



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Automatización de secador de aire comprimido para uso industrial.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Sotomayor Orozco Luis Eduardo
Tutora:
PhD. Urdaneta Herrera Maryory Mg. Albarracín Guarochico Wilmer Fabián

Quito – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, **Urdaneta Herrera Maryory** con C.I: **1759316126** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **AUTOMATIZACIÓN DE SECADOR DE AIRE COMPRIMIDO PARA USO INDUSTRIAL**.

Elaborado por: **Sotomayor Orozco Luis Eduardo**, de C.I: **1711391415**, estudiante de la **Maestría en electrónica y automatización**, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 12 de marzo de 2024

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, **Sotomayor Orozco Luis Eduardo** con **C.I: 1711391415**, autor/a del proyecto de titulación denominado: **AUTOMATIZACIÓN DE SECADOR DE AIRE COMPRIMIDO PARA USO INDUSTRIAL**. Previo a la obtención del título de **Magister en Electrónica y Automatización**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 12 de marzo de 2024

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	1
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	2
Índice de tablas	5
INFORMACIÓN GENERAL	7
Contextualización del tema	7
Problema de investigación	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1. Contextualización general del estado del arte	12
1.2. Proceso investigativo metodológico	14
CAPÍTULO II: PROPUESTA	16
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	16
2.1.1 Aire Comprimido	16
2.1.2 Punto de rocío	16
2.1.3 Temperatura de punto de rocío	16
2.1.4 Punto de rocío en aire comprimido	18
2.1.5. Tipos de secadores de aire comprimido	19
2.1.6 Características del desecante (alúmina activada)	20
2.1.7 Secadores regenerativos	21
2.1.8 Automatización Industrial	26
2.2 Descripción de la propuesta	30
a) Estructura general (ANEXO 1)	30
a.1 Sistema de control más adecuado.	31
a.2 Control de Presión:	32
a.3 Control del Ciclo de Regeneración del Desecante:	32

a.4 Interfaz de Usuario y Visualización:	32
a.5 Seguridad y Alarma:	32
a.6 Mantenimiento y Diagnóstico:	33
b) Explicación del aporte	33
b.1 Re habilitación	33
b.2 Reutilización de componentes originales	33
b.3 Algoritmo de programación	34
b.4 Capacitación de personal	34
b.5 Evaluación del impacto económico	36
c) Estrategias y/o técnicas	36
c.1 Equipos y programas a utilizar	36
c.1.1 Controlador lógico programable LOGO.	36
c.1.2 LOGO!Soft Confort versión 8.4.	37
c.1.2 Fuente DC 24 Voltios.	37
c.1.3 Router para comunicación PLC y HMI	37
c.1.4 Electroválvulas	37
c.1.5 Peso switch	38
c.2 Conexionado físico hacia PLC LOGO (ANEXO 2)	38
c.3 Diseño de conexionado de red para uso de aplicativo LWE (LOGO Web Editor)	38
c.4 Grafica de diseño del conexionado de red realizado para uso de aplicación LWE Siemens.	40
c.5 Diseño de aplicación en LWE Siemens para proceso de secado de aire en equipo. (ANEXO 4)	40
c.6 Diseño de programa para manejo de entradas y salidas dispuestas en PLC LOGO.	41
c.6.1 Programa realizado y cargado al PLC LOGO (ANEXO 3)	43
2.3 Validación de la propuesta	48
2.4 Matriz de articulación de la propuesta	53
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	55
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	63

Índice de tablas

Tabla 1	Pasos de la secuencia del ciclo – Controlador de temporizador.....	25
Tabla 2	Temporizado del ciclo fijo – Controlador de temporizador	26
Tabla 3	Descripción de perfil de validadores.....	48
Tabla 4	Criterios de valuación	48
Tabla 5	Descripción de perfil validador 1.....	49
Tabla 6	Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Jorge Luis Lara Chiriboga	49
Tabla 7	Descripción de perfil validador 2.....	50
Tabla 8	Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Juan Carlos Góngora Mosquera	50
Tabla 9	Descripción de perfil validador 3.....	51
Tabla 10	Escala de evaluación. Elaborada por: PhD. Marjory Urdaneta Herrera.....	51
Tabla 11	Matriz de articulación	53
Tabla 12	Secuencia fotográfica ejecución practica sistema de control implementado	57

Índice de figuras

Figura 1	Diagrama de fase del agua B temperatura de rocío y D temperatura de escarcha	17
Figura 2	Esquema de un secador de aire por absorción.....	19
Figura 3	Alúmina activada	21
Figura 4	Torre 4A en regeneración Torre 4B secando	22
Figura 5	Torre 4A secando torre 4B en regeneración.....	22
Figura 6	Vista superior delantera y lateral derecha del secador	23
Figura 7	Vista trasera de secador con detalle de componentes	24
Figura 8	Niveles de automatización industrial.....	27
Figura 9	Esquema de sistema de automatización industrial básico	29
Figura 10	Diagrama de flujo de proceso automático de control.....	31
Figura 11	Diagrama de conexionado eléctrico de PLC entradas y salidas	38
Figura 12	Conexionado de red realizado para uso de aplicación LWE Siemens.....	40
Figura 13	Diseño de aplicación de visualización de proceso en LWE	41
Figura 14	Versión de LOGO Soft Confort Utilizada en la programación	42
Figura 15	Programa ejecutado en LOGO Soft Confort V8.4	43
Figura 16	Visualización operativa del sistema de control	57

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

La automatización para proceso de secado de aire comprimido para uso industrial se sitúa en la intersección de las ingenierías mecánica, eléctrica y de control. Este campo de estudio aborda la necesidad de automatizar un equipo de aire comprimido industrial, que desempeña un papel importante en una variedad de aplicaciones industriales. Al combinar los principios de diseño mecánico con tecnologías de control avanzadas, se busca optimizar el rendimiento de los secadores de aire comprimido, reducir costos de repuestos y aumentar la productividad en entornos industriales. Además, esta área de investigación también se beneficia de los avances en la automatización y la digitalización, que ofrecen nuevas oportunidades para la monitorización remota.

Los controles automáticos sirven para poder disminuir mano de obra humana en un proceso. Para este caso particular se automatizará un equipo secador de aire comprimido para su posterior uso en labores de operación de equipos e instrumentos en plantas industriales.

El trabajo de investigación iniciará con el reconocimiento de variables involucradas en el proceso de secado de aire comprimido, equipos e instrumentación involucrada en el proceso especificaciones técnicas de cada uno, principio mecánico de funcionamiento del equipo a automatizar, calidad de aire requerida para la producción, validación de tiempos para la producción deseada, control de calidad de cada configuración del proceso y programación de los sistemas de control para llegar a la producción deseada.

La automatización del secador de aire comprimido base del proyecto forma parte de los equipos de operación del Terminal Marítimo Monteverde de la EP PETROECUADOR; para la producción de GLP (gas licuado de petróleo) de consumo de la zona Sur del Ecuador. Actualmente su operación abastece con el 80% de la demanda de GLP del país. La materia prima propano y butano líquidos llegan por importación vía marítima al Ecuador en estado líquido a temperaturas de -41°C y -5°C respectivamente; se los receipta en el Muelle del Terminal Marítimo Monteverde en la Provincia de Santa Elena; esta es transportada desde el muelle hasta los tanques de almacenamiento aislados térmicamente en tierra por medio de línea de tubería de acero al carbono recubierta también térmicamente; esto para mantener su temperatura y estado líquido en el transporte y posterior almacenamiento. Por medio de un proceso de bombeo, intercambio de calor y mezcla se produce GLP (gas licuado de petróleo); con una relación de 70 % propano y 30 % de butano y a una temperatura aproximada de 15°C . Producido el GLP pasa a otra etapa de bombeo

que eleva el producto a presiones sobre los 700 psi manteniendo el producto a las mismas temperaturas de 15°C para su posterior envío por el gasoducto Monteverde - Chorrillo hacia la ciudad de Guayaquil hasta su recepción en el Terminal Chorrillos; la recepción se la realiza en esferas de almacenamiento de alta presión y tanques horizontales posteriormente entra en un proceso de envasado y entrega para su comercialización.

Acorde a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2021), los porcentajes de propano y butano en la producción nacional de GLP es 70% y 30% respectivamente. Estos combustibles luego de la mezcla se transportan por gasoducto. La producción es de aproximadamente un millón de cilindros de uso doméstico envasados por semana, tanto de uso doméstico como de uso industrial. Para su transporte se utiliza una línea de tubería de 12 pulgadas de acero al carbono que recorre desde el terminal Monteverde en la provincia de Santa Elena hasta el terminal El Chorrillo en la provincia del Guayas.

El aire seco comprimido producto final que se obtendrá del se lo utiliza para la operación de equipos e instrumentos dispuestos en la Planta del Terminal Monteverde misma que se encuentra totalmente automatizada e integrada con todos estos sistemas con el fin de que la ejecución operativa se la realice desde los centros de control por medio de aplicaciones HMI diseñadas para la minimización de personal operativo en campo.

Este equipo es parte de un sistema abastecedor de aire comprimido seco que sirve para operar equipos a nivel remoto y de esta manera minimizar personal y tiempos de ejecución en las labores de operación de la planta. De aquí la importancia de este como parte fundamental para labores de operación y abastecimiento de aire seco comprimido el cual fundamenta las acciones de operación automáticas de válvulas y actuadores dispuestos para las labores diarias de almacenamiento y producción de GLP de la zona sur del País.

El Terminal Marítimo Monteverde cuenta con aproximadamente 70 trabajadores en turnos rotativos; mismos que se encuentran beneficiados a nivel de su salario de las labores de producción de este centro de almacenamiento mezcla y despacho de GLP. Este centro operativo está considerado como un punto estratégico de la economía del Ecuador a nivel de País; al momento abastece con su producción al 80% de la demanda de consumo de GLP en Ecuador.

En este como en muchos otros centros operativos de la Industria petrolera ecuatoriana; se ha implementado sistemas automáticos de control en procesos de producción, con el fin de poder

incrementarla; o en otros casos para dar mayor protección y seguridad a los trabajadores en sus labores diarias.

Problema de investigación

En el Terminal Marítimo Monteverde de la EPPETROECUADOR, dos de los cuatro secadores de aire comprimido han dejado de funcionar debido a fallas irreparables en su sistema automático de control. La adquisición de repuestos originales se ha vuelto inviable debido a los altos costos de la marca y a los prolongados tiempos de importación. Esta situación crítica está comprometiendo la capacidad del terminal para mantener operativas sus actividades de asistencia de aire seco para los equipos instalados en el muelle del Terminal Marítimo; uno de sus sectores estratégicos y de manipulación de productos de manera eficiente y segura.

Para subsanar temporalmente este déficit se ha extendido el circuito de cobertura de aire seco del sector de planta para abastecer con el aire seco al muelle. Este arreglo temporal de asistencia hace que se eleve el tiempo de trabajo y capacidades de los secadores en planta por lo que su desgaste será mayor. De continuar trabajando en estas asistencias los equipos de planta pueden llegar a un desgaste prematuro.

Por lo antes expuesto se requiere en el menor tiempo posible rehabilitar los secadores de muelle para lo que se propone un nuevo diseño para su sistema de control de proceso de secado interactuando el mismo con equipos instalados y que realice las secuencias de trabajo en forma similar al diseño original, pero con alternativas de equipos e instrumentos que se pueden encontrar a nivel nacional.

Objetivo general

Diseñar un sistema de control automático basado en PLC para el secador de aire comprimido en el Terminal Marítimo Monteverde de la EPPETROECUADOR, con el fin de garantizar la continuidad y eficiencia de las operaciones logísticas y de manipulación de productos petroleros a nivel automático.

Objetivos específicos

- Investigar las características técnicas y operativas del secador de aire comprimido en el Terminal Marítimo Monteverde, así como las especificaciones requeridas para su correcto funcionamiento.
- Estudiar las tecnologías y estándares aplicables a la automatización de secadores de aire tipo desecante basados en PLC.

- Seleccionar los componentes necesarios para una completa automatización del proceso de secado utilizando infraestructura existente.
- Diseñar la arquitectura y la programación del sistema de control automático basado en PLC.
- Implementar el sistema de control automático en el secador de aire comprimido.
- Evaluar la operatividad del programa diseñado y cargado en el sistema de control automática.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

Minimización de Costos de Repuestos en el Futuro: Al elegir una solución de automatización con un PLC, se busca no solo optimizar la operatividad del secador de aire comprimido en el presente, sino también minimizar los costos asociados con repuestos y mantenimiento en el futuro. Esto beneficiará directamente a la empresa y, en última instancia, a los consumidores, al mantener los costos de operación del terminal bajo control y garantizar la sostenibilidad económica a largo plazo.

Disponibilidad Local de Componentes y Soporte Técnico: Al incorporar un control basado en PLC's, se aprovecha la disponibilidad local de componentes y servicios de soporte técnico en el país. Esto facilita la adquisición rápida de repuestos y la resolución de problemas, reduce tiempos de inactividad y garantiza la continuidad de las operaciones del equipo. Además, esto puede generar empleo local en el sector de servicios técnicos y de mantenimiento.

Contribución a la Sostenibilidad Ambiental y Eficiencia Energética: La mejora en la eficiencia operativa del secador de aire comprimido a través de la automatización no solo reducirá los costos de operación, sino que también puede disminuir el consumo de energía. Esto contribuirá a los esfuerzos de sostenibilidad ambiental y alineará las operaciones del terminal con los estándares y regulaciones medioambientales vigentes, beneficiando así a toda la comunidad y al entorno natural circundante.

Transferencia de Conocimiento y Capacitación: La implementación del nuevo sistema de control automático también puede involucrar actividades de capacitación y transferencia de conocimientos a personal local. Esto no solo fortalece las capacidades técnicas y profesionales en el área de automatización industrial, sino que también promueve la participación y el desarrollo de talento local en sectores de alta tecnología, contribuyendo así al crecimiento cultural y tecnológico del personal involucrado.

En resumen, la implementación de este proyecto no solo beneficia directamente a la empresa y a sus operaciones, sino que también tiene impactos positivos en la sociedad y la comunidad local, promoviendo la sostenibilidad económica, ambiental y social a largo plazo.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

Los secadores de adsorción se componen de dos columnas que contienen material desecante. El aire comprimido con humedad atraviesa el desecante, el cual absorbe la humedad. Sin embargo, el desecante tiene una capacidad limitada para absorber la humedad, por lo que eventualmente necesita ser regenerado. Por esta razón, estos secadores están diseñados con dos columnas: mientras una columna se encarga de secar el aire, la otra se regenera.

El análisis se enfoca en los desafíos específicos de automatizar un secador de aire comprimido en entornos industriales. El proyecto constará de diseño armado y conexionado del nuevo control automático para un secador de aire industrial tipo desecante, manteniendo la misma eficiencia del control original. Se seleccionarán cuidadosamente recursos disponibles como infraestructura, normativas industriales relevantes, así como catálogos disponibles de la marca del equipo a intervenir. Estos estudios se contextualizarán para identificar el proceso original como tal; oportunidades de innovación y transferencia de conocimientos. El objetivo principal es automatizar el proceso industrial con alternativas tecnológicas de menor costo a nivel nacional y promover la sostenibilidad operativa del equipo mediante la optimización de los sistemas de control utilizando la misma infraestructura de ejecución original y al mismo tiempo alimentarnos del conocimiento del proceso.

