



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL  
AUTOMÁTICO DEL SECADOR POR ATOMIZACIÓN DEL  
LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:**

ALTAMIRANO MÉNDEZ CARLOS SEBASTIÁN

MORALES RAMIREZ ERIK MEDARDO

**DIRECTOR:**

GUAMÁN LOZADA DARÍO FERNANDO

Riobamba - Ecuador

2023

© 2023, Carlos Sebastián Altamirano Méndez & Erik Medardo Morales Ramírez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Carlos Sebastián Altamirano Méndez y Erik Medardo Morales Ramírez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de diciembre de 2023



**Carlos Sebastián Altamirano Méndez**  
**060532883-0**



**Erik Medardo Morales Ramírez**  
**180543531-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico. **REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL SECADOR POR ATOMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES**, realizado por los estudiantes: **CARLOS SEBASTIÁN ALTAMIRANO MÉNDEZ** y **ERIK MEDARDO MORALES RAMÍREZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Cesar Arturo Puente Guijarro <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-11-09
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-11-09
Ing. Daniel Antonio Chuquín Vasco <b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-11-09

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño dedico este trabajo de investigación a las personas más importantes en mi vida, mis padres, que han sido un apoyo incondicional, ejemplo de trabajo, perseverancia y fortaleza, por todas sus enseñanzas que han influido en mí para ser lo que soy. A mis queridos hermanos por su apoyo, consejos y ejemplo de felicidad. A toda mi familia que de una u otra forma me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

Carlos

A mis padres, quienes han sido mi faro inquebrantable de amor y apoyo a lo largo de este arduo pero gratificante viaje académico. Su sacrificio, comprensión y aliento constante han sido el cimiento de mi perseverancia. Este logro no solo es mío, sino también el fruto de su dedicación y esperanza en cada paso que he dado. A mis amigos y seres queridos, quienes han compartido las alegrías y desafíos de este trayecto. Sus palabras de aliento, paciencia y comprensión han sido un bálsamo en los momentos difíciles y han enriquecido mi experiencia de aprendizaje. Dedico este trabajo a aquellos que han creído en mí cuando dudaba de mis propias capacidades y han compartido la carga y la dicha de esta travesía académica. Este logro es también un tributo a la comunidad que ha influido en mi crecimiento y desarrollo como estudiante y como persona. Gracias a todos los que, de diversas formas, han contribuido a la culminación exitosa de esta tesis. Este trabajo lleva impreso el reconocimiento a aquellos que han dejado una huella indeleble en mi camino educativo.

Erik

## AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por toda la generosidad y sabiduría que me brindo para lograr esta meta y por las buenas personas que ha puesto en mi camino. A mis amigos y a sus familias que por haberme permitido entrar a sus hogares y por su amistad sincera. A mis profesores Politécnicos por sus enseñanzas, en especial al Ing. Darío Guamán y al Ing. Daniel Chuquín por su tiempo y apoyo para la culminación de este trabajo.

A todos a quienes no eh mencionado pero que los tengo presentes en mi corazón, a todos un Dios les pague por todo su apoyo y formar parte de mi vida.

Carlos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de fortaleza, guía y sabiduría, cuya infinita misericordia ha iluminado mi camino y me ha otorgado la fuerza necesaria para completar este arduo proceso académico. Asimismo, quiero reconocer y agradecer a mi director de tesis por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proyecto. Agradezco también a todas las personas que, de alguna manera, han aportado con sus conocimientos, consejos y ánimo durante este proceso. Gracias a todos los que, de una manera u otra, contribuyeron a la culminación exitosa de esta tesis. Su colaboración y apoyo han dejado una marca indeleble en este logro académico.

Erik

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Línea base del proyecto .....	4
1.4.1. <i>Localización del proyecto</i> .....	4
1.4.2. <i>Beneficiarios directos e indirectos</i> .....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	6
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	6

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación .....	7
2.2. Referencias teóricas .....	7
2.2.1. <i>Secado</i> .....	7
2.2.2. <i>Tipos de secado</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Secado por radiación</i> .....	8
2.2.2.2. <i>Secado por atomización</i> .....	8
2.2.2.3. <i>Secado al vacío</i> .....	8
2.2.2.4. <i>Secado por microondas</i> .....	8
2.2.3. <i>Equipos de secado</i> .....	9
2.2.3.1. <i>Secador de tambor</i> .....	9
2.2.3.2. <i>Secadores de lecho fluidizado</i> .....	9
2.2.3.3. <i>Secadores por atomización</i> .....	9

