AUTOMATRICO_MANUAL	Bool	%M0.6
INSERTAR_CAMARA_AUTOMATICO	Bool	%M1.1
EXTRAER_CAMARA_AUTOMATICO	Bool	%M1.3
AUXILIAR_FLANCOS	Bool	%M1.6
MODO_AUTOMATICO2	Bool	%M1.7
AUXILIAR_FLANCOS1	Bool	%M34.1
<b>Marcas de tiempo.</b>		
TIEMPO_INTERVALO_MUESTRA	Time	%MD2
CONTEO_T1	Time	%MD6
TIEMPO_MUESTREO	Time	%MD10
CONTEO_T2	Time	%MD14
TIEMPO_INTERVALO_MUESTRA_M	DInt	%MD18
TIEMPO_MUESTREO_S	DInt	%MD22
CONTEO_T1_M	DInt	%MD26
CONTEO_T2_S	DInt	%MD30

#### 2.4.2 Asignación de direcciones y configuración de hardware.

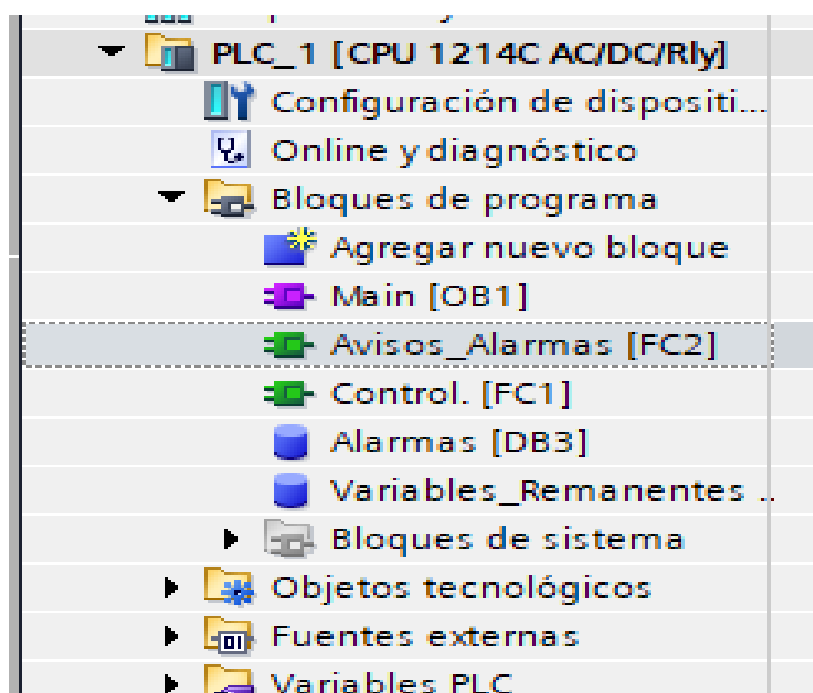
En esta sección se detalla la configuración de las direcciones de red y el protocolo de comunicación utilizado para el proyecto.

Se emplea la red Profinet como estándar de comunicación industrial, con la subred identificada como PN/IE\_1.

La dirección IP asignada al PLC es 192.168.0.1, lo que permite una comunicación directa y estable entre el controlador y los dispositivos periféricos, esta configuración cumple con los requisitos de control y supervisión del muestreador automático.

### 2.4.3 Programación de la Lógica de Control.

En el árbol de proyecto (**Figura 35**), del software TIA Portal V16, se definieron y programaron varios bloques funcionales y de datos para gestionar la lógica de control del sistema.



*Figura 35: Árbol de proyecto Tía Portal V16*

#### 2.4.3.1 Bloque de funciones FC1 – (Control).

Este bloque fue programado utilizando el lenguaje Ladder (LAD) y contiene la lógica de control tanto para el modo automático como para el control en modo local.

En este bloque se implementaron las secuencias necesarias para el funcionamiento del muestreador en sus diferentes modos operativos. [9]