Se pudo citar antecedentes que proporcionan una perspectiva detallada sobre las soluciones tecnológicas aplicadas en la automatización y optimización de secadores regenerativos de desecante, que nos sirven como referencia clave para el presente proyecto de implementación; seguidamente citamos algunos trabajos encontrados que se acercan a lo planteado:

Para descripción general de diseño de infraestructura de los secadores regenerativos de desecante de dos torres y del proceso de secado como tal del aire comprimido hasta alcanzar puntos de rocío por debajo del punto de solidificación del agua (puntos de rocío tan bajos como -100°F ($-73,3^{\circ}\text{C}$) [0,2 ppmV @ 100 psi-g, 6,9 baresg] son posibles) y también para disminuir la humedad en el aire comprimido y para tomar la información de tiempos de exposición del aire al particulado desecante nos fue de vital importancia la información contenida en MANUAL DE INSTRUCCIONES SERIE KAD como principal fuente (KAESER, 2018).

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral, específicamente en la facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, se llevó a cabo un estudio titulado "MEJORAS EN EL SISTEMA DE

AIRE COMPRIMIDO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL", dirigido por Homero Heraldo Valarezo Ortiz. En este estudio, se llevaron a cabo mediciones del consumo y se calcularon los costos reales relacionados con la producción y tratamiento del aire comprimido. Además, se examinó la eficacia de la red y se identificaron problemas inherentes con el fin de mejorar las condiciones de toda la red de generación de aire. Se realizó también el reordenamiento y la reparación de las líneas de aire comprimido. Este trabajo es pertinente para la investigación actual debido a su enfoque en el tratamiento del aire comprimido (González, 2016).

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, el Ingeniero Mecánico Edwin Estuardo Rodas Arreaga llevó a cabo un estudio titulado "ESTUDIO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE HENKEL LA LUZ S.A.". En este estudio se presenta una descripción concisa pero precisa de un secador de aire comprimido empleado por la empresa mencionada, junto con su programa de intervención de mantenimiento. Esta información es de gran utilidad para el presente trabajo de investigación (González, 2016).

En la Planta Cervecera Nacional Cumbayá en Uisrael, el ingeniero Aníbal Roberto Bohórquez Torres demostró la Generación de aire comprimido con visualización ONLINE. Para crear la visualización en línea, se utilizará una red híbrida ProfiNet DH485 y el software Intouch con tecnología avanzada del robot de autoaprendizaje KAESSER SAM 40. de Amarak. En este trabajo se presentó una guía metodológica y principios generales para el aire comprimido (Torres, 2020).

En este proyecto se utilizan principalmente equipos y Software aplicados de la marca SIEMENS PLC LOGO, Software de programación LOGO Soft Confort V8.4 y Logo Web Editor. El PLC LOGO se encargará principalmente de las acciones diseñadas en la programación del sistema realizada el LOGO Soft Confort V8.4, mientras que LOGO Web Editor facilitará la interacción del usuario de forma intuitiva y amigable. Este último permitirá visualizar la operación y brindará la posibilidad de gestionar variables por medio de dispositivo con acceso a internet. Esto asegura la gestión de las operaciones a nivel remoto.

Todas las fuentes consultadas y en particular los catálogos de la marca del equipo nos prestan información fundamental para poder definir un programa automatizado de control para el equipo secador de aire tipo regenerativo, basado en tiempos de exposición o etapas las cuales las tomaremos como referencias principales para el diseño del programa de control que se lo desarrollará con un **PLC "LOGO"** de la marca Siemens.

El método propuesto para la automatización de un secador de aire regenerativo se basará en un sistema de control mediante un programa de conteo de etapas y la ejecución de apertura o cierre de

válvulas para el proceso de admisión o regeneración. Este enfoque se apoya en tecnologías comúnmente utilizadas en la industria para optimizar el rendimiento y la eficiencia del secador.

En términos técnicos, se empleará un controlador lógico programable (PLC) para gestionar el proceso de automatización. Este dispositivo está equipado con entradas y salidas digitales y analógicas para interactuar con los diversos componentes del secador, como las válvulas de admisión y regeneración, los sensores presión, y los actuadores que controlan el flujo de aire y desecante.

El programa de conteo de etapas se diseñará de acuerdo con las características específicas del secador y el ciclo de funcionamiento deseado. Se configurarán algoritmos de control para monitorear y gestionar el proceso de manera eficiente, asegurando una distribución óptima del aire comprimido y el desecante a lo largo de las etapas de admisión y regeneración.

Las válvulas utilizadas serán del tipo adecuado para la apertura y cierre del flujo de aire en etapas de secado y regeneración de desecante, con características como rápida respuesta, alta fiabilidad y capacidad de operación en entornos industriales exigentes. Se seleccionarán válvulas proporcionales o de tipo ON/OFF neumáticas según los requisitos específicos del sistema y las condiciones de operación.

En resumen, el método de automatización propuesto se basa en tecnologías estándar de la industria, como PLC, DCS y válvulas de control, adaptadas para operar eficientemente el proceso de en un secador de aire tipo desecante regenerativo, garantizando un rendimiento óptimo y una operación confiable.

1.2. Proceso investigativo metodológico

El proyecto de titulación automatización del secador de aire comprimido se fundamenta en un enfoque de investigación aplicada. Este tipo de investigación se caracteriza por su naturaleza práctica y orientada a la solución de problemas específicos en un contexto real, como es el caso de optimizar los procesos de secado en la industria mediante la automatización del secador de aire comprimido. La investigación aplicada permite aplicabilidad directa de los conocimientos y métodos en la búsqueda de soluciones concretas y tangibles, lo cual resulta fundamental para abordar los desafíos técnicos y operativos asociados con la automatización de equipos industriales. Este enfoque se alinea con el objetivo del proyecto de titulación de desarrollar e implementar un sistema automatizado eficiente y funcional para mejorar los procesos de secado en entornos industriales.

Para diseñar el sistema de control del secador de aire comprimido desecante regenerativo, se han aplicado métodos tanto teóricos como prácticos para garantizar su eficacia y funcionalidad. El enfoque adoptado en la programación se centra en información proporcionada en catálogo de fabricante del secador y en un control definido por temporización por etapas. Este último consiste en un sistema de control que utiliza tiempos específicos para regular la apertura o cierre de las válvulas de admisión o regeneración. De esta manera, se establecen intervalos precisos durante los cuales se suministra aire comprimido al material desecante en cada una de las torres del secador, asegurando así un proceso de secado óptimo y eficiente.

En la recolección de información para este proyecto, se han empleado principalmente técnicas de revisión documental y consulta directa a los fabricantes de los secadores de aire. Esta metodología se ha fundamentado en la obtención de datos precisos y detallados sobre el funcionamiento y las especificaciones técnicas del equipo existente. La razón principal detrás de esta recolección de información es la búsqueda por reducir costos de repuestos en los sistemas de control del proceso de secado de aire comprimido. A partir de la información recopilada, se ha desarrollado una propuesta de automatización que tiene como objetivo replicar las funciones y el desempeño del sistema de control original, con la ventaja añadida de ofrecer una solución más económica en términos de operación y mantenimiento. De esta manera, se busca garantizar que la nueva solución automatizada cumpla con los mismos estándares de calidad y eficiencia que el sistema previamente establecido por el fabricante, al tiempo que ofrece una reducción significativa en los costos operativos.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1 Aire Comprimido

El aire comprimido es básicamente aire que ha sido presurizado por encima de la presión atmosférica. Aunque es idéntico al aire que respiramos, se encuentra en un volumen más reducido y se mantiene bajo presión. La composición del aire incluye aproximadamente 78 % de N₂ (nitrógeno), 21 % de O₂(oxígeno) y alrededor de un 1-2 % de otros gases y vapor de agua.

El uso del aire comprimido en procesos rara vez puede ser utilizado directamente después de salir del compresor. Por lo general, se requiere al menos un proceso de filtración para eliminar el polvo y otros contaminantes, utilizando filtros colocados en diversos puntos de la red. Además, es necesario tratar el agua condensada mediante un secador de aire comprimido posterior a la etapa de compresión (González, 2016).

2.1.2 Punto de rocío

Este punto representa la temperatura necesaria para enfriar el aire hasta que el vapor de agua contenido en él condense y forme rocío o escarcha. A diferentes temperaturas, el aire tiene una capacidad máxima para retener humedad en forma de vapor, conocida como presión de saturación de vapor de agua.

El vapor de agua en el aire está estrechamente ligada al grado de humedad ambiental. Cuando la humedad relativa es 100%, el aire se satura y se llega a condensar en forma de rocío. Es importante destacar que la humedad relativa refleja la relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la máxima cantidad posible de vapor de agua a esa misma temperatura. Por ejemplo, si la humedad relativa es del 75% a 15°C, significa que el aire contiene el 75% de la máxima cantidad de vapor de agua que podría contener a esa temperatura. Cuando la humedad relativa alcanza el 100% a esa misma temperatura, se alcanza el punto de rocío (González, 2016).

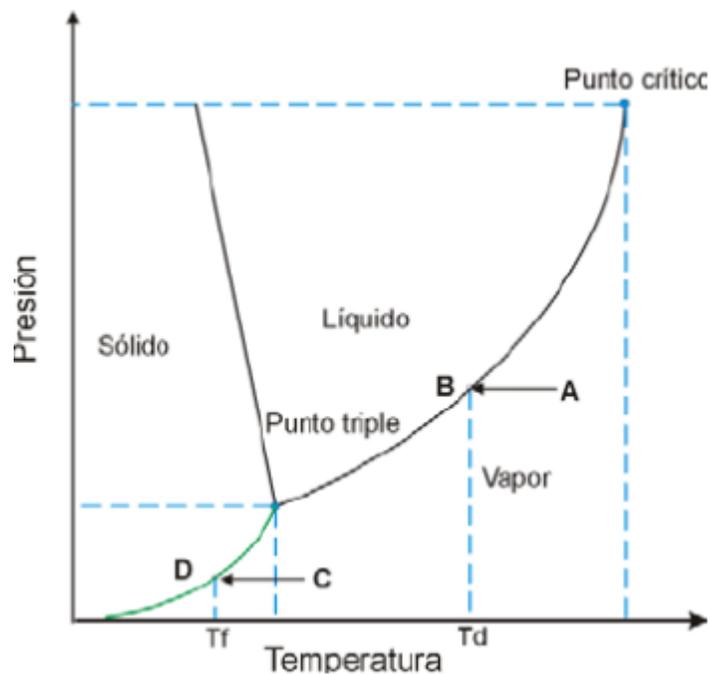
2.1.3 Temperatura de punto de rocío

La temperatura de rocío es el punto a partir del cual la humedad en el aire empieza a condensarse, pasando de estado gaseoso a líquido. Por ejemplo, si colocamos un vaso de agua caliente en una

habitación con una temperatura ambiente de 24°C y una humedad relativa del 50%, el agua del vaso se evaporaría gradualmente en el ambiente. Sin embargo, si enfriamos el vaso lentamente con hielo, cuando la temperatura de su superficie alcance los 13°C, el agua comenzará a condensarse en forma de gotitas. La humedad presente en la habitación también se condensará en el interior del vaso, lo que provocará un aumento en el nivel de agua. Esta temperatura, en la que el agua contenida en el aire se condensa en forma de gotitas, se denomina temperatura de punto de rocío del aire.

Figura 1

Diagrama de fase del agua B temperatura de rocío y D temperatura de escarcha



Nota. Adaptado de *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AIRE*, (González, 2016)

En la figura 1, se representa el diagrama de fase del agua aquí se visualiza que el punto de rocío no es constante, sino que varía en razón de la presión y temperatura. Este principio hace que a mayores presiones el aire no pueda mantener altos porcentajes de humedad ya que al obligar a las moléculas a

estar en menor espacio estas se atraen generando condensación; este principio es usado para la separación en secadores regenerativos en la fase de regeneración.

2.1.4 Punto de rocío en aire comprimido

El "punto de rocío a presión" se utiliza al determinar la temperatura de rocío de gases bajo presión mayor a la atmosférica. Se refiere a la temperatura en la cual un gas alcanza su punto de rocío a una presión específica. Se observa que al modificar la presión de un gas también se modifica su temperatura a la cual se produce punto de rocío.

Cuando se incrementa la presión de un gas, su temperatura de punto de rocío aumenta. Por ejemplo, si se duplica la presión atmosférica de un aire con un punto de rocío de -10 °C y una presión parcial de vapor de agua de 2,8 milibares, la presión parcial del vapor de agua también se duplica, elevándose a 5,6 milibares. Esto hace que la temperatura de punto de rocío correspondiente aumente a aproximadamente -1 °C, mostrando que al aumento de presión del aire también aumenta temperatura de punto de rocío. Por lo contrario, al expandir el gas comprimido a presión atmosférica, las presiones parciales, incluido el vapor de agua, disminuyen, resultando en una reducción del punto de rocío del gas.

$$P1 / P2 = a1 / a2$$

Dónde:

P2: presión después de la compresión.

a1: presión parcial de vapor de agua antes de la compresión.

a2: presión parcial de vapor de agua después de la compresión.

La relevancia del punto de rocío en aire comprimido depende de la aplicación. En ciertos casos, como el inflado de neumáticos o el uso de herramientas neumáticas con compresores portátiles, puede no ser crítico. Sin embargo, en otras situaciones, donde los conductos de aire pueden exponerse a temperaturas bajo cero, un punto de rocío elevado podría congelar y obstruir los conductos, afectando el rendimiento del sistema.

En numerosas fábricas modernas, el aire comprimido se utiliza en la operación de una variedad de equipos, algunos de los cuales podrían experimentar fallos si se produce condensación en sus componentes internos. Además, en algunos procesos sensibles al agua, como la pulverización de pintura,

requieren que el aire comprimido cumpla especificaciones particulares de secado. Un aire seco también contribuye a prolongar la vida útil de los mecanismos y componentes de la red de aire comprimido, ya que ayuda a prevenir la corrosión.

Finalmente, en aplicaciones médicas y farmacéuticas, el vapor de agua y otros gases pueden considerarse contaminantes, ya que se exige un alto nivel de pureza. (González, 2016).

2.1.5. Tipos de secadores de aire comprimido

Secador de aire comprimido Refrigerativo

El aire contiene agua, su capacidad de retención disminuye a temperaturas más bajas. Esta propiedad se utiliza en el proceso de secado del aire mediante sistemas de refrigeración. En primer lugar, el aire húmedo se enfría en un pre-enfriador para aprovechar la baja temperatura del aire que sale del proceso de secado. Luego, se introduce en el evaporador/secador del equipo, donde se enfría aún más hasta alcanzar una temperatura tan baja que ya no puede retener todo el vapor de agua. En este punto, el agua se separa del aire y se elimina continuamente a través de una trampa.

El aire enfriado y deshumidificado del secador intercambia calor con el aire entrante aprovechando su baja temperatura. Además, el secador está equipado con un control de capacidad adaptable que se ajusta al flujo de aire variable.