2.2.3.4.	<i>Secador de bandejas</i> .....	9
2.2.3.5.	<i>Secador de túnel</i> .....	10
2.2.4.	<b><i>Sistema de control automático</i></b> .....	10
2.2.5.	<b><i>Sistema a lazo cerrado</i></b> .....	10
2.2.6.	<b><i>Sistema a lazo abierto</i></b> .....	11
2.2.7.	<b><i>Control On/Off</i></b> .....	11
2.2.8.	<b><i>Control de procesos</i></b> .....	11
2.2.9.	<b><i>Instrumentación y control</i></b> .....	12
2.2.10.	<b><i>Atomización</i></b> .....	12
2.2.10.1.	<i>Tipos de atomizadores</i> .....	13
2.2.11.	<b><i>Boquillas de aspersión</i></b> .....	13
2.2.12.	<b><i>Sistema de automatización</i></b> .....	13
2.2.13.	<b><i>Sensores</i></b> .....	14
2.2.13.1.	<i>Sensores de temperatura</i> .....	14
2.2.13.2.	<i>Sensores de humedad</i> .....	14
2.2.13.3.	<i>Sensores de nivel</i> .....	14
2.2.14.	<b><i>Controladores</i></b> .....	14
2.2.14.1.	<i>Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo)</i> .....	15
2.2.14.2.	<i>Controladores ON/OFF</i> .....	15
2.2.14.3.	<i>Controladores Lógicos Programables (PLC)</i> .....	15
2.2.15.	<b><i>Actuadores</i></b> .....	16
2.2.15.1.	<i>Actuadores eléctricos</i> .....	16
2.2.15.2.	<i>Actuadores neumáticos</i> .....	16
2.2.15.3.	<i>Actuadores hidráulicos</i> .....	16
2.2.15.4.	<i>Actuadores magnéticos</i> .....	16
2.2.16.	<b><i>Bombas</i></b> .....	17
2.2.16.1.	<i>Tipos de bombas</i> .....	17
2.2.17.	<b><i>Redes de comunicación</i></b> .....	18
2.2.18.	<b><i>Software de supervisión y control</i></b> .....	18
2.2.19.	<b><i>Interfaz gráfica</i></b> .....	18
2.2.19.1.	<i>Tipos de interfaz gráfica</i> .....	18
2.2.20.	<b><i>Optimización de proceso</i></b> .....	19
2.2.21.	<b><i>Temperatura óptima del proceso</i></b> .....	19
2.2.22.	<b><i>Humedad del Producto Seco</i></b> .....	19

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
----	---------------------------------	----

3.1.	<b>Descripción del equipo</b> .....	20
3.2.	<b>Diagnóstico del equipo</b> .....	21
3.3.	<b>Modelo matemático del sistema</b> .....	22
3.4.	<b>VARIABLES del proceso</b> .....	25
3.5.	<b>Selección de tecnología de equipos</b> .....	26
3.5.1.	<i>Transmisor de temperatura y humedad</i> .....	27
3.5.3.	<i>Sensor de temperatura pt100</i> .....	28
3.5.4.	<i>PLC Siemens Logo 8.3</i> .....	29
3.6.	<b>Integración o instalación de tecnología</b> .....	31
3.7.	<b>Diagrama de integración e instalación</b> .....	31
3.8.	<b>Diagrama GRAFCET del nivel bajo y temporizado del sistema</b> .....	32
3.9.	<b>Diagrama GRAFCET del proceso</b> .....	33
3.10.	<b>Variabilidad del fluido</b> .....	33
3.11.	<b>Desarrollo y programación del sistema controlador PLC</b> .....	35
3.11.1.	<i>Programación para la Repotenciación del Sistema de Control Automático de un Secador por Atomización</i> .....	35
3.11.1.1.	<i>Control On/Off de Resistencia y Ventilador con Paro de Emergencia</i> .....	36
3.11.1.2.	<i>Control del Compresor, Sensor de Nivel y Bomba</i> .....	36
3.11.1.3.	<i>Control de Temperatura y Humedad con Captura de Datos por Ethernet</i> .....	37
3.12.	<b>Validación del equipo</b> .....	38
3.12.1.	<i>VARIABLES físicas</i> .....	38
3.12.1.1.	<i>Densidad</i> .....	38
3.12.1.2.	<i>Punto de congelación</i> .....	39
3.12.1.3.	<i>Punto de ebullición</i> .....	39
3.12.2.	<i>VARIABLES químicas</i> .....	39
3.13.	<b>Ingeniería del proyecto</b> .....	40
3.13.1.	<i>Estado técnico del equipo</i> .....	40
3.13.2.	<i>Valores a calificar</i> .....	40
3.13.3.	<i>Aspectos calificados</i> .....	41
3.13.3.1.	<i>Porcentaje de reparación</i> .....	41
3.13.4.	<i>Métodos y técnicas</i> .....	41
3.13.4.1.	<i>Métodos</i> .....	41
3.13.4.2.	<i>Técnicas</i> .....	42
 <b>CAPITULO IV</b>		
4.	<b>RESULTADOS</b> .....	44
4.1.	<b>Diagnóstico del equipo</b> .....	44
4.1.1.	<i>Evaluación tablero de control</i> .....	44