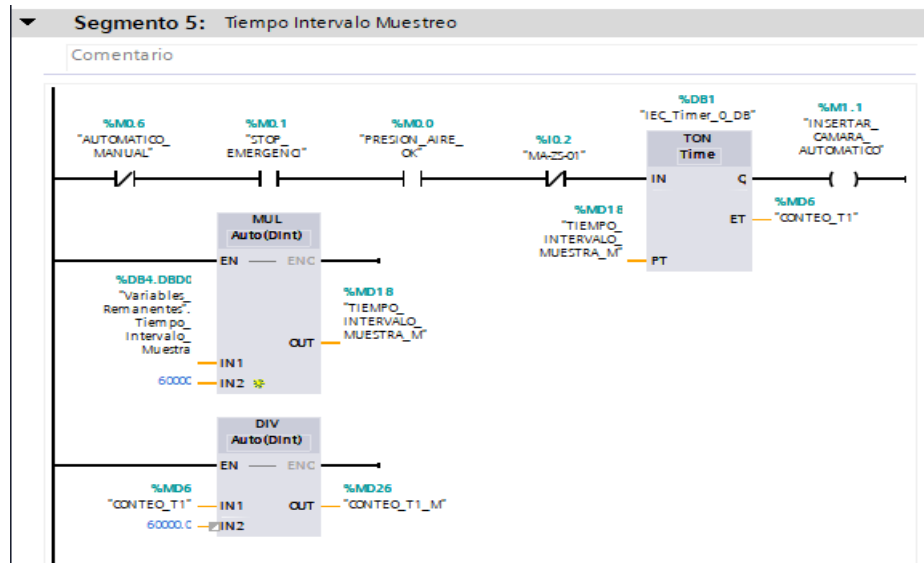


Figura 36: Segmento 5. Control Muestreador.

### 2.4.3.2 Bloque de funciones FC2 – (Avisos Alarmas).

En este bloque (**Figura 37**), se programaron los bits que se visualizan como alarmas en la interfaz HMI. Estas alarmas incluyen:

- Alarma por presión de aire insuficiente.
- Aviso de stop de emergencia activo.
- Aviso de condición proveniente del molino vertical (MV).



Figura 37: Segmentos de Alarmas y Avisos.

### 2.4.3.3 Bloques de datos (DB).

- **DB3 - Avisos y Alarmas:** Este bloque se utilizó para definir y almacenar las variables relacionadas con los avisos y alarmas del sistema.

Alarmas									
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Presión Aire	Bool	0.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Stop Emergencia	Bool	0.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	MV_MV_01_Off	Bool	0.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 38: DB3 (Avisos y Alarmas)

- **DB4 - Variables Remanentes:** Este bloque fue diseñado para gestionar las variables persistentes, como los valores de los tiempos de muestreo y tiempos de muestra. Estas variables son críticas para el control del muestreador automático, ya que deben conservarse incluso en caso de una interrupción de energía. Al reanudar la alimentación eléctrica, los valores previamente



configurados se mantienen intactos, permitiendo la reanudación del sistema sin pérdida de datos esenciales. [9]

Variables_Remanentes									
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..
1	▼ Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	■ Tiempo_Intervalo_Muestra	Time	0.0	T#0ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	■ Tiempo_Muestreo	Time	4.0	T#0ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 39: Variables Remanentes.

## 2.5 Desarrollo del software para la HMI KTP700 de SIEMENS.

Como se ha mencionado anteriormente, se seleccionó la HMI KTP700 de Siemens para este proyecto debido a su versatilidad, confiabilidad y robustez, características que la convierten en una solución adecuada para los objetivos planteados en el sistema de muestreo.

Este dispositivo, con una pantalla táctil de 7 pulgadas y conectividad Profinet, permite una interacción intuitiva con el sistema y cumple con los estándares técnicos de la empresa. [9]

### 2.5.1 Configuración Inicial del Proyecto.

En TIA Portal V16, se inició el proyecto configurando la conexión entre la HMI y el PLC S7-1200. Se asignó la dirección IP 192.168.0.2 de la HMI dentro de la red Profinet.

Asegurando que la comunicación entre los dispositivos se estableciera correctamente se procedió con la configuración de las pantallas en la hmi.

### 2.5.2 Diseño de pantallas de operación.

Se desarrollaron pantallas que permiten al operador gestionar y supervisar el sistema de forma clara y eficiente. Estas pantallas incluyen:

- **Pantalla de Inicio:** Presenta información general del sistema y acceso a las funciones principales [10]



*Figura 40: Imagen de Inicio HMI.*

- **Pantalla de Control Modo Manual:** Esta pantalla permite la operación manual del muestreador a través de los botones de "Insertar" y "Extraer". En este modo, el muestreador puede ser operado sin activar los tiempos de muestreo ni el tiempo de muestra, lo que lo hace ideal para pruebas y tareas de mantenimiento. El operador tiene la capacidad de realizar ajustes y verificaciones sin interferir con el ciclo automático del sistema.

En esta pantalla también se visualiza la posición actual del muestreador, representada por las etiquetas o *tags* de los sensores magnéticos de posición del cilindro neumático, MA-SZ-01 y MA-SZ-02. Además, la presión de aire se muestra en la pantalla, donde el indicador verde señala que la presión supera los 4 bares. Si el indicador es de color rojo, esto indica que la presión de aire es inferior a dicho valor. [10]