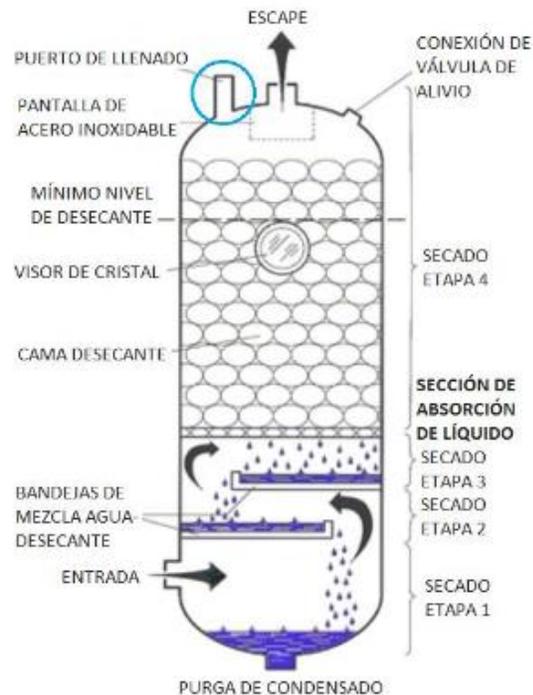
Secador de aire comprimido por desecante o absorción

En estos secadores se logran puntos de rocío de -40°C , -73°F o incluso más bajas, mediante el uso de desecantes sólidos que absorben la humedad del aire. El proceso implica que el aire comprimido pase a través de material desecante, el vapor de agua se adhiere a la superficie del desecante, el vapor de agua se extrae de los poros del desecante mediante regeneración. Estos secadores se utilizan para alcanzar temperaturas de punto de rocío inferiores a la temperatura de congelación del agua como se muestra en

la figura 2, que describe las características internas y externas de un secador de aire comprimido tipo desecante regenerativo.

Figura 2

Esquema de secador de aire comprimido por absorción



Nota. Adaptado de *Producción de agua destilada*, AYRFUL, 2022 (<https://www.ayrful.com.ar/wp-content/uploads/2022/06/Line-Vac-caso-de-exito-ayrful.jpg>).

2.1.6 Características del desecante (alúmina activada)

Se fabrica a partir de hidróxido de aluminio mediante un proceso de dehidroxilación que produce un alto grado de porosidad; este material puede tener un área superficial superior a 200 m²/g. Se utiliza extensamente como desecante para mantener la deshidratación en el aire, así como filtro para retener fluoruro (F), arsénico (As) y selenio (Se) en agua potable.

La Alúmina activada retiene agua en un 40% de su peso

Un gramo de alúmina tiene un área de superficie aproximada de 355 m² por libra.

El área superficial de las esferas desecantes presenta una textura muy irregular, con numerosas hendiduras o poros como se visualiza en la figura 3.

Figura 3

Alúmina activada



Nota. Adaptado de Alúmina activada, Disidri,2023 (https://www.silica-gel.it/782-medium_default/5-kg-alumina-activada-paquete-2-5-mm.jpg).

2.1.7 Secadores regenerativos

Los secadores regenerativos de desecante de dos torres representan una opción económica y fiable para eliminar la humedad del aire comprimido. Estos sistemas son conocidos por su eficacia en alcanzar puntos de rocío extremadamente bajos, incluso por debajo del punto de solidificación del agua. Funcionan mediante dos torres llenas de desecante particulado, como gel de sílice o alúmina activada, alternando entre la adsorción de humedad y la regeneración para mantener un suministro continuo de aire comprimido seco y de alta calidad. Su capacidad para reducir significativamente el contenido de humedad del aire comprimido es especialmente valiosa en aplicaciones críticas de procesos donde la presencia de humedad podría afectar la calidad de los productos o equipos. Además, al proporcionar puntos de rocío muy bajos, estos secadores son ideales para garantizar un rendimiento óptimo en una amplia variedad de aplicaciones industriales.

Estos secadores operan de forma ininterrumpida mediante el uso de dos torres idénticas, cada una de las cuales contiene su propio lecho de material desecante. Mientras una de las torres está en funcionamiento para secar el aire, la otra se encuentra fuera de servicio para regenerarse como se

presenta en las figuras 4 y 5, es decir, para eliminar la humedad acumulada. Las torres se alternan entre estar en línea y fuera de línea, garantizando así que siempre haya material desecante seco en contacto con el aire comprimido húmedo. Este proceso permite mantener un suministro constante de aire seco en la salida del secador.

El desecante se renueva mediante la eliminación del agua acumulada en su superficie. Los secadores de oscilación de presión (también conocidos como secadores sin calor o sin calentador debido a la ausencia de uso de calor externo) llevan a cabo este proceso regenerativo mediante la expansión de una porción del aire seco hasta alcanzar la presión atmosférica (aproximadamente el 14-15% a 100 psi-g, 6.9 baresg). Esta "oscilación de presión" provoca que el aire expandido se seque considerablemente, logrando una baja presión de vapor. Este aire extremadamente seco, denominado aire de purga, junto con el calor acumulado durante la absorción, facilita la expulsión de la humedad absorbida por el desecante. Posteriormente, el aire de purga transporta el agua expulsada fuera del secador.

Figura 5

Torre 4A en regeneración Torre 4B

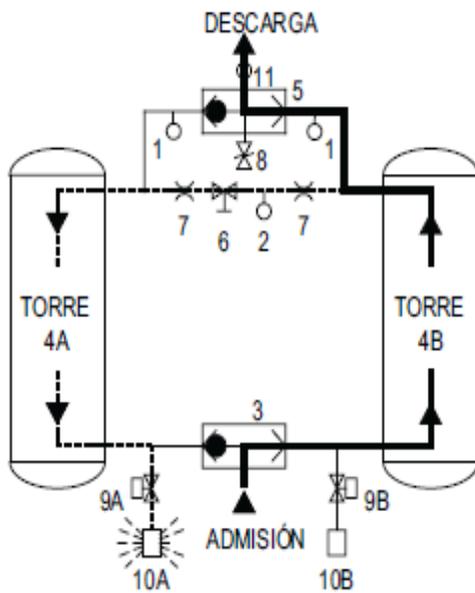
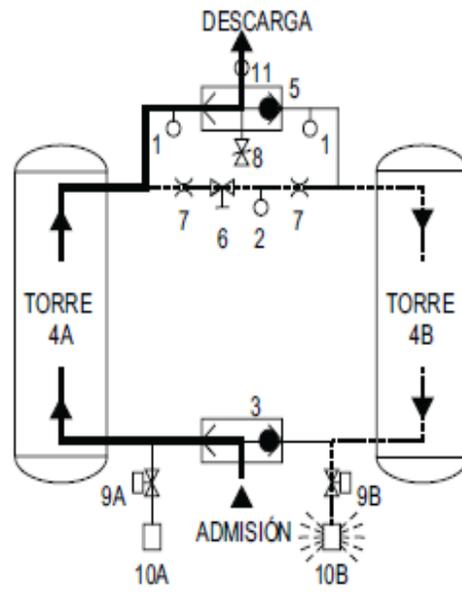


Figura 4

Torre 4A secando torre 4B en regeneración



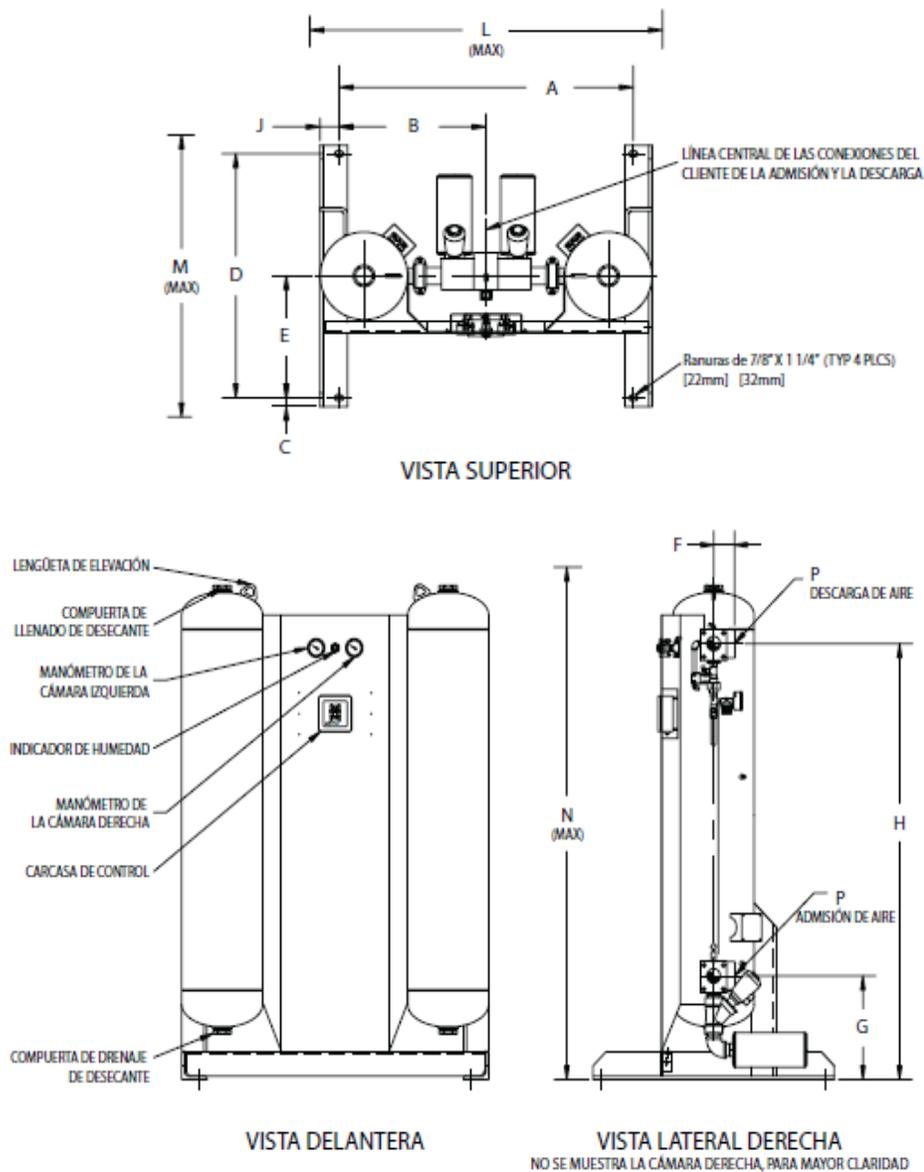
Nota. Adaptado de *MANUAL DE INSTRUCCIONES SERIE KAD (p.4), KAESER, 2011, (www.kaeser.com)*.

Componentes del sistema

Para una visión más clara y general del equipo secador de aire comprimido y sus componentes de operación en figuras 6 y 7 se presenta implantación del equipo.

Figura 6

Vista superior delantera y lateral derecha del secador



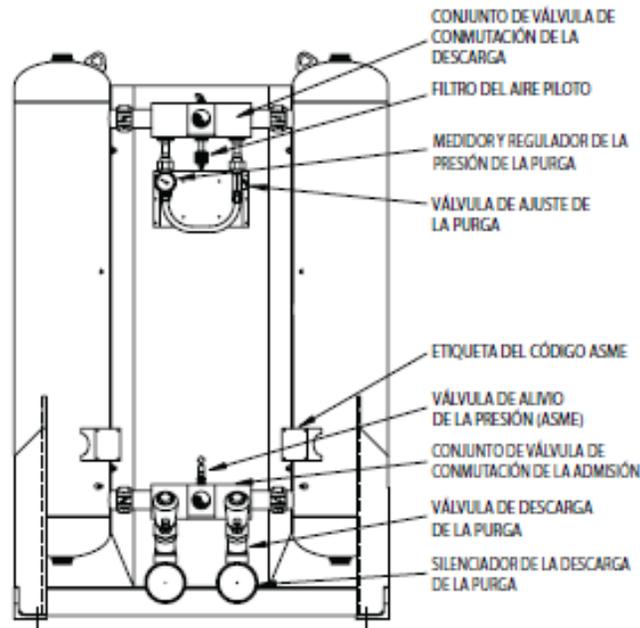
Nota.

Adaptado de
MANUAL DE

INSTRUCCIONES SERIE KAD (p.10),KAESER,2011,(www.kaeser.com).

Figura 7

Vista trasera de secador con detalle de componentes



VISTA TRASERA

Nota. Adaptado de *MANUAL DE INSTRUCCIONES SERIE KAD* (p.10),KAESER,2011,(www.kaeser.com).

Ubicación física

El secador requiere una protección adecuada en su parte superior, así como espacio suficiente alrededor para facilitar el reemplazo del desecante. Es fundamental que exista un espacio libre adecuado en la periferia del secador para que el personal de mantenimiento pueda acceder a todas las áreas, realizar inspecciones y realizar ajustes de rutina según sea necesario.

Condiciones de operación máximas y mínimas

Por lo general, las instalaciones de compresores están equipadas con dispositivos como inter enfriadores, post-enfriadores, separadores, receptores y otros equipos similares, que realizan un pretratamiento apropiado al aire comprimido antes de su entrada al secador. Esto se hace con el fin de prevenir el aumento excesivo de temperatura en el aire y evitar la presencia de líquidos arrastrados que puedan afectar el funcionamiento de los equipos aguas abajo.

Presión máxima de operación (PMO):

- 150 psig (10,3 baresg) es estándar.
- 250 psig (17,2 baresg) es opcional.

Consultado de datos en placa, serie del secador. (KAESER, 2018)

Presiones mínimas de operación:

Para los modelos de 150 psig (10,3 baresg) de PMO -- 60 psig (4,1 baresg) es la presión mínima de operación de los secadores que operan en las clases ISO 1, 2, 3 y 4. (KAESER, 2018)

Válvulas de aislamiento

Se instalan válvulas de aislamiento o derivación, es crucial asegurar que el equipo se presurice de manera gradual. Esta precaución es especialmente importante si se colocan válvulas de aislamiento antes y después de los pre-filtros y post-filtros, ya que una presurización rápida podría provocar una caída excesiva de presión entre los elementos filtrantes (KAESER, 2018).

Controlador – De temporizador

Esta sección en la tabla 1 y tabla 2; se suministra información acerca de la conexión, el ajuste y la operación del controlador de temporizador – Controlador de ciclo fijo. La información correspondiente relativa al controlador de nivel 1 – controlador de ciclo fijo y al controlador de nivel 2, que incluye el sistema ahorrador APSS de purga automática.

Tabla 1

Pasos de la secuencia del ciclo – Controlador de temporizador

Paso del programa	1	2	3	4	5	6	7	8
Estado de la torre izquierda	secando	secando	secando	secando	en regen.	en regen.	en regen.	en regen.
Estado de la torre derecha	en regen.	en regen.	en regen.	en regen.	secando	secando	secando	secando
Solenoides de la purga, izquierda	apagado	apagado	apagado	apagado	apagado	apagado	encendido	apagado
Solenoides de la purga, derecha	apagado	apagado	encendido	apagado	apagado	apagado	apagado	apagado
Válvula de la purga, izquierda	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	abierta	cerrada
Válvula de la purga, derecha	cerrada	cerrada	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada

Tabla 2*Temporizado del ciclo fijo – Controlador de temporizador*

PMO del secador	60- 150 psig (4,1 - 10,3 baresg)	120- 250 psig (8,3 - 17,2 baresg)
Clase ISO	2	2
Punto de rocío	-40 °C	-40 °C
	-40 °F	-40 °F
Lapso del ciclo (minutos)	10	10
Momento	Lapso desde el comienzo del ciclo (minutos:segundos)	Lapso desde el comienzo del ciclo (minutos:segundos)
t0	00:00	00:00
t1	00:02	00:02
t2	00:06	00:06
t3	04:12	04:12
t4	05:00	05:00
t5	05:02	05:02
t6	05:06	05:06
t7	09:12	09:12
t8	10:00	10:00
Información de referencia		
Lapso de la purga (m:s)	04:12	04:12
Lapso de re-presurización (m:s)	00:48	00:48

2.1.8 Automatización Industrial

Definición de automatización industrial y su importancia en los procesos industriales modernos

Automatización se refiere a un concepto general que se aplica a cualquier mecanismo con capacidad para moverse por sí mismo o que posee autodeterminación. La palabra "automatización" proviene de las antiguas palabras griegas Auto y Matos, que significan respectivamente: solo y movimiento.

La automatización en la industria implica uso de sistemas de control, incluidas computadoras y autómatas y robots programables, así como tecnologías de la información para gestionar diferentes procesos de producción y maquinaria en la industria. Esto se conoce como automatización industrial. Este enfoque busca minimizar la intervención manual al máximo, sustituyendo las operaciones de ensamblaje riesgosas con procesos automatizados.

La tarea de establecer un sistema de automatización industrial es aclarar las distintas etapas de su funcionamiento. En la figura 8 se muestra esquema jerárquico triangular que representa los tres niveles

comunes de un sistema de automatización industrial es la forma más simple y común de mostrar los niveles de automatización industrial

Figura 8

Niveles de automatización industrial



Nota. Adaptado de *Cómo funciona la Automatización Industrial*, AULA21,s.f,

[\(https://www.cursosaula21.com/\)](https://www.cursosaula21.com/).

Nivel supervisor

Dependiendo de los requisitos específicos de la empresa, se utiliza un dispositivo central en el nivel de supervisión. Este dispositivo puede ser una computadora industrial, una computadora de escritorio, un panel de control o un sistema en formato rack. Este dispositivo central está equipado con software especializado para supervisar los procesos industriales y funciona con un sistema operativo convencional.

El software de visualización tiene como objetivo supervisar operación para en caso que se requiera verificar fallos en equipos. El protocolo Ethernet Industrial se utiliza para la comunicación, que puede manifestarse como una red Gigabit LAN o usar cualquier topología inalámbrica, como WLAN.

Nivel de control

Todas las tareas relacionadas con la automatización se llevan a cabo en el Nivel de control, que se encuentra en una posición intermedia en la jerarquía. Para este propósito, se utilizan con frecuencia controladores lógicos programables o PLC, que tienen la capacidad de procesar en tiempo real.

Los controladores lógicos programables (PLC) suelen incluir microcontroladores de 16 o 32 bits y funcionan en un sistema operativo dedicado diseñado para satisfacer las necesidades en tiempo real. Estos dispositivos también pueden conectarse a múltiples dispositivos de entrada/salida (E/S) y comunicarse a través de una variedad de protocolos de comunicación industrial.

Nivel de campo

Los sensores y actuadores constituyen la capa más baja en la jerarquía de automatización. Estos dispositivos, que incluyen sensores que miden variables como temperatura, óptica y presión, así como actuadores como motores, válvulas e interruptores, se conectan a un PLC a través de un bus de campo. En la mayoría de casos, la comunicación entre un dispositivo en el terreno y su PLC se realiza mediante una conexión punto a punto.

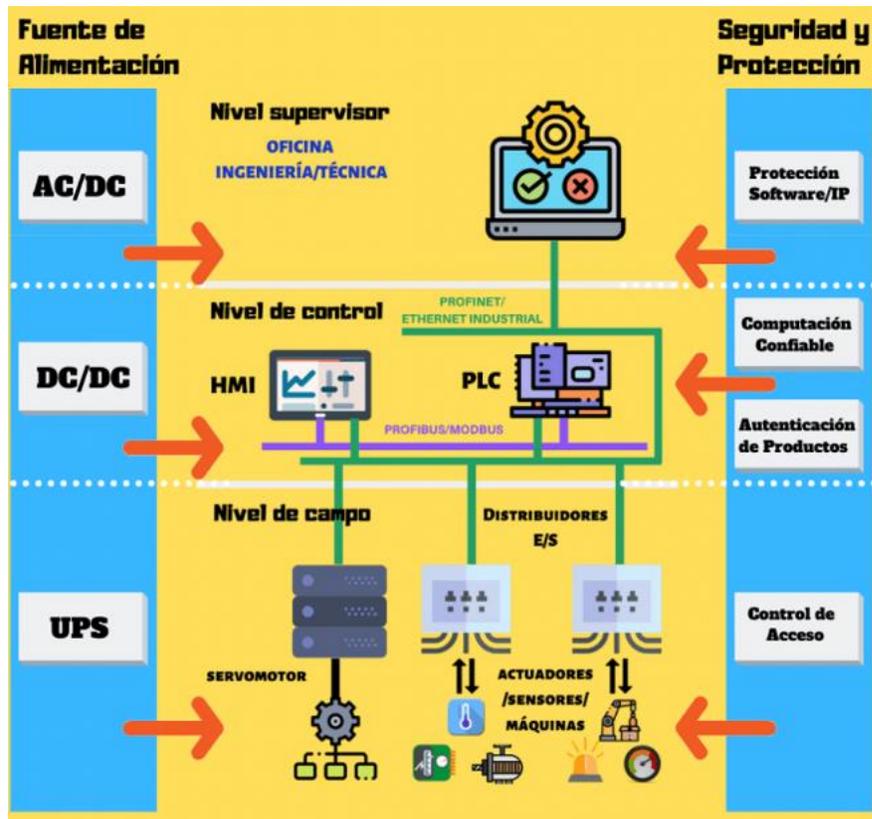
Para facilitar la comunicación, se emplean tanto redes cableadas como inalámbricas, permitiendo al PLC diagnosticar y parametrizar varios componentes. Además de los tres niveles jerárquicos mencionados, un sistema de automatización industrial requiere dos componentes esenciales: una fuente de energía industrial y protocolos de seguridad y protección.

Los requisitos de potencia de cada sistema en cada nivel jerárquico varían. Por ejemplo, los PLC funcionan con 24V DC, pero los motores más fuertes requieren corriente alterna monofásica o trifásica. Esto implica el uso de múltiples fuentes de alimentación para garantizar un funcionamiento sin problemas. Además, es crucial proteger el software que controla los PLC de cualquier alteración o intento de hackeo.

En la figura 9 se presenta la estructura de niveles y componentes de un sistema de automatización industrial básico: (AULA21, n.d.).

Figura 9

Esquema de sistema de automatización industrial básico



Nota. Adaptado de *Cómo funciona la Automatización Industrial*, AULA21,s.f,

(<https://www.cursosaula21.com/>).

La automatización industrial constituye una plataforma compuesta por una variedad de equipos y elementos interrelacionados, encargados de desempeñar diversas funciones fundamentales, como detección, control, supervisión y monitorización, todas vinculadas con los procesos industriales.

Equipos y herramientas de la automatización industrial

Sensores y actuadores

Los sensores tienen la función de convertir variables físicas de los procesos, como la temperatura, la presión y el caudal en señales eléctricas o neumáticas. En el objetivo de crear la salida de control, estas señales son empleadas para llevar a cabo procesos de procesamiento, análisis y toma de decisiones.

Se aplican diferentes estrategias de control con el objetivo de alcanzar la salida prevista, evaluando la variable del proceso detectada en relación con los valores de ajuste establecidos.

Los actuadores reciben salidas calculadas de los controladores, que se aplican como entradas de señales eléctricas o neumáticas. Estos últimos convierten estas señales en componentes físicos del proceso, tales como motores, relés y válvulas de control.

Controlador lógico programable (PLC)

Una parte importante de la automatización industrial es el controlador lógico programable (PLC). Como su nombre indica, es un dispositivo programable lógicamente que puede controlar múltiples dispositivos y realizar un cambio sencillo de procesos.

Además de ser resistente a temperaturas extremas, vibraciones e impactos, está especialmente diseñado para manejar una variedad de configuraciones.

Para esta aplicación se ha decidido el uso de un PLC LOGO de la marca SIEMENS. Aquí presentamos una información breve general de este dispositivo para control de procesos:

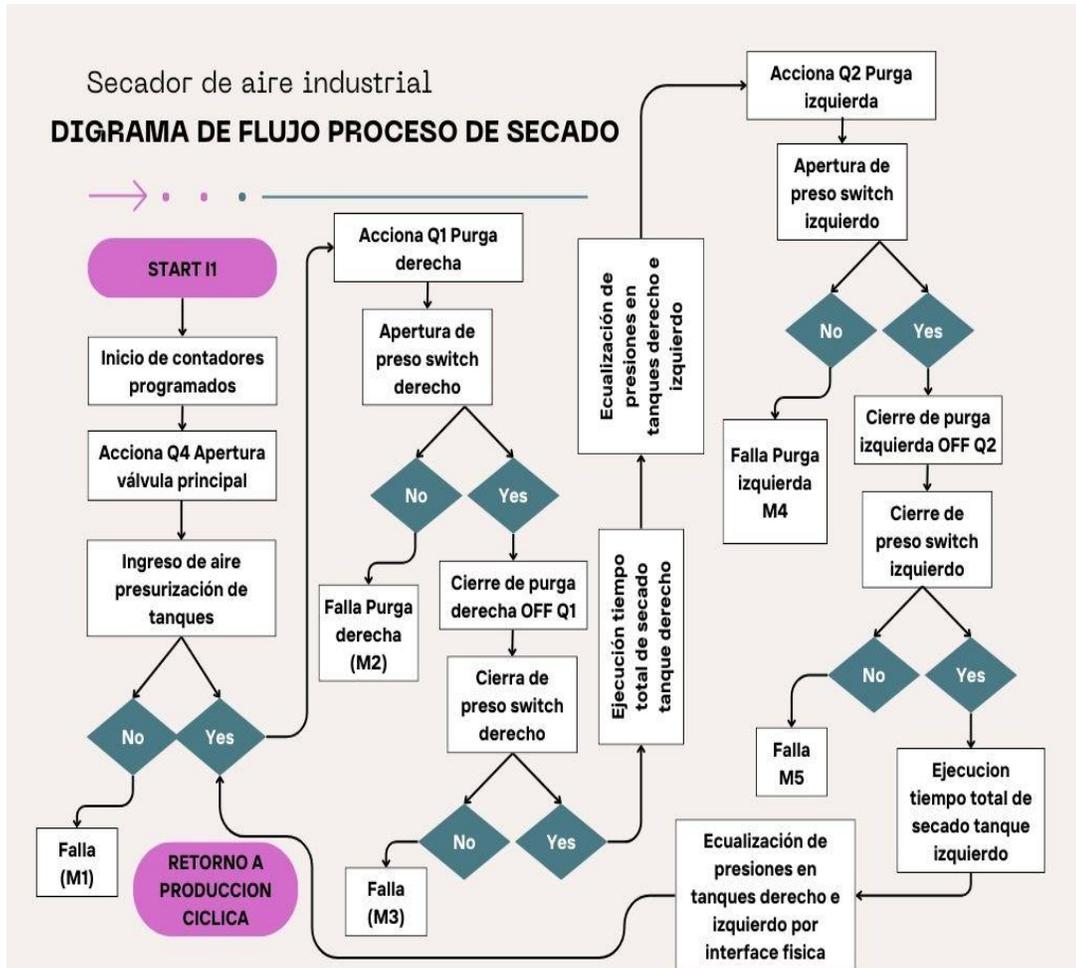
2.2 Descripción de la propuesta

a) Estructura general (ANEXO 1)

Para detallar la estructura general en la figura 10 se representa el diagrama de flujo para el proceso en un secador tipo desecante regenerativo; en el cual se resume la secuencia temporizada del proceso a ejecutar en la programación. Tiempos de secuencias que se basaron en los originales de la marca presentados en la tabla 2.

Figura 10

Diagrama de flujo de proceso automático de control



Nota. Diagrama de flujo de proceso secador de aire tipo desecante regenerativo

La propuesta para este sistema de control automático mediante PLC implica definir el sistema, seleccionar el PLC adecuado, diseñar el diagrama de control, programar el PLC, instalar y configurar el hardware, realizar pruebas y ajustes, y proporcionar documentación y formación.

a.1 Sistema de control más adecuado.

Para automatizar el secador de aire tipo desecante, se puede implementar un sistema de control que supervise y regule las diferentes variables para nuestro modelo operativo, el flujo de aire la presión y el ciclo de regeneración del desecante.

a.2 Control de Presión:

- Configurar un controlador de presión para mantener la presión del aire dentro del secador en estado óptimo.
- Ajustar los tiempos de actividad de la válvula de purga para controlar la presión según sea necesario.

a.3 Control del Ciclo de Regeneración del Desecante:

- Implementar un temporizador o un control basado en señales de los sensores para iniciar el ciclo de regeneración del desecante cuando sea necesario.
- Supervisar la saturación del desecante utilizando visor local de saturación de humedad del material desecante, activar el ciclo de regeneración de forma cíclica temporizada en cada uno de los tanques de exposición acorde a tiempos recomendados de fabricante de equipo.
- Controlar la válvula de entrada de aire de regeneración y la válvula de salida de aire húmedo para llevar a cabo el proceso de regeneración de manera eficiente.

a.4 Interfaz de Usuario y Visualización:

- Proporcionar una interfaz de usuario que permita visualizar el proceso automático del sistema en tiempo real.
- Mostrar, la presión y el estado del ciclo de operación y regeneración con visualización local dispuesta en manómetros locales.

a.5 Seguridad y Alarma:

- Implementar sistemas de seguridad para detectar y responder a condiciones anómalas, bajas presión, presión excesiva o fallas en los sensores.
- Configurar alarmas audibles o visuales que se produzcan en situaciones fuera de los límites establecidos.

a.6 Mantenimiento y Diagnóstico:

- Incorporar funcionalidades en el sistema para proporcionar información útil para el mantenimiento preventivo.
- Registrar datos históricos y realizar análisis para identificar tendencias y optimizar el rendimiento del secador a largo plazo.

b) Explicación del aporte

b.1 Re habilitación

La implementación de un nuevo sistema de control destinado a operar un secador de aire industrial de tipo desecante regenerativo radica en el tratamiento del aire presurizado suministrado, con el fin de proporcionar aire seco para su uso en las líneas de instrumentos destinadas al control de actuadores neumáticos. Este equipo se integra dentro de una infraestructura de suministro de aire comprimido, la cual se abastece mediante un compresor de tornillo, para proveer aire seco a las líneas de consumo de instrumentos y equipos instalados en el Terminal Monteverde. Dicha infraestructura, completamente automatizada, ha sido diseñada para la producción de GLP, con el objetivo de satisfacer la demanda de consumo en toda la zona Sur del Ecuador.

Al rehabilitar el secador de aire comprimido, se asegura la continuidad de las operaciones en el Terminal Marítimo Monteverde área del muelle Monteverde de EP PETROECUADOR, evitando interrupciones que podrían afectar la seguridad de las operaciones.

b.2 Reutilización de componentes originales

El diseño del sistema automático de control se adaptará para aprovechar la infraestructura existente de componentes instalados en el secador de aire tipo desecante regenerativo. Esto incluye electroválvulas y actuadores neumáticos específicos de la marca del equipo, en este caso, KAESER, así como sensores de presión tipo interruptor regulables y la instrumentación local para la visualización del proceso. Esta instrumentación local consta de cuatro manómetros de escala 200 psi de 2,5 pulgadas con un mando de ¼ de diámetro, un manómetro para la línea de eculización de escala 60 psi de 2,5 pulgadas

y un mando de ¼ de pulgada. También se incluye un visor local para alojar el material desecante, que permite visualizar físicamente el cambio de color debido a la saturación de humedad del material.

La reutilización de componentes originales del equipo KAESER permite optimizar recursos, evitando la necesidad de adquirir equipos completamente nuevos.

b.3 Algoritmo de programación

Para lograr similares resultados, se propone un programa de control basado en el uso de un PLC LOGO un algoritmo de programación igual al original de la marca. Esta elección nos permite consolidar los conocimientos adquiridos en electrónica de control y programación de PLC, además de fomentar el autoaprendizaje mediante las plataformas dispuestas específicamente para la programación del autómatas. Asimismo, se emplearán aplicaciones de visualización de la marca, las cuales facilitarán la validación del proceso automático implementado.