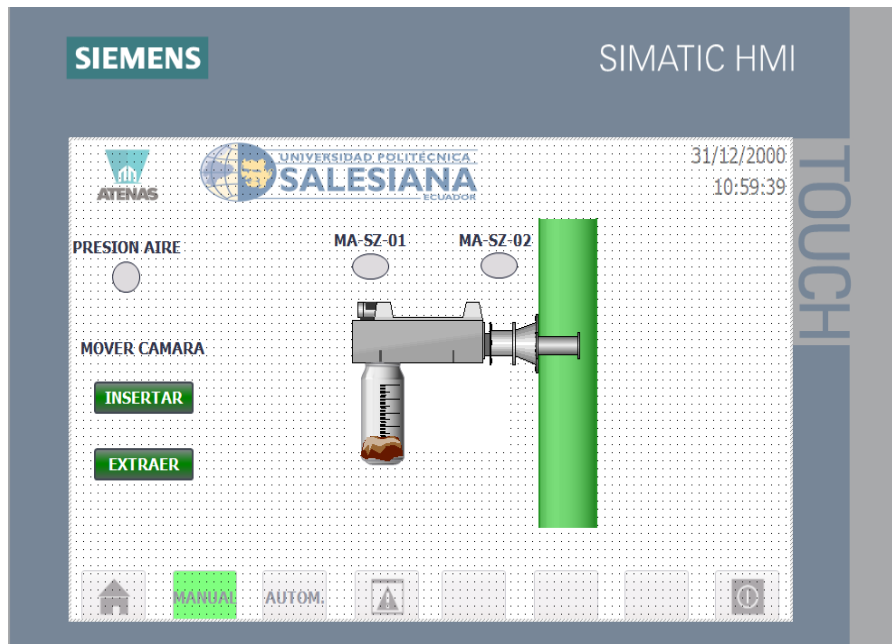


Figura 41: Control Manual.

- **Pantalla de Control Modo Automático:** Esta pantalla permite operar el muestreador en modo automático, considerando los tiempos establecidos por el operador.

Los parámetros de tiempo entre muestras y tiempo de muestra son configurados según la calibración previamente realizada, y están directamente relacionados con la cantidad de cemento que se desea tomar para la muestra. Por ejemplo, un mayor tiempo entre muestras implica una mayor cantidad de muestra en gramos.

El tiempo entre muestras se introduce en minutos, con un campo de 4 dígitos que permite valores de hasta 9999 minutos, lo que proporciona flexibilidad para ajustar la frecuencia de las muestras según las necesidades del proceso.

El tiempo de muestra es el período que tarda el inserto en tomar la muestra, y es calibrable en función del peso o la cantidad de la muestra requerida. Este tiempo se ajusta en segundos, dado que el tiempo estimado para la toma de una muestra varía entre 2 y 10 segundos, dependiendo de la cantidad que se desea obtener.

Al igual que en la pantalla en modo manual, en esta pantalla también se muestra la señalización de la posición del cilindro neumático, a través de los sensores magnéticos correspondientes, y se visualiza el estado de la presión

de aire. La señalización de la presión de aire se indica con un color verde si la presión es superior a 4 bares, mientras que, si el indicador es rojo, significa que la presión de aire es inferior al valor requerido.

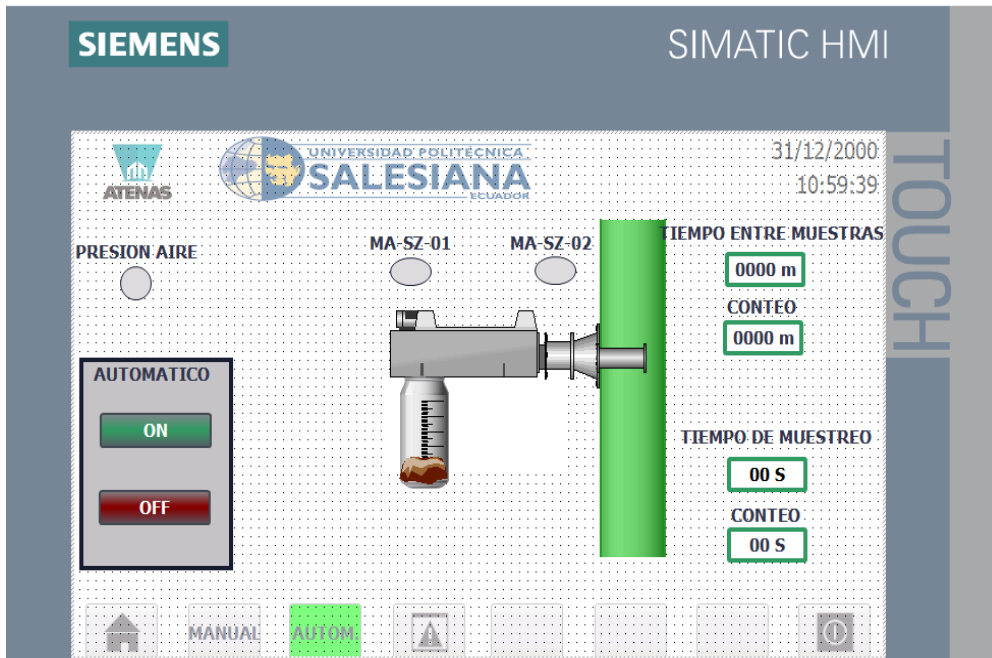


Figura 42: Control Automático.