Para evaluar el desempeño logrado con el nuevo sistema de control se propondrá ejecutar mediciones y análisis del desempeño del secador de aire trabajando en sitio bajo el nuevo sistema de control, comparando con datos previos esto ayudará a estableciendo mejoras en el programa a futuro si fuera necesario.

Al ejecutar la misma secuencia de secado garantizando la misma calidad que el sistema original, se preserva la calidad del aire comprimido producido, lo que es crucial para el funcionamiento eficiente y seguro de los equipos e instrumentos en el Terminal Marítimo Monteverde.

Una vez implementado el sistema de control operativo, este equipo se considerará autónomo y requerirá solo supervisión ocasional por parte del operador, principalmente para labores de mantenimiento programadas según las horas de funcionamiento.

b.4 Capacitación de personal

La capacitación del personal en el uso y mantenimiento del nuevo sistema de control garantiza una operación adecuada y segura a largo plazo. Además, la documentación completa del proceso facilita futuras actualizaciones y mantenimientos.

Esta actividad implica la transferencia de conocimientos.

Aactividades involucradas que permiten la construcción del conocimiento en este proyecto:

Implementación del sistema de control:

- Esta actividad permite aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en electrónica de control y programación de PLC en una aplicación real práctica.
- Brinda la oportunidad de enfrentarse a desafíos reales relacionados con la implementación del nuevo sistema de control en la infraestructura existente.
- A través de la resolución de problemas y la experimentación, los estudiantes profundizan su comprensión de los conceptos teóricos y su aplicación práctica.

Pruebas de funcionamiento:

- Al llevar a cabo pruebas de funcionamiento en condiciones simuladas y reales, los estudiantes pueden verificar la efectividad del sistema de control y detectar posibles errores o áreas de mejora.
- Les permite comprender cómo los sistemas de control interactúan con el equipo industrial y cómo se comportan en diferentes situaciones y condiciones.
- Fomenta el desarrollo de resolución de problemas y trabajo en equipo identificando soluciones de problemas técnicos.

Validación del proceso automático:

- Esta actividad implica la comparación de los resultados obtenidos con estándares de calidad y seguridad establecidos para el proceso automatizado.
- Analizar y evaluar datos para determinar si el proceso automatizado cumple con los requisitos establecidos.
- Brinda oportunidad de reflexionar en la importancia de la validación y la conformidad con las normativas existentes para el diseño y la implementación de sistemas automatizados.

Evaluación del desempeño del equipo:

- Al realizar mediciones y análisis del desempeño del equipo, se pueden identificar posibles problemas y áreas de mejora a futuro para el sistema de control.
- Les ayuda a comprender la importancia de la evaluación continua y el mantenimiento para garantizar el rendimiento óptimo del equipo industrial.
- Fomenta el desarrollo de habilidades analíticas y la capacidad para interpretar datos técnicos para la toma de decisiones informadas.

b.5 Evaluación del impacto económico

- Al analizar el impacto económico del sistema de control implementado, los estudiantes pueden comprender mejor cómo las decisiones técnicas afectan a los aspectos financieros de un proyecto.
- Les ayuda a desarrollar habilidades de análisis costo-beneficio y a evaluar el retorno de la inversión en tecnologías y sistemas industriales.
- Fomenta una comprensión más completa de las implicaciones comerciales y financieras de las decisiones técnicas en el contexto de la ingeniería industrial.

c) Estrategias y/o técnicas

A continuación, se describen las estrategias y técnicas utilizadas en el diseño del sistema automático de control basadas en uso de componentes originales del equipo, así como en comprensión y aplicación de la filosofía de control definida en catálogos de fabricantes y su aplicación en el diseño con uso de software dedicados de la marca SIEMENS tanto para equipo físico, software de programación y software para diseño de aplicación Web. Estas medidas se tomaron con el fin de garantizar la compatibilidad tecnológica de los sistemas y evitar posibles contratiempos relacionados con la falta de compatibilidad entre ellos.

c.1 Equipos y programas a utilizar

c.1.1 Controlador lógico programable LOGO.

¡LOGO! es un versátil módulo lógico desarrollado por Siemens que integra una amplia gama de funciones en un único dispositivo. Incluye una fuente de alimentación integrada, un panel HMI (Interfaz

Hombre-Máquina), módulos de expansión tanto para entradas como salidas, así como diversas funciones estándar pre configuradas. Esto lo convierte en una solución completa y práctica para la automatización de procesos, ofreciendo flexibilidad y facilidad de uso en aplicaciones industriales y comerciales. (SIEMENS, 2019)

LOGO! 12/24 RCE

LOGO! dispone de 8 entradas digitales y 4 salidas digitales integradas. Estas entradas y salidas pueden ser configuradas para adaptarse a diferentes necesidades de aplicación. Suficiente para nuestra necesidad.

c.1.2 LOGO! Soft Confort versión 8.4.

LOGO! Soft Confort versión 8.4 es un software desarrollado por Siemens para programar los controladores lógicos programables (PLC) de la serie LOGO!. Con una interfaz fácil de usar, esta versión ofrece herramientas avanzadas para diseñar, programar y simular aplicaciones de control de manera eficiente. Incluye funciones predefinidas y herramientas de simulación LWE (LOGO! Web editor) para crear sistemas de control precisos y eficientes de forma rápida y sencilla.

c.1.3 Fuente DC 24 Voltios.

Las fuentes de alimentación son compactas y ofrecen diversos voltajes de salida, haciéndolas ideales para diversas aplicaciones de baja potencia. Para nuestro caso, emplearemos una fuente con entrada de 120VAC y salida de 24VDC, con una capacidad de corriente de 5 amperios.

c.1.4 Router para comunicación PLC y HMI

Por facilidad de tamaño se utilizará un router CNT. Ingresar al equipo CNT es sencillo, se debe digitar la IP (**192.168.1.1**) en un navegador web – browser.

c.1.5 Electroválvulas

TAILONZ PNEUMATIC 1/4 pulgada NPT 24V 2 posición 2 manera normalmente cerrada electromagnética válvula de aire 2V025-08 caja de conexiones mismas que se utilizan como válvulas de purga para regeneración del material desecante.

c.1.6 Peso switch

El interruptor de presión consta de un elemento sensor que está expuesto a la presión del fluido y un mecanismo de conmutación eléctrica. Cuando la presión alcanza un umbral específico, el elemento sensor activara el mecanismo de conmutación, que puede abrir o cerrar un circuito eléctrico, dependiendo de la configuración del interruptor. Esto será utilizado para retroalimentar al PLC que el proceso está ejecutándose correctamente.

c.2 Conexionado físico hacia PLC LOGO (ANEXO 2)

En función de disponibilidad básica de entradas y salidas disponibles en PLC LOGO se dispuso el conexionado como se indica en la figura 11:

Figura 11

Diagrama de conexionado eléctrico de PLC entradas y salidas

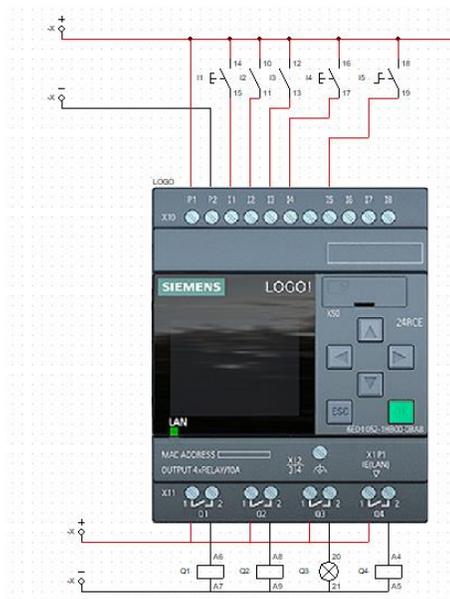
Referencias:

Entradas 24 VDC:

- I1: Pulsante de inicio
- I2: Preso switch derecho
- I3: Peso switch izquierdo
- I4: Botonera Reset
- I5: Paro de emergencia

Salidas:

- Q1: Solenoide purga derecho
- Q2: Solenoide purga izquierda
- Q3: Luz indicador Fallo
- Q4: Solenoide Válvula Principal salida aire seco.



Nota. Diagrama de conexiones diseñado en programa CAde SIMU

c.3 Diseño de conexionado de red para uso de aplicativo LWE (LOGO Web Editor)

Este diseño de conexión de red establece una infraestructura de comunicación eficiente que permita la interacción entre un PLC (Controlador Lógico Programable) Logo de Siemens, un Router CNT,

una computadora laptop y un Smartphone. Esta configuración facilitó el acceso a una aplicación diseñada en el Logo Web Editor de Siemens, lo que permitió la supervisión y el control remoto de dispositivos conectados al PLC LOGO.

Componentes Utilizados:

- 1** PLC Logo de Siemens.
- 2** Router CNT compatible con redes Ethernet.
- 3** Computadora laptop con capacidad para ejecutar el Logo Web Editor de Siemens.
- 4** Smartphone con acceso a la aplicación Siemens Logo Web Editor.

Procedimiento ejecutado:

Configuración del PLC Logo:

- Conectar el PLC Logo a través de un cable Ethernet al puerto LAN del Router CNT. Asegúrese de que el PLC Logo esté encendido y funcione correctamente.
- Configure la dirección IP del PLC Logo según los requisitos de su red local. Se recomienda asignar una dirección IP estática para garantizar la estabilidad de la conexión.

Configuración del Router CNT:

- Conectar el Router CNT a la red eléctrica y encenderlo.
- Conectar el Router al módem de Internet utilizando un cable Ethernet.
- Configure el Router según las especificaciones proporcionadas por su proveedor de Internet (ISP). Asegúrese de que el Router proporcione una conexión a Internet estable y segura.

Conexión de Dispositivos Móviles y Computadora Laptop:

- Conectar la computadora laptop y el Smartphone a la red Wi-Fi proporcionada por el router CNT. Verifique que ambos dispositivos estén enlazados a la misma red. que el PLC Logo y el resto de los dispositivos para nuestro caso creamos la red LOGOSOTO.

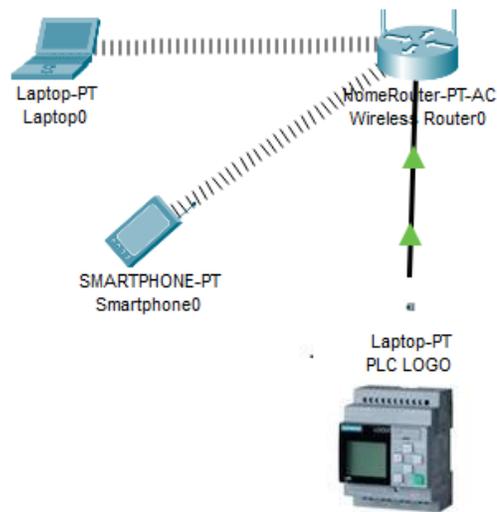
Acceso a la Aplicación Logo Web Editor:

- Abra un navegador web en la computadora laptop y escriba la dirección IP del PLC Logo en la barra de direcciones.
- Inicie sesión en el Logo Web Editor utilizando las credenciales apropiadas.
- Una vez dentro del Logo Web Editor, podrá acceder y controlar los dispositivos conectados al PLC Logo desde la computadora laptop o el Smartphone.

c.4 Grafica de diseño del conexionado de red realizado para uso de aplicación LWE Siemens.

Figura 12

Conexionado de red realizado para uso de aplicación LWE Siemens



Nota. Diseño realizado en Cisco Packet Tracer

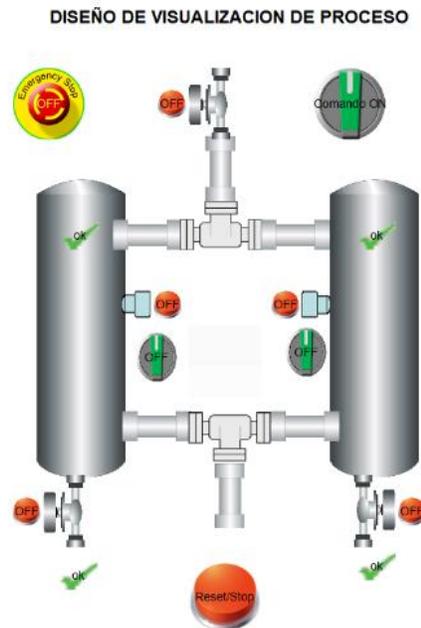
En la figura 12 se presenta conexión de componentes de red realizado para la comunicación de dispositivos utilizados en el proyecto

c.5 Diseño de aplicación en LWE Siemens para proceso de secado de aire en equipo. (ANEXO 4)

Con el uso del aplicativo LOGO Web Editor se realiza diseño de aplicación para visualización de proceso operativo de secado de aire comprimido el cual se presenta en figura 13.

Figura 13

Diseño de aplicación de visualización de proceso en LWE



Nota: Diseño realizado en LOGO Web Editor

c.6 Diseño de programa para manejo de entradas y salidas dispuestas en PLC LOGO.

Este programa representa un avance significativo en la automatización industrial, aprovechando las capacidades avanzadas de LogoSoft Comfort 8.4 para ofrecer soluciones actuales técnicas y eficientes en el control de procesos y la supervisión industrial.

Elementos Utilizados en el Programa Desarrollado en LogoSoft Comfort 8.4

En el programa desarrollado en LogoSoft Comfort versión 8.4, hemos empleado una variedad de elementos de programación para lograr la funcionalidad deseada en el proceso industrial. Estos elementos incluyen:

Bloques de Compuertas Lógicas: Utilizamos bloques de compuertas lógicas, como AND, OR y NOT, para realizar operaciones lógicas complejas que controlan el flujo de datos y decisiones dentro del programa.

Temporizadores con Ejecución al Retardo: Implementamos temporizadores con ejecución al retardo para controlar el tiempo de espera entre eventos específicos, asegurando que las acciones se

realicen en el momento adecuado dentro del proceso.

Marcas para Ejecución en Aplicativo del Logo Web Editor: Incorporamos marcas específicas dentro del programa para activar la ejecución de acciones dentro del aplicativo desarrollado en el Logo Web Editor. Estas marcas permiten la interacción entre el programa PLC y la interfaz de usuario del aplicativo web.

Mensajes de Texto: Integramos mensajes de texto para comunicar información relevante sobre el estado del proceso o para proporcionar instrucciones al personal de operaciones. Estos mensajes son una parte importante de la interfaz hombre-máquina (HMI) del sistema.

Módulos de Enclavamiento: Utilizamos módulos de enclavamiento de esta manera se garantiza la seguridad e integridad del proceso, evitando condiciones de carrera y conflictos entre diferentes partes del programa.

Memorias Set/Reset: Implementamos memorias set/reset para mantener el estado de ciertas variables o condiciones a lo largo del programa, permitiendo un control más preciso y coherente de las operaciones.

Estos elementos de programación, combinados con las capacidades avanzadas de LogoSoft Comfort, versión definida en figura 14, han permitido el desarrollo de un programa robusto y eficiente que cumple con los requisitos específicos del proceso industrial en cuestión. La integración de estos elementos proporciona un control preciso y confiable, contribuyendo a la optimización del rendimiento y la productividad en el entorno de automatización industrial.

Figura 14

Versión de LOGO Soft Confort V8.4 Utilizada en la programación



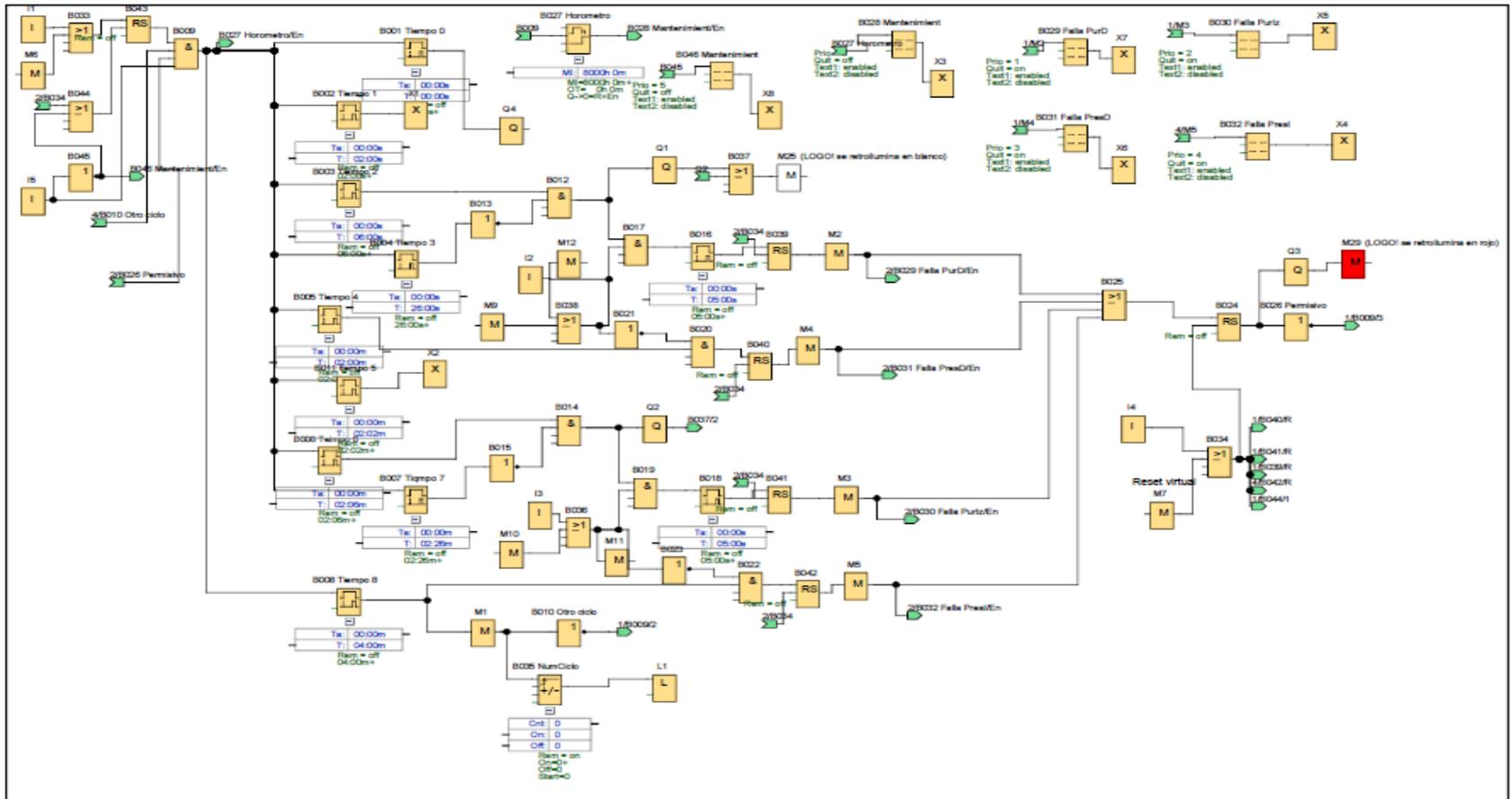
Nota. Adaptado de Catalogo LOGO Soft Confort V8.4, SIEMENS, 2023

c.6.1 Programa realizado y cargado al PLC LOGO (ANEXO 3)

Figura 15

Programa ejecutado en LOGO Soft Confort V8.4

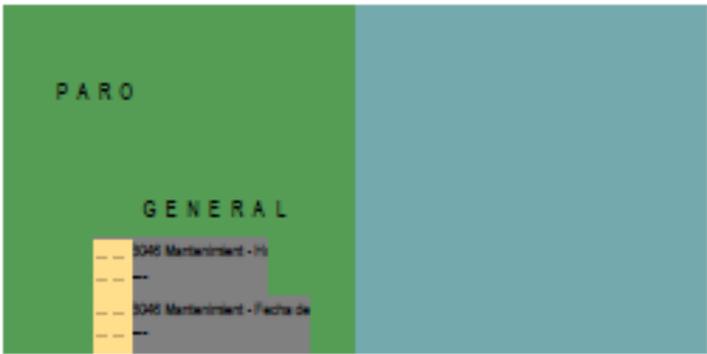
Dirección del módulo	
Dirección IP	192.168.1.105
Máscara de subred:	255.255.255.0
Pasarela predeterminada	192.168.1.1



Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:	
Comprobado:		Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	2/3/24 8:11/8/3/24 10:30	archivo:	Esquema eléctrico2.lsc	Página:	2 / 8

Número de bloque (tipo)	Parámetro																		
B001 Tiempo 0(Retardo a la conexión) :	Rem = off 00.00s+																		
B002 Tiempo 1(Retardo a la conexión) :	Rem = off 02.00s+																		
B003 Tiempo 2(Retardo a la conexión) :	Rem = off 05.00s+																		
B004 Tiempo 3(Retardo a la conexión) :	Rem = off 25.00s+																		
B005 Tiempo 4(Retardo a la conexión) :	Rem = off 02.00m+																		
B006 Tiempo 6(Retardo a la conexión) :	Rem = off 02.00m+																		
B007 Tiempo 7(Retardo a la conexión) :	Rem = off 02.20m+																		
B008 Tiempo 8(Retardo a la conexión) :	Rem = off 04.00m+																		
B011 Tiempo 5(Retardo a la conexión) :	Rem = off 02.02m+																		
B016(Retardo a la conexión) :	Rem = off 05.00s+																		
B018(Retardo a la conexión) :	Rem = off 05.00s+																		
B024(Relé autoencendido) :	Rem = off																		
B027 Horometro(Contador de horas de funcionamiento) :	M=8000h.0m+ OT= 0h.0m Q->0-R+En																		
B028 Mantenimient(Texto de aviso):	<pre> Prio = 0 Cut = off Text1: enabled Text2: disabled Configuración del ticker - Cbc - Line1 N - Line2 N - Line3 N - Line4 N - Line5 N - Line6 N Destino de aviso - Display de LOGO! </pre>																		
																			
<table border="1"> <tr> <td>Autor:</td> <td>Usuario</td> <td>Proyecto:</td> <td></td> <td>Cliente:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Comprobado:</td> <td></td> <td>Instalación:</td> <td></td> <td>MP diagrama:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha de creación/mod:</td> <td>2022/11/03 10:30</td> <td>archivo:</td> <td>Esquema eléctrico2.doc</td> <td>Página:</td> <td>4 / 8</td> </tr> </table>		Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:		Comprobado:		Instalación:		MP diagrama:		Fecha de creación/mod:	2022/11/03 10:30	archivo:	Esquema eléctrico2.doc	Página:	4 / 8
Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:															
Comprobado:		Instalación:		MP diagrama:															
Fecha de creación/mod:	2022/11/03 10:30	archivo:	Esquema eléctrico2.doc	Página:	4 / 8														

Número de bloque (tipo)	Parámetro
<p>B029 Falla PurD(Texto de aviso) :</p>  <p>Line 3 B029 Falla PurD-EnableTime</p>	<p>Prio = 1 Out = on Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CBR - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N</p> <p>Destino de aviso - Display de LOGO!</p>
<p>B030 Falla PurIz(Texto de aviso) :</p> 	<p>Prio = 2 Out = on Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CBR - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N</p> <p>Destino de aviso - Display de LOGO!</p>
<p>B031 Falla PresD(Texto de aviso) :</p> 	<p>Prio = 3 Out = on Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CBR - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N</p> <p>Destino de aviso - Display de LOGO!</p>
<p>Autor: Usuario</p> <p>Comprobado:</p> <p>Fecha de creación/no: 2024/11/03/24 15:30</p>	<p>Proyecto:</p> <p>Instalación:</p> <p>archivo: Esquema eléctrico2.doc</p> <p>Cliente:</p> <p>NP diagrama:</p> <p>Página: 5 / 8</p>

Número de bloque (Tipo)	Parámetro			
<p>B032 Falla Presi(Texto de aviso):</p> 	<p>Prio = 4 Out = on Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CSC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N - Line7: N - Line8: N - Line9: N - Line10: N</p> <p>Destino de aviso - Display de L0001</p>			
<p>B035 NumCiclo(Contador adelante/atrás):</p>	<p>Rem = on Op=0+ Off=0 Start=0</p>			
<p>B039(Relé autoendavador):</p>	<p>Rem = off</p>			
<p>B040(Relé autoendavador):</p>	<p>Rem = off</p>			
<p>B041(Relé autoendavador):</p>	<p>Rem = off</p>			
<p>B042(Relé autoendavador):</p>	<p>Rem = off</p>			
<p>B043(Relé autoendavador):</p>	<p>Rem = off</p>			
<p>B046 Mantenimient(Texto de aviso):</p>  <p>Line5 B046 Mantenimient-EnableTime Line6 B046 Mantenimient-EnableDate</p>	<p>Prio = 5 Out = on Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CSC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N - Line7: N - Line8: N - Line9: N - Line10: N</p> <p>Destino de aviso - Display de L0001</p>			
<p>MZM(Resp): Resp: Virtual</p>				
<p>Autor:</p>	<p>Usuario</p>	<p>Proyecto:</p>	<p>Cliente:</p>	<p>Comprobado:</p>
<p>Fecha de creación/Mod:</p>	<p>00000:11/03/24 10:30</p>	<p>Instalación:</p>	<p>archivo:</p>	<p>Esquema eléctrico.iss Página: 6 / 8</p>

Conector	Rotulación				
I1					
I2					
I3					
I4					
I5					
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
M6					
M7					
M9					
M10					
M11					
M12					
M25	LOGO! se retroilumina en blanco				
M29	LOGO! se retroilumina en rojo				
Q1					
Q2					
Q3					
Q4					
X1					
X2					
X3					
X4					
X5					
X6					
X7					
Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:	
Comprobado:		Instalación:		NP diagrama:	
Fecha de creación:	2024/11/03/04 10:30	archivo:	Esquema eléctrico2.doc	Página:	7 / 8

2.3 Validación de la propuesta

Para seleccionar a los expertos evaluadores de esta propuesta, se han considerado los siguientes criterios: una sólida formación académica en el área de implementación, experiencia laboral y/o académica relevante, así como su participación previa en proyectos similares. Además, se ha dado prioridad a la colaboración del personal interesado en aprender sobre esta implementación, abarcando áreas mecánicas, eléctricas, de instrumentación y control, dentro del equipo de mantenimiento del Terminal Marítimo Monteverde de la EP PETROECUADOR.

La tabla 3 proporciona detalles exhaustivos sobre los actores escogidos para la validación del modelo y la tabla 4 los criterios de validación manejados en la calificación.

Tabla 3

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Jorge Luis Lara Chiriboga	18	Ingeniero electrónico de Control	Supervisor Eléctrico de Automatización y control EPPETROECUADOR
Juan Carlos Góngora Mosquera	14	Ingeniero eléctrico en potencia	Supervisor Eléctrico de Automatización y control EPPETROECUADOR
Maryory Urdaneta Herrera	20	PhD en Ingeniería eléctrica	Profesor Titular

Tabla 4

Criterios de valuación

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Tabla 5

Descripción de perfil validador 1

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Jorge Luis Lara Chiriboga	18	Ingeniero electrónico de Control	Supervisor Eléctrico de Automatización y control EPPETROECUADOR

Tabla 6

Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Jorge Luis Lara Chiriboga

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Firma: Firmado electrónicamente por:
JORGE LUIS LARA CHIRIBOGA
Razón: Certificado Sistema Automático Control Secador S-2312B
Localización: Fue implementado en Terminal Monteverde
Fecha: 2024-03-09T11:59:47.521064-05:00

En Tabla 5 y Tabla 6 se presenta datos de validación de propuesta y resultados de calificación de acuerdo a criterios presentados; del Ing. Jorge Luis Lara Chiriboga.

Tabla 7

Descripción de perfil validador 2

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Juan Carlos Góngora Mosquera	14	Ingeniero eléctrico en potencia	Supervisor Eléctrico de Automatización y control EPPETROECUADOR

Tabla 8

Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Juan Carlos Góngora Mosquera

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Firma:



Firma electrónicamente por:
JUAN CARLOS GÓNGORA
MOSQUERA

En Tabla 7 y Tabla 8 se presenta datos de validación de propuesta y resultados de calificación de acuerdo a criterios presentados del Ing. Juan Carlos Góngora.

Tabla 9

Descripción de perfil validador 3

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Marjory Urdaneta Herrera	20	PhD en Ingeniería eléctrica	Profesor Titular

Tabla 10

Escala de evaluación. Elaborada por: PhD. Marjory Urdaneta Herrera

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Firma:



En las tablas 9 y 10 se presenta datos de validador de propuesta y resultados de calificación de acuerdo a criterios presentados de la PhD. Marjory Urdaneta Herrera.

Tras analizar los resultados obtenidos de la evaluación de cada punto propuesto, los validadores muestran un total respaldo al proyecto realizado. Se observa una alta aceptación por parte de los especialistas que han aprobado la propuesta de cambio del sistema automático de control, el cual ofrece alternativas más económicas y promueve el desarrollo tecnológico del personal interesado en su implementación. Además, se destaca el potencial de aplicar estos enfoques a otros sistemas existentes en las instalaciones del Terminal Monteverde.

Los resultados sugieren continuar fomentando iniciativas similares que impulsen el conocimiento y el desarrollo de alternativas para otros procesos. Esto no solo beneficiará al personal interesado en estas aplicaciones de vanguardia, sino que también contribuirá al crecimiento profesional en este ámbito.