### 2.5.3 Asignación de Variables.

En la (Tabla 4) se detallan las variables utilizadas en la configuración de la HMI.

[10]

Tabla 4: Variables HMI.

Nombre Variable	Tag PLC	Tipo de Dato
Número_imagen_variable	<No Value>	UInt
PRESION_AIRE_OK	PRESION_AIRE_OK	Bool
MA-ZS-02	"MA-ZS-02"	Bool
MA-ZS-01	"MA-ZS-01"	Bool
Insertar_Camara	INSERTAR_CAMARA	Bool
Extraer_Camara	EXTRAER_CAMARA	Bool
Modo_Automatico	MODO_AUTOMATICO	Bool
Modo_Manual	MODO_MANUAL	Bool

Tiempo_Intervalo_Muestra	Tiempo_Intervalo_Muestra	Time
Conteo_T1	CONTEO_T1	Time
Tiempo_Muestreo	Tiempo_Muestreo	Time
Conteo_T2	CONTEO_T2	Time
Automatico_Manual	AUTOMATICO_MANUAL	Bool
Conteo_T1_S	CONTEO_T1_M	DInt
Conteo_T2_S	CONTEO_T2_S	DInt
Alarmas	<No Value>	UInt
Variables_Remantes_Tiempo_Intervalo_Muestra	Variables_Remantes.Tiempo_Intervalo_Muestra	Time
Variables_Remantes_Tiempo_Muestreo	Variables_Remantes.Tiempo_Muestreo	Time

### 2.5.4 Gestión de Alarmas y Eventos.

Se implementó una lista de eventos en la HMI para mostrar las alarmas configuradas en el PLC, permitiendo al operador monitorear el estado del sistema en tiempo real. Esta lista incluye alarmas relacionadas con condiciones críticas, tales como la presión de aire insuficiente, el paro de emergencia activado y las alertas provenientes de la condición de marcha del molino vertical. [10]

ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di.	Bit de..	Dirección de ...	Variable de ac.	Bit de ..	Dirección de ...
<input checked="" type="checkbox"/>	Aviso de bit_1	Presión de aire fuera de rango	Errors	Alarmas	8	%DB3.DBX0.0	<Ninguna ...	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Aviso de bit_2	Stop Emergencia Activo	Errors	Alarmas	9	%DB3.DBX0.1	<Ninguna var...	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Aviso de bit_3	MV_MW_01 OFF	Errors	Alarmas	10	%DB3.DBX0.2	<Ninguna var...	0	
	<Agregar>								

Figura 43: Configuración Alarmas HMI.

## CAPITULO 3.

### **Montaje y Puesta en Marcha del Muestreador Automático para cemento, instalado en un ducto de producto terminado.**

#### **3.1 Montaje del tablero eléctrico de control.**

El montaje del tablero eléctrico de control se realizó a una altura de 1.60 m desde el suelo, considerando esta medida para minimizar el riesgo de contaminación en el área de trabajo y garantizar un acceso cómodo para el operador.

El tablero fue instalado en una pared de ladrillo sólido, utilizando tacos Fischer N°8 y tornillos tipo "tripa de pato" de 10 x 1 ½ pulgadas, lo que permitió una sujeción sólida y segura.

Para fijarlo, se realizaron perforaciones en la pared, asegurando que el tablero quedara firmemente anclado y resistente a posibles vibraciones o movimientos.

Adicionalmente, se instalaron bandejas porta cables tipo malla, con una longitud de 2 metros (**Figura 45**), para facilitar el tendido de los conductores eléctricos que alimentan al tablero y permiten la interconexión con los demás componentes del sistema. Estas bandejas aseguran un manejo ordenado y seguro de los cables, evitando daños y mejorando la estética del montaje. [11]

Para el soporte de las bandejas, se fabricaron estructuras con rieles tipo "chanel" de 20 mm x 40 mm, con dimensiones de 12 cm x 12 cm cada uno (**Figura 44**). Estos rieles fueron fijados a la pared mediante tacos Fischer N°8 y tornillos "tripa de pato" de 10 x 1 ½ pulgadas, garantizando la estabilidad y resistencia de la estructura.