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la Tabla 11 se presente matriz que sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 11

Matriz de articulación

	Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1	Definición: Los elementos electrónicos y de control, junto con las variables de entrada y salida, conforman la infraestructura principal para la automatización y control eficiente del secador de aire industrial tipo desecante regenerativo.	Conocimiento base de funcionamiento de componentes utilizados electroválvulas actuadores neumáticos, interruptores de presión preso switch, selección de elementos locales de medición de presión manómetros y comprensión de funcionamiento de material desecante	Diseño Básico de red ethernet y comunicación de dispositivos Matemáticas Aplicadas Comunicaciones Inalámbricas Diseño y visualización de procesos en LOGO Web editor. Conocimiento base de control industrial, compuertas lógicas, memorias de enclavamiento etc.	Se partió de la necesidad de diseño de un nuevo sistema de control por lo cual se re utilizó los mismos componentes del diseño original de la marca KAESER a ser manejado ahora con un sistema diseñado por PLC LOGO V8
2	Diseño: Circuito electrónico, de control, compatibilidad de componentes y aplicaciones, programación afín a base teórica operativa consultada en catálogos de fabricante y componentes disponibles	Acorde a la decisión de uso de PLC LOGO todo lo demás se definió en función de potencialidad de este equipo, compatible con software aplicado de programación y de visualización no existieron inconvenientes de compatibilidad	Manejo de programación PLC LOGO en Software LOGO Soft Confort V8.4 Teoría de control industrial Diseño de aplicativo Web en software dedicado SIEMENS (LOGO Web Editor). Fundamento operativo definido en Catálogos de fabricante KAESER	Se dio uso de herramientas propias diseñadas para PLC LOGO V8, ya que las mismas harían que se explote toda su potencialidad de diseño

3	Implementación: adquisición de PLC LOGO, elementos de conexionado para diseño de tablero de control, fuentes necesarias acorde a los componentes existentes, elementos de señales de entrada necesarios físicos, selección de método de comunicación WIFI para comunicación de aplicación y visualización en Web Server	Disposición y compatibilidad de componentes, se procede al diseño de conexionado físico sin novedades relevantes, se optimiza espacios para el tablero de control con el fin de poder instalarlo en dimensión similar al original. Pruebas de conectividad de componentes OK, operatividad del programa con los componentes físicos OK	Instalaciones eléctricas industriales Cableado estructurado Teoría de redes de comunicaciones Protocolos de comunicación TCIP y WIFI	La parte física realizada de conexionado estuvo acorde a la necesidad de ejecución programada y siguiendo las normativas de seguridad básicas de circuitos de control eléctrico y electrónicos
---	---	--	---	--

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Se tuvo resultados satisfactorios de la implementación del sistema de control mediante PLC LOGO en el secador de aire industrial tipo desecante regenerativo, basado en el uso de componentes originales de la marca KAESER y software propio de LOGO para programación y visualización del proceso:

Se logró una mejora significativa en la eficiencia del secador de aire, gracias a la integración de los componentes originales de la marca KAESER con el sistema de control basado en PLC LOGO. Esto permitió una gestión más precisa y eficaz del ciclo de desecación, optimizando el consumo de energía y mejorando la calidad del aire seco producido.

La selección de componentes originales de la marca KAESER garantizó una perfecta integración operativa con el sistema de control nuevo basado en PLC LOGO. Además, el uso de software dedicado como LOGO Soft Confort V8.4 y LOGO Web Editor facilitó la programación y la visualización del proceso, asegurando una operación fluida y confiable del sistema.

Facilidad de programación y visualización: El uso de LOGO Soft Confort y LOGO Web Editor proporcionó una interfaz amigable y accesible para la programación y visualización del proceso de desecación del aire. Esto permitió al personal técnico realizar ajustes y modificaciones en el sistema de manera rápida y sencilla, adaptándose a las necesidades específicas del proceso y que permitirá supervisión remota.

Mejora en el monitoreo y mantenimiento: La implementación del sistema de control mediante PLC LOGO facilitó el monitoreo continuo del funcionamiento del secador de aire, permitiendo detectar y solucionar rápidamente cualquier anomalía o problema en el proceso. Esto contribuyó a reducir los tiempos de inactividad y optimizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

El conocimiento dado en tabla 1 y 2 de este documento definieron el algoritmo utilizado en el temporizado del ciclo fijo lo que facilitó la programación del proceso operativo del secador de aire mediante el uso de software como LOGO Soft Confort y LOGO Web Editor. La información sobre el controlador de temporizador proporcionada por KAESER en estas tablas, aseguró la compatibilidad tecnológica entre los componentes originales del fabricante y el sistema de control basado en PLC LOGO. Esto garantizó una integración sin problemas y una operación fluida del sistema de control, permitiendo aprovechar al máximo las características y funcionalidades del secador de aire industrial.

La capacidad de reajustar los tiempos en el programa del secador de aire comprimido permitirá un proceso dinámico con las condiciones específicas de operación en tiempo real. Por ejemplo, si se detecta un aumento en la demanda de aire seco, se puede reajustar el programa para aumentar la frecuencia o la duración de los ciclos de desecación, garantizando así un suministro continuo de aire seco según sea necesario.

2.5.1 Presentación fotográfica del proyecto realizado

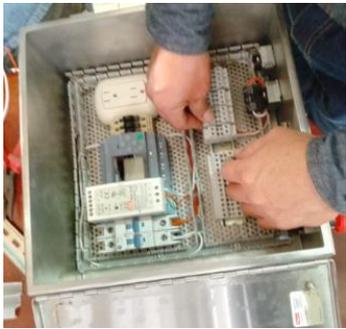
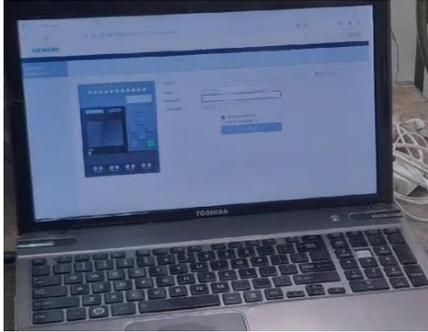
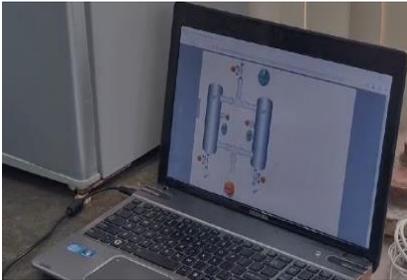
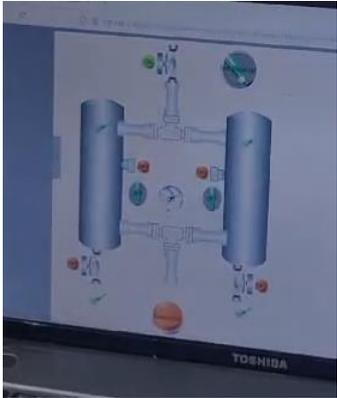
	<p>Armado de panel de instrumentos locales</p>
	
<p>Armado de componentes</p>	<p>Reajuste de tornillería y control de fugas</p>
	
<p>Componentes adquiridos para el control</p>	<p>Cableado de componentes en tablero</p>
	

Tabla 12

Secuencia fotográfica ejecución practica sistema de control implementado

<p align="center">Conexión de tablero de control con equipo</p>	<p align="center">Pruebas de operación en taller realizadas</p>
	
<p align="center">Comunicación con PLC vía WIFI y carga de programa</p>	<p align="center">Ingreso a Aplicación LOGO Web server para ejecución de la aplicación diseñada</p>
	
<p align="center">Ejecución de programa en aplicación Web server de LOGO</p>	<p align="center">Ejecución de programa Secador Industrial en LWE</p>
<p>Figura 16 <i>Visualización operativa del sistema de control</i></p> 	

En resumen, la implementación del sistema de control mediante PLC LOGO en el secador de aire industrial tipo desecante regenerativo condujo a resultados satisfactorios, caracterizados por una flexibilidad operativa mejorada, una optimización del consumo de energía, mejora en la calidad del proceso y una reducción de tiempos muertos, lo que contribuyó a un funcionamiento más eficiente del sistema como se muestra en la presentación grafica del proyecto así como lo presentado en tabla 12 como evidencia del sistema de control implementado.

CONCLUSIONES

En conclusión, el diseño de un nuevo sistema de control automático basado en PLC para el secador de aire comprimido en el Terminal Marítimo Monteverde de la EPPETROECUADOR, representa un paso crucial hacia la optimización de la eficiencia y continuidad de las operaciones logísticas y de producción de GLP en la zona Sur del Ecuador. Al garantizar un control automatizado desarrollado a nivel nacional, se minimizan los riesgos de paros operativos por desconocimiento tecnológico y se puede optimizar el rendimiento del secador de aire comprimido, lo que contribuye significativamente a la seguridad, la productividad y la rentabilidad de las operaciones en el Terminal Marítimo Monteverde. Esta iniciativa demuestra el compromiso del personal hacia la organización con la innovación tecnológica y la excelencia operativa en el sector petrolero.

La investigación detallada de las características técnicas y operativas del secador de aire comprimido en el Terminal Marítimo Monteverde establece una base esencial para el diseño efectivo del sistema de control automático. Este análisis exhaustivo garantiza que el sistema diseñado se adapte con precisión a las necesidades específicas del secador, lo que resultó en la optimización de su rendimiento y eficiencia operativa.

La implementación del sistema de control automático en el secador de aire del Terminal Marítimo Monteverde. El estudio detallado de tecnologías y estándares asegura que el sistema replicará fielmente las operaciones originales del secador de aire comprimido y maximizará la eficiencia energética. Como resultado, se mejora de la gestión de las operaciones en el Terminal, garantizando un rendimiento óptimo y contribuyendo al conocimiento y eficiencia general de uno de sus sistemas primordiales de abastecimiento para las operaciones del Terminal Marítimo Monteverde.

El éxito del nuevo sistema de control automático del secador de aire en el Terminal Marítimo Monteverde, basado en la utilización de componentes originales. Considera aspectos como la disponibilidad local, la compatibilidad y los costos, asegurando una implementación eficiente y económica. Como resultado, el sistema se adapta de manera óptima al mercado nacional en referencia a componentes y repuestos utilizados en el sistema de control, mejorando su eficiencia operativa y su rentabilidad.

La creación de una arquitectura y programación detallada del sistema de control automático basado en PLC, que incluye la definición de la rutina de secado, los parámetros de operación y los protocolos de comunicación necesarios para su integración con otros sistemas del Terminal Marítimo Monteverde. Esta estructura clara y detallada garantiza una

implementación coherente y eficiente del sistema, asegurando su funcionamiento óptimo y su perfecta integración con los sistemas existentes en el Terminal. Como consecuencia, se logra una mejora significativa en la gestión operativa y en la coordinación de las actividades en el Terminal, lo que contribuye al éxito general de las operaciones en el Terminal Marítimo Monteverde.

La evaluación exhaustiva del programa diseñado y cargado en el sistema de control automático. Esta evaluación se centra en aspectos clave como el tiempo de ejecución de variables, el consumo energético, la fiabilidad y la calidad final del aire comprimido seco generado. Se compara el desempeño del nuevo sistema con el sistema original, identificando áreas de mejora potencial. Este análisis proporciona una visión integral del funcionamiento del sistema de control automático, permitiendo ajustes y optimizaciones para mejorar su eficiencia y rendimiento en el Terminal Marítimo Monteverde.

RECOMENDACIONES

Se podría recomendar un levantamiento previo de los requisitos del sistema y de las necesidades del proceso industrial antes de comenzar el diseño a implementar. Esto ayudará a identificar claramente los objetivos del proyecto y a tomar decisiones informadas sobre la selección de equipos y tecnologías.

Se recomienda Invertir en la formación y capacitación de nuevas tecnologías y metodologías de control industrial. Esto permitirá adquirir las habilidades para diseño, implementación y mantener sistemas de control avanzados de manera efectiva y eficiente y minimizará los tiempos de implementación.

Documentar adecuadamente todos los aspectos del proyecto, incluyendo el diseño, la implementación, las pruebas y los resultados obtenidos. Además, realiza un seguimiento continuo del rendimiento del sistema después de la implementación para identificar oportunidades de mejora y optimización a largo plazo.

Se recomienda establecer un proceso continuo de monitoreo y evaluación del rendimiento del sistema una vez implementado, para identificar oportunidades de mejora y ajustes adicionales a lo largo del tiempo. Esto garantizará que el sistema siga siendo óptimo y eficiente, adaptándose a posibles cambios en las condiciones operativas.

Para una segunda etapa se recomendaría incluir diferentes rutinas de secado y además que los parámetros de operación y protocolos de comunicación se integren con los ya existentes en el Terminal Marítimo Monteverde. Esta estructura garantiza una implementación coherente y eficiente del sistema, mejorando la gestión operativa y la coordinación de actividades en el Terminal, lo que contribuye al éxito general de las operaciones.

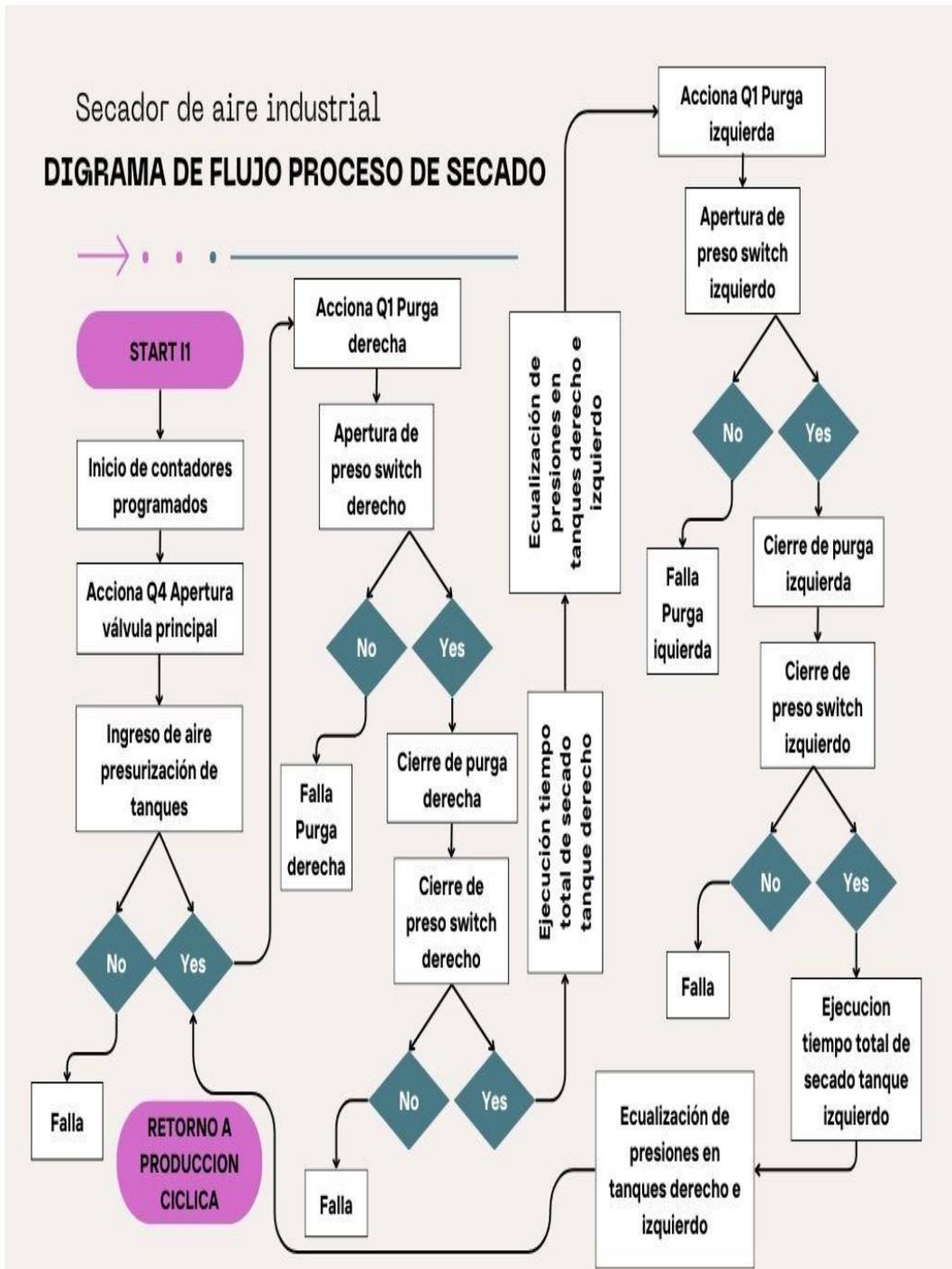
BIBLIOGRAFÍA

- AULA21. (s.f.). *Automatización industrial*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/>
- González, L. I. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AIRE*. Ambato.
- González, L. I. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AIRE*. AMBATO.
- HERNÁNDEZ, R. A. (2019). *SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO CON MONITOREO Y ADMINISTRACIÓN REMOTA, EN EL SEMBRÍO DEL PLANTEL EDUCATIVO FRATERNIDAD Y SERVICIO*. QUITO.
- KAESER. (2018). *Manual de instrucciones*.
- SIEMENS. (2019). *LOGO 8*. Francia .
- Torres, A. R. (2020). *SISTEMA AUTOMÁTICO PARA CONTROL DE PROCESO DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO CON VISUALIZACIÓN ONLINE*. QUITO.