*Figura 44: Ángulos de riel Chanel.*

Lista de materiales necesarios para la instalación del tablero eléctrico de control como también para la instalación de la bandeja portable

*Tabla 5: Lista de materiales para montaje de tablero de control.*

Ítem	Elemento	Cantidad.
1	Tacos fisher Nro. 8.	12 un
2	Tornillo tripa de pato 10-1/1/2	12 un
3	Cable concéntrico 3x16 Awg	55 m
4	Riel Chanel 20x40mm	1 m

### **3.2 Montaje del tablero neumático de control.**

El montaje del tablero neumático se realizó siguiendo las mismas especificaciones de altura utilizadas para el tablero eléctrico, situándolo a **1.60 m desde el suelo hasta la parte inferior del tablero**. Esta medida fue seleccionada para mantener uniformidad en la instalación y garantizar un acceso ergonómico y funcional.

Para la fijación del tablero, se utilizaron **4 tacos Fischer N°8** y **4 tornillos tipo "tripa de pato" de 10 x 1 ½ pulgadas**, asegurando una instalación firme y estable. Las perforaciones en la pared de ladrillo sólido se realizaron con precisión, logrando una sujeción sólida que evita movimientos o vibraciones durante la operación.



*Figura 45: Instalación de tableros y bandeja porta cables.*

### **3.3 Montaje de Unidad de mantenimiento y switch de presión.**

El montaje de estos elementos fue realizado en colaboración con la empresa donde se desarrolla el proyecto. Para ello, se instaló una tubería de aire comprimido de  $\frac{1}{2}$  pulgada, equipada con una válvula de paso antes del ingreso a la unidad de mantenimiento, Controlando de mejor manera el suministro de aire.

#### **3.3.1 Detalles de la Instalación:**

- **Unidad de Mantenimiento:**

La unidad de mantenimiento (**Figura 46**), también de  $\frac{1}{2}$  pulgada, fue instalada en el punto más cercano al muestreador, minimizando la longitud de las mangueras y conexiones neumáticas. Esto permite reducir las posibles pérdidas de presión y optimizar el desempeño del sistema.

- **Switch de Presión:**

Junto a la unidad de mantenimiento se colocó el switch de presión (**Figura 46**), cuya función principal es monitorear el nivel de presión del aire comprimido. Este dispositivo genera alertas en caso de caídas significativas de presión, previniendo posibles fallos en el funcionamiento del equipo. [7]



### 3.3.2 Consideraciones Técnicas:

La ubicación estratégica de la unidad de mantenimiento y el switch de presión garantiza:

- **Eficiencia Operativa:**

La proximidad al muestreador evita pérdidas innecesarias de presión y asegura un flujo de aire óptimo.

- **Seguridad del Sistema:**

El switch de presión actúa como una medida preventiva, alertando sobre condiciones de baja presión que podrían comprometer el desempeño del equipo.

- **Facilidad de Mantenimiento:**

La instalación permite un acceso rápido y sencillo para realizar ajustes, limpiezas o inspecciones periódicas. [7]



*Figura 46: Unidad de mantenimiento y switch de presión.*

### 3.4 Montaje de elementos mecánicos en ducto de producto terminado.

En el lugar previamente definido para la instalación del muestreador automático de cemento, se llevaron a cabo las siguientes actividades: [7]

### 3.4.1 Perforación del ducto.

Se realizó una perforación en el ducto de producto terminado con un diámetro de 2½ pulgadas, diseñada específicamente para alojar el soporte de los elementos mecánicos del muestreador.



*Figura 47: Perforación ducto.*

### 3.4.2 Instalación del Soporte Tipo Brida.

Sobre el orificio perforado, se soldó un soporte tipo brida, el cual sirve como base para fijar el muestreador. Este soporte garantiza una instalación sólida y estable para el correcto funcionamiento del equipo.



*Figura 48: Instalación soporte brida.*

### **3.4.3 Montaje de Muestreador:**

Una vez instalado el soporte, se procedió a insertar el muestreador en su posición, el ajuste de las bridas se realizó utilizando **4 pernos M8x40**, asegurando una fijación firme y precisa, se pintó el acople con el mismo color que tiene el ducto.



*Figura 49: Montaje de muestreador en brida.*

#### **3.4.4 Instalación del Cilindro Neumático:**

Con el muestreador completamente montado, se procedió a instalar el cilindro neumático, utilizando 4 pernos M8x40 para garantizar una fijación segura. El equipo fue pintado en color blanco hueso, utilizando una pintura adecuada para metales, seleccionada por su compatibilidad con las condiciones del entorno. Este color fue elegido para mantener una armonía estética con el resto de los equipos y maquinarias presentes en el área de trabajo. [11]



*Figura 50: Muestreador Instalado.*

#### **3.4.5 Instalación de Mangueras Neumáticas.**

Se realizó la conexión de todas las líneas neumáticas necesarias para el funcionamiento del cilindro neumático. Las mangueras utilizadas son de material plástico PUM de 8 mm, seleccionadas por su resistencia y flexibilidad, adecuadas para operar en sistemas de aire comprimido. Las mangueras fueron fijadas y guiadas cuidadosamente para evitar dobleces o puntos de estrés que pudieran afectar su desempeño.