ANEXOS

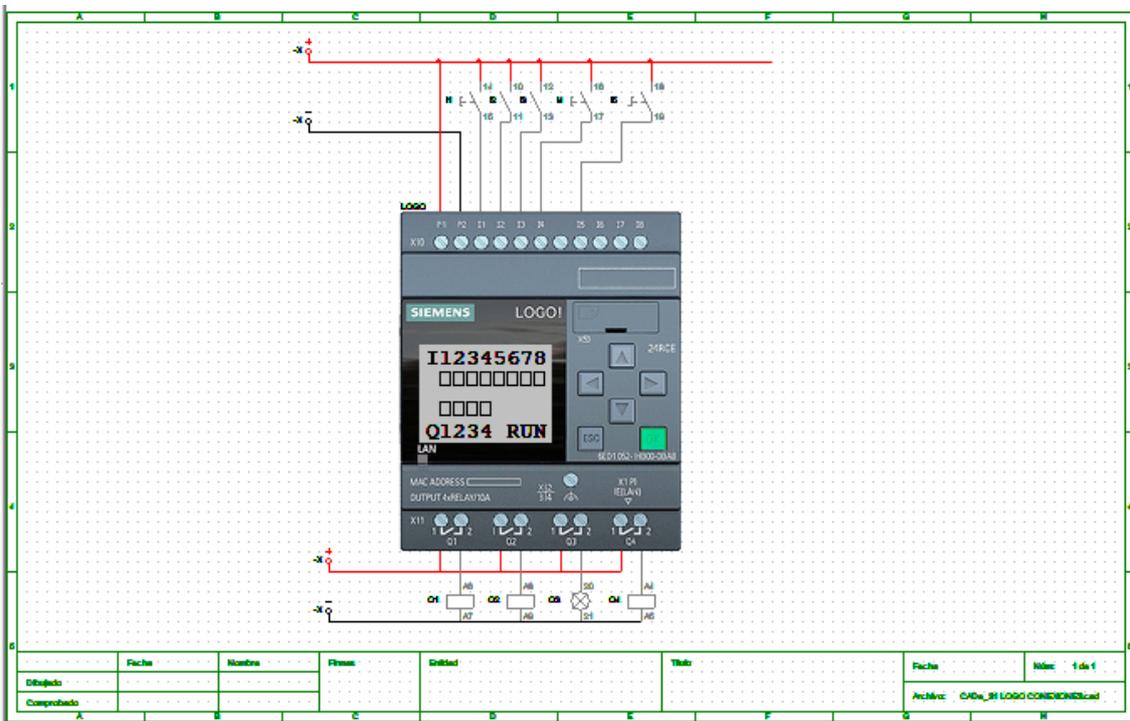
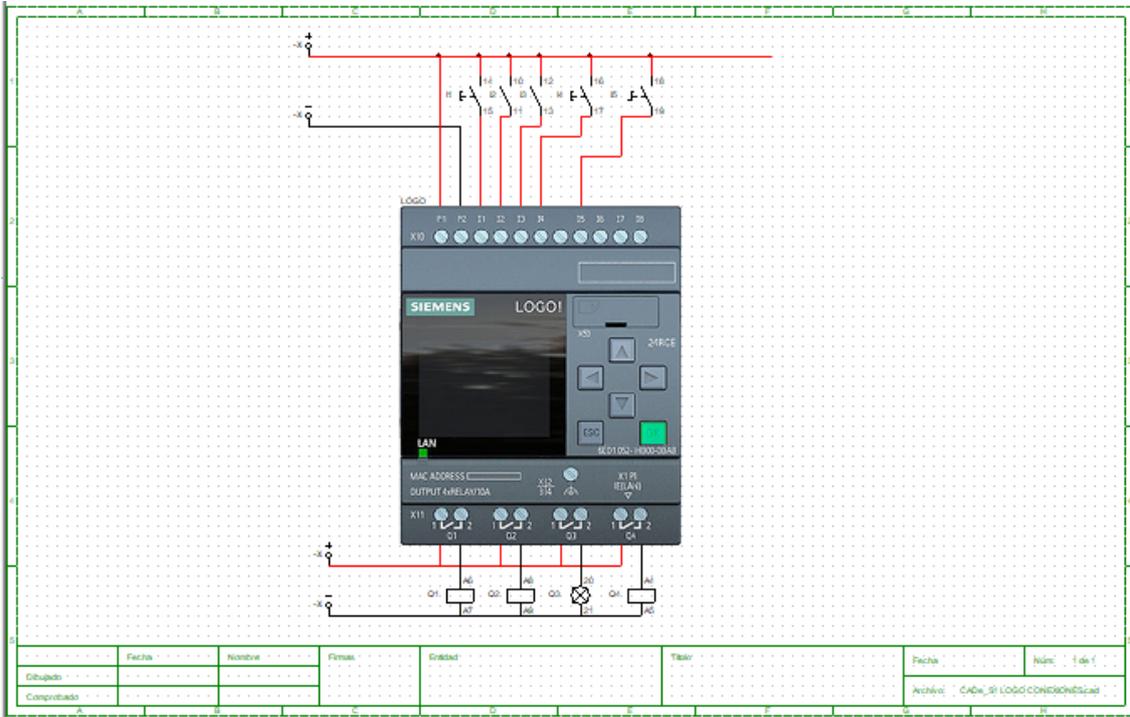
ANEXO 1

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO



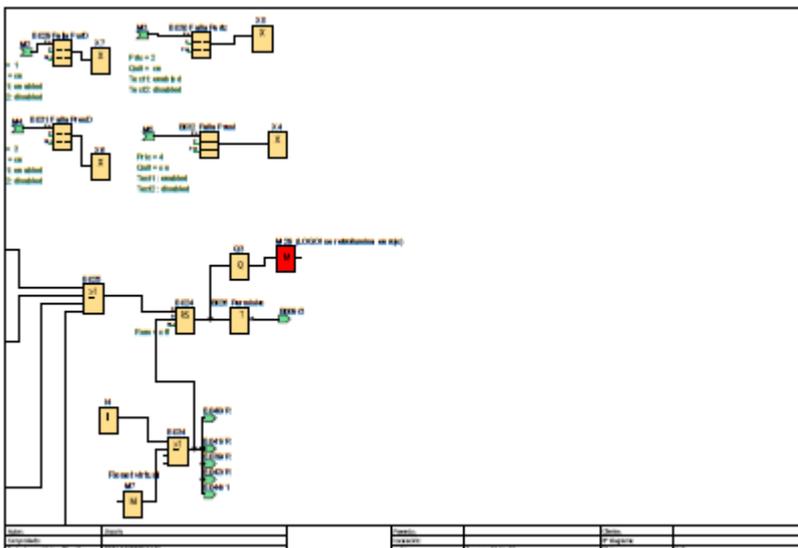
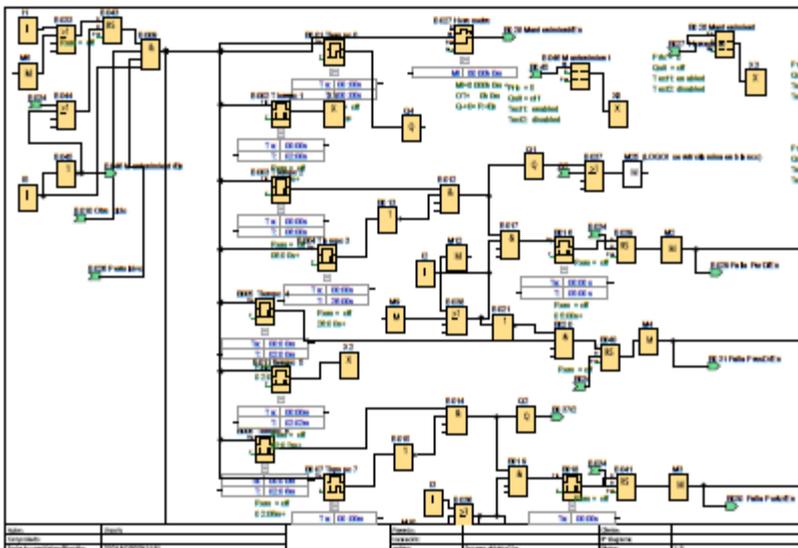
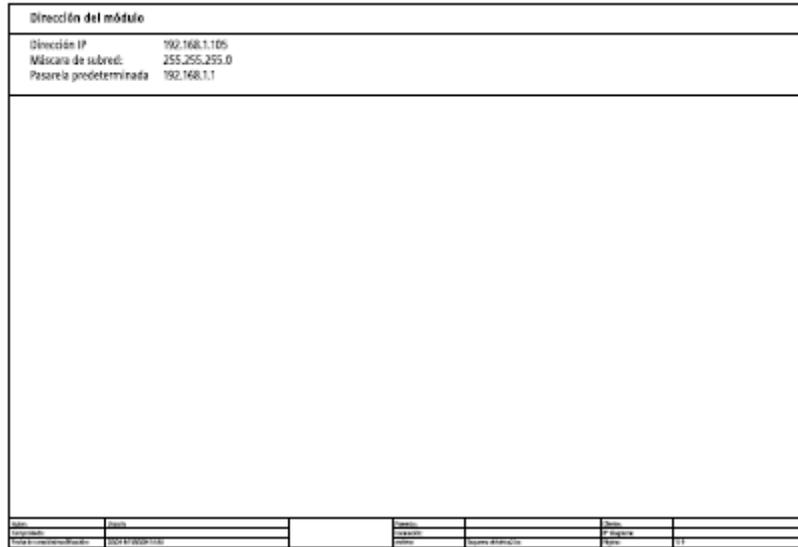
ANEXO 2

DIAGRAMA DE CONEXIONES ENTRADAS Y SALIDAS AL PLC LOGO



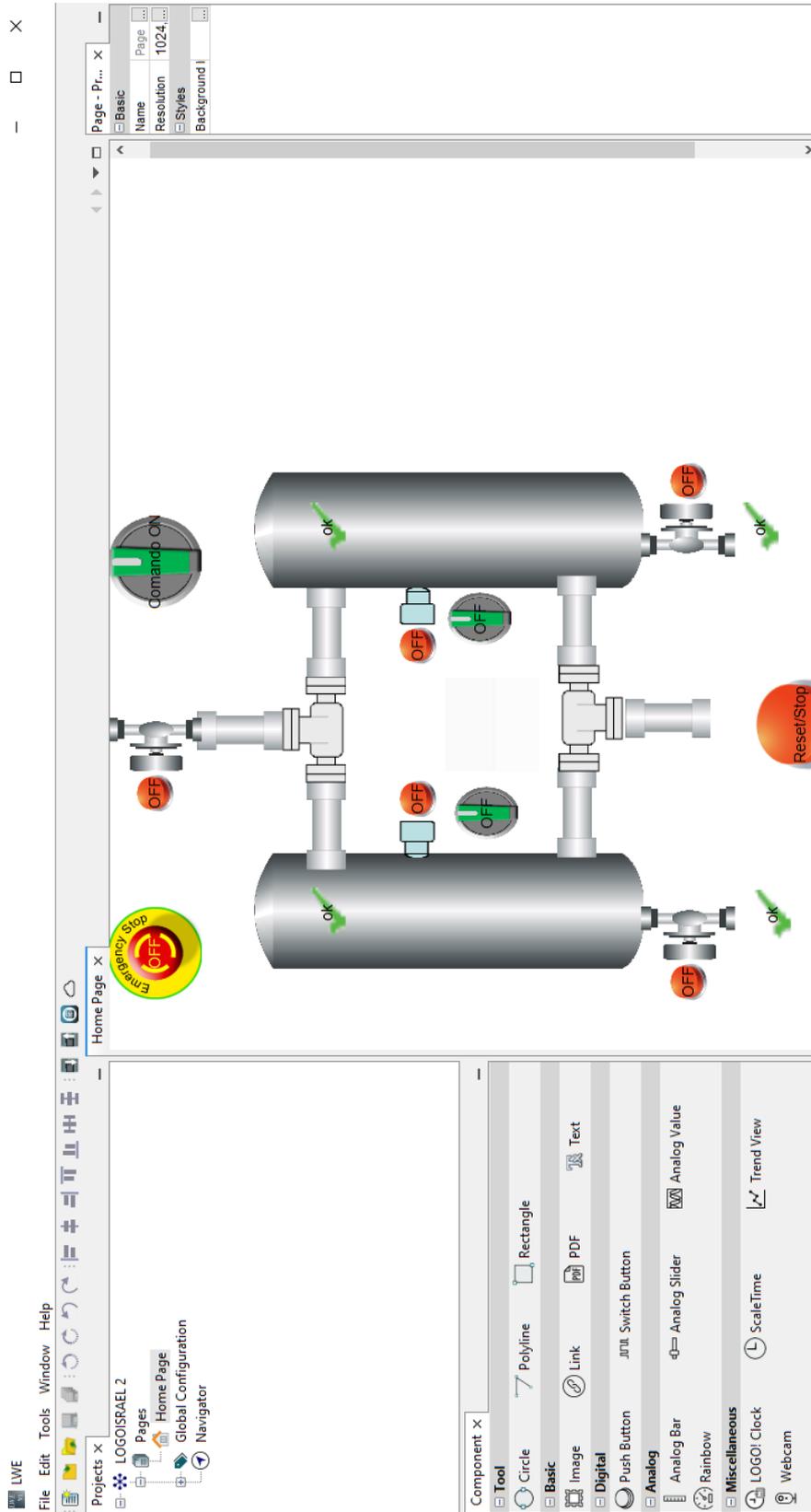
ANEXO 3

PROGRAMA DIGITAL EN LOGO Soft Confort V8.4



ANEXO 4

APLICACIÓN DIGITAL DISEÑADA EN LOGO WEB EDITOR



ANEXO 5

VALIDACION DE LA PROPUESTA CON FIRMAS ELECTRONICAS

Tabla 6 Descripción de perfil validador 1

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Jorge Luis Lara Chiriboga	18	Ingeniero electrónico de Control	Supervisor Eléctrico de Automatización y control EPPETROECUADOR.

Tabla 7: Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Jorge Luis Lara Chiriboga

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Firma: 

JORGE LUIS LARA CHIRIBOGA
 Razón: Carthago/Ingeniería/Ingeniería de Control/Ingeniería de Control
 Localización: Puntapalmar/Quito/Terni/Quito/Ecuador
 Fecha: 2024-03-08 11:11:04 -07:30:00

Tabla 8 Descripción de perfil validador 2

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Juan Carlos Góngora Mosquera	14	Ingeniero eléctrico en potencia	Supervisor Eléctrico de Automatización y control EPPETROECUADOR.

Tabla 9: Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Juan Carlos Góngora Mosquera

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Firma:



Elaborado y validado por:
**JUAN CARLOS GONGORA
 MOSQUERA**

Tabla 1*Descripción de perfil validador 3*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Marjory Urdaneta Herrera	20	PhD en Ingeniería eléctrica	Profesor Titular

Tabla 2*Escala de evaluación. Elaborada por: PhD. Marjory Urdaneta Herrera*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Firma:



En Tabla 9 y Tabla 10 se presenta datos de validador de propuesta y resultados de calificación de acuerdo a criterios presentados de la PhD. Marjory Urdaneta Herrera.