### 3.5 Prueba de funcionamiento.

Se realizó una prueba de funcionamiento del equipo configurando un tiempo estimado de muestreo de un segundo, con un intervalo de un minuto entre cada toma de muestra (**Figura 51**).



*Figura 51: Prueba de muestreo.*

Durante las pruebas, se evidenció la necesidad de realizar una mejora en el orificio del inserto, ya que el diámetro inicial era demasiado grande. Se determinó que era necesario reducir el diámetro en aproximadamente 8 mm. (**Figura 52**) [11]

Con esta modificación, se lograron los siguientes resultados:

- Se mejoró la precisión en la toma de muestras.
- Las muestras obtenidas resultaron homogéneas.
- El cilindro interior del muestreador no se inundó durante el proceso.
- La cantidad de material recolectado entre muestras se mantuvo uniforme.

Esta mejora optimizó significativamente el desempeño del equipo, asegurando un muestreo confiable y eficiente.



*Figura 52: Mejora en agujero del inserto.*

### **3.6 Mejora en descarga de muestras.**

Una vez en funcionamiento el equipo, se identificó la necesidad de instalar un tubo de desfogue en la salida de descarga del muestreador. Esta mejora resultó esencial para permitir que el aire contenido en el cemento se liberara hacia la atmósfera. Además, contribuyó a mantener el cemento almacenado libre de aire, evitando que la presión de este afectara el proceso de llenado del recipiente, garantizando así un llenado eficiente y sin interferencias.



*Figura 53: Corte para implementar tubería 1/2" de desfogue*

Después de realizar el corte, como se muestra en la **(Figura 53)**, se procedió a soldar la tubería que debía ser instalada en su ubicación definitiva, tal como se observa en la **(Figura 54)**. Esta mejora contribuyó a optimizar la eficiencia del equipo durante el proceso de toma de cada muestra, asegurando un rendimiento más preciso y confiable. [11]



*Figura 54: Soldadura desfogue.*

### 3.7 Toma de aire para limpieza.

De manera similar, durante las pruebas del equipo, se identificó la necesidad de implementar un ingreso de aire mediante un racor de manguera PUM 8. Esta modificación permite realizar una limpieza eficaz del sistema interno del componente. De esta forma, en caso de acumulación de cemento y humedad, el equipo, a través del ingreso de aire comprimido a 5 bares, puede mantenerse limpio y operativo, garantizando su funcionamiento continuo sin interrupciones.



*Figura 55: Racor de limpieza.*

### 3.8 Prueba de funcionamiento.

En conjunto con el equipo de calidad o laboratorio, se realizaron las pruebas del muestreador, dejándolo operativo durante una hora y obteniendo muestras cada 5 minutos. Como resultado, se logró una tasa de muestreo de 1 kilogramo por hora, lo que equivale a un promedio de 83 gramos cada 5 minutos. [11]





**Figura 56:** Muestra obtenida.

El muestreador se encuentra operativo desde el martes 28 de enero de 2025. Actualmente, está bajo la responsabilidad del departamento de mantenimiento y del área de calidad. Aunque aún no ha sido entregado por completo al área de calidad, continúa en etapa de pruebas para identificar y descartar cualquier anomalía que pueda surgir durante su funcionamiento.

## CAPITULO 4.

### Resultados y Conclusiones.

#### 4.1 Análisis y Resultados.

Los resultados obtenidos durante la fase de pruebas y validación confirmaron la eficacia del sistema diseñado e implementado. El muestreador automático demostró mejoras significativas en los siguientes aspectos:

- **Precisión:** La reducción del diámetro del orificio del inserto optimizó la toma de muestras, garantizando que estas fueran homogéneas y representativas.
- **Repetibilidad:** El sistema mantuvo una uniformidad constante entre muestras, asegurando un proceso confiable y replicable.
- **Eficiencia:** La configuración del tiempo de muestreo (1 segundo por minuto de intervalo) permitió un balance adecuado entre velocidad y calidad del muestreo.
- **Seguridad:** La automatización del proceso minimizó la intervención manual, reduciendo significativamente los riesgos laborales asociados al muestreo manual en el ducto de producto terminado.

Adicionalmente, el diseño robusto y autónomo del equipo facilitó su integración en el ducto de cemento, cumpliendo con las especificaciones técnicas planteadas por el área de laboratorio. [11]

#### 4.2 Conclusiones del Proyecto.

- **Automatización y Eficiencia.**

La implementación del muestreador automático optimizó el proceso de toma de muestras de cemento, reduciendo la variabilidad y el margen de error humano en comparación con métodos manuales. La automatización del sistema permitió obtener muestras más representativas y homogéneas, mejorando así la confiabilidad de los análisis de calidad.

- **Cumplimiento de Requerimientos.**

El equipo diseñado cumple con los estándares y especificaciones técnicas establecidas por el área de laboratorio, garantizando un muestreo preciso y repetitivo. Además, se respetaron las normativas IEC en los diagramas eléctricos y de control, asegurando un sistema seguro y confiable.

- **Integración con Sistemas de Control.**

La integración del muestreador con el sistema de automatización existente, mediante la HMI Siemens KTP700 Basic y un PLC compatible, permitió una operación intuitiva y accesible para los operadores. La interfaz facilita el monitoreo y ajuste de parámetros, optimizando la interacción entre el usuario y el sistema.

- **Fiabilidad y Robustez del Diseño.**

El muestreador fue construido con materiales y componentes adecuados para operar en un ambiente industrial exigente. Su diseño robusto asegura un desempeño óptimo bajo condiciones adversas, minimizando fallas mecánicas y electrónicas que podrían afectar la continuidad del proceso productivo.

- **Optimización del Tiempo de Muestreo.**

Gracias a la automatización y la programación de ciclos de muestreo ajustables, se logró reducir el tiempo necesario para obtener muestras representativas. Esto permitió mejorar la eficiencia en el control de calidad sin interferir en el flujo de producción del cemento.

- **Seguridad Operativa.**

La incorporación de sensores de posición y enclavamientos de seguridad en el diseño del muestreador garantizó un funcionamiento seguro para el personal y el equipo. La implementación de protecciones eléctricas y neumáticas minimizó riesgos operacionales y contribuyó a la prevención de fallos inesperados.

- **Impacto en Mantenimiento y Disponibilidad del Equipo.**

Se estableció un plan de mantenimiento basado en la experiencia de proyectos anteriores y en estándares industriales, asegurando la disponibilidad y el óptimo funcionamiento del muestreador. La facilidad de acceso a sus componentes permite realizar inspecciones y mantenimientos preventivos con mínima interrupción del proceso.

- **Validación y Puesta en Marcha Exitosa.**

Durante la puesta en marcha, el sistema cumplió con los criterios de validación establecidos por los coordinadores de la empresa, demostrando su eficiencia y fiabilidad. Las pruebas realizadas confirmaron la correcta operatividad del equipo y su capacidad para cumplir con los objetivos del proyecto.

- **Flexibilidad y Adaptabilidad.**

El diseño del muestreador permite adaptaciones futuras en caso de requerir ajustes en la frecuencia de muestreo o en la integración con otros sistemas de control. Esta flexibilidad garantiza que el equipo pueda seguir operando de manera eficiente ante posibles cambios en los procesos productivos.

- **Aporte al Control de Calidad.**

La implementación del muestreador automático ha contribuido significativamente a la mejora en el control de calidad del cemento. La obtención de muestras consistentes y representativas ha permitido a los laboratorios realizar análisis más precisos, garantizando que el producto final cumpla con los estándares exigidos en la industria cementera. [11]

### **4.3 Recomendaciones Finales**

- **Mantenimiento Preventivo y Correctivo.**

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en inspecciones periódicas del muestreador automático, asegurando la limpieza y lubricación de sus componentes mecánicos y la verificación de su sistema

de control eléctrico y neumático. Además, se deben registrar eventos de fallos o anomalías para mejorar el mantenimiento correctivo.

- **Monitoreo y Optimización de Parámetros de Muestreo.**

Se sugiere evaluar periódicamente los parámetros de muestreo configurados en la HMI, como la frecuencia y la duración del ciclo, para garantizar que las muestras obtenidas sean representativas de la producción y cumplan con los requisitos del área de calidad.

- **Validación Periódica del Muestreo.**

Para asegurar la precisión y confiabilidad del muestreo, se sugiere realizar validaciones periódicas comparando los resultados obtenidos con métodos manuales, ajustando parámetros si es necesario. Esto garantizará la calidad y representatividad de las muestras.

- **Revisión de la Integridad del Sistema Neumático.**

Dado que el muestreador funciona con un sistema neumático, se recomienda inspeccionar regularmente las mangueras, válvulas y cilindros para evitar fugas o fallos que puedan afectar su desempeño.

- **Gestión de Repuestos y Disponibilidad de Componentes.**

Para minimizar tiempos de inactividad, se recomienda contar con un inventario de repuestos críticos, como válvulas neumáticas, sensores y componentes electrónicos del sistema de control.

- **Documentación y Registro de Operación.**

Es importante mantener actualizados los manuales de operación, diagramas eléctricos y mecánicos, así como un historial de mantenimiento del equipo. Esto facilitará futuras intervenciones y garantizará un uso eficiente del sistema.

- **Evaluación de Expansión del Sistema.**

En función del desempeño del muestreador y de las necesidades del área de calidad, se recomienda evaluar la posibilidad de replicar o mejorar el sistema para otros puntos de muestreo dentro de la planta. [11]

## XII Cronograma.

Se presenta un cronograma detallado para el desarrollo del proyecto de titulación, diseñado para asegurar un enfoque ordenado y eficiente en cada fase del trabajo. Este plan garantiza el cumplimiento de los plazos establecidos, priorizando la calidad y el rigor académico desde la conclusión del anteproyecto hasta la entrega

Actividades.	Año 2024													Año 2025								
	Octubre				Noviembre				Diciembre					Enero				Febrero				
	Sem.1	Sem. 2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem. 2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem. 2	Sem.3	Sem.4	Sem.5	Sem.1	Sem. 2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem. 2	Sem.3	Sem.4	
Finalización del anteproyecto.	7 - 13	14 - 20	21 - 27																			
Diseño del Muestreador Aut.			28 - 3	4 - 10	11 - 17																	
Fabricación del Muestreador Aut.					11 - 17	18 - 24	25 - 1	2 - 8	9 - 15													
Calibración y pruebas adicionales.									9 - 15	16 - 22	23 - 29											
Elaboración del informe final.												23 - 29	30 - 5	6 - 12	13 - 19	20 - 26	27 - 2					

Figura 12.1: Cronograma de actividades.

### **XIII Presupuesto.**

Este presupuesto para el desarrollo del muestreador automático de cemento en la empresa beneficiaria del proyecto, refleja los costos asociados al proyecto. La empresa cuenta con un 80% de los materiales necesarios en su bodega, lo que asegura un impacto económico mínimo en el presupuesto de mantenimiento.

La participación de estudiantes y colaboradores en este proyecto fomenta el aprendizaje práctico y la innovación, sin representar un costo significativo. Hasta ahora, la empresa asumirá un gasto de \$940 (**Tabla 13.1**) por la compra de los elementos neumáticos que faltan para la ejecución del muestreador. Es importante señalar que, aunque se prevé que el costo total pueda aumentar, la empresa se compromete a asumir todos los gastos relacionados con la elaboración del muestreador.

**Tabla 6:** Elementos presupuestados.

Ítem	Descripción	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Precio Total (USD)	Responsable
1.	Tablero de control	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
2.	PLC S7-1200	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
3.	Fuente Logo Power 24V 2.5A	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
4.	HMI Siemens KTP700	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
5.	Electroválvula 5/3 centro cerrado	\$300.00	1	\$300.00	Elemento para Compra
6.	Cilindro doble efecto Festo D50 C125	\$400.00	1	\$400.00	Elemento para Compra
7.	Filtro FRL Festo 1/2"	\$240.00	1	\$240.00	Elemento para Compra
8.	Elemento de control electromecánicos	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
9.	Acero para estructura	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
10.	Acero para soporte y anclaje	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
11.	Tubo de acero para muestreo	\$0.00	1	\$0.00	Existente en la empresa
<b>Total.</b>				<b>\$940.00</b>	

#### **XIV Referencias Bibliográficas.**

**[1]** International Electrotechnical Commission, IEC 60446: Basic and Safety Principles for Man-Machine Interface, Marking and Identification – Identification of Conductors by Colours or Alphanumeric Characters, 4th ed. Geneva, Switzerland: IEC, 2007.

**[2]** IEC, "International Standard IEC 60947-2: Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers," International Electrotechnical Commission, 2020.

**[3]** Siemens AG, "SIMATIC HMI KTP700 Basic: Operating Instructions," Siemens, 2021. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com>



[4] International Electrotechnical Commission, IEC 60445: Basic and Safety Principles for Man-Machine Interface, Marking and Identification – Identification of Equipment Terminals, Conductor Terminals and Conductors, 6th ed. **Geneva: IEC, 2017.**

[5] Festo AG, "Festo FluidSIM: Pneumatic and Hydraulic Simulation Software," Festo, 2018. [Online]. Available: <https://www.festo.com>.

[6] Festo AG & Co. KG, Pneumatic Control Fundamentals – Technical Reference Manual, 5th ed. **Esslingen, Germany: Festo, 2021.**

[7] International Organization for Standardization, ISO 14649-1: Industrial Automation Systems and Integration – Physical Device Control – Data Model for Computerized Numerical Controllers – Part 1: Overview and Fundamental Principles, 1st ed. **Geneva: ISO, 2003.**

[8] International Electrotechnical Commission, IEC 61082-1: Preparation of Documents Used in Electrotechnology – Part 1: Rules, 3rd ed. **Geneva: IEC, 2014.**

[9] Siemens AG, "SIMATIC S7-1200 Programmable Controller System Manual," Siemens, 2022. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com>

[10] Siemens AG, "SIMATIC HMI: Human Machine Interface Systems and Solutions," Siemens, 2022. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com>

[11] ChatGPT, OpenAI, "Assistant conversation," OpenAI, San Francisco, CA, 2024. [Online]. Available: [chat.openai.com](https://chat.openai.com).