4.1.2.	<i>Otros aspectos</i> .....	45
4.2.	<b>Interfaz Gráfica</b> .....	45
4.2.1.	<i>Portada de la interfaz gráfica</i> .....	45
4.2.2.	<i>Curva de temperatura Pt100</i> .....	46
4.2.2.1.	<i>Escalado de señal de temperatura pt100</i> .....	47
4.2.3.	<i>Curvas de salida del transmisor de temperatura y humedad THD-W2T MODBUS RTU</i> .....	48
4.2.4.	<i>Tanque de alimentación</i> .....	51
4.3.	<b>Procedimiento estadístico</b> .....	52

## **CAPÍTULO V**

<b>CONCLUSIONES</b> .....	55
---------------------------	----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	56
------------------------------	----

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b> Descripción del equipo .....	20
<b>Tabla 3-2:</b> Variables por componente .....	25
<b>Tabla 3-3:</b> Variables críticas del proceso .....	26
<b>Tabla 3-4:</b> Rangos de operación de unidades.....	26
<b>Tabla 3-5:</b> Especificaciones técnicas.....	28
<b>Tabla 3-6:</b> Especificaciones técnicas del sensor de temperatura Pt100 .....	29
<b>Tabla 3-7:</b> Instalación de tecnología .....	31
<b>Tabla 3-8:</b> Diferencia de caudales de la bomba .....	34
<b>Tabla 3-9:</b> Asignación de valores a calificar .....	40
<b>Tabla 3-10:</b> Aspectos calificados .....	41
<b>Tabla 3-11:</b> Propiedades físico – químicas de la materia prima.....	43
<b>Tabla 4-1:</b> Evaluación de aspectos técnicos.....	44
<b>Tabla 4-2:</b> Funciones de los íconos de la portada .....	46
<b>Tabla 4-3:</b> Temperatura y humedad apta para leche en polvo .....	52
<b>Tabla 4-4:</b> Porcentajes de rendimiento en base a la variación de la bomba dosificadora .....	53
<b>Tabla 4-5:</b> Análisis ANOVA de los rendimientos obtenidos .....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Localización geográfica del laboratorio de procesos industriales .....	5
<b>Ilustración 3-1:</b> Componentes del equipo .....	20
<b>Ilustración 3-2:</b> Sensor de humedad .....	27
<b>Ilustración 3-3:</b> Sensor de nivel 52940 .....	28
<b>Ilustración 3-4:</b> PLC siemens logo 8.3 .....	30
<b>Ilustración 3-5:</b> Diagrama de tecnología instalada .....	32
<b>Ilustración 3-6:</b> Aumento de flujo - 100% .....	35
<b>Ilustración 3-7:</b> Aumento de flujo - 50% .....	35
<b>Ilustración 3-8:</b> Primera etapa del desarrollo y programación del sistema controlador PLC ....	36
<b>Ilustración 3-9:</b> Segunda etapa del desarrollo y programación del sistema controlador PLC ...	37
<b>Ilustración 3-10:</b> Tercera etapa del desarrollo y programación del sistema controlador PLC...	38
<b>Ilustración 4-1:</b> Portada.....	46
<b>Ilustración 4-2:</b> Interfaz gráfica de la curva de temperatura (pt100) .....	47
<b>Ilustración 4-3:</b> Escalado de señal Pt100.....	48
<b>Ilustración 4-4:</b> Interfaz gráfica de las curvas de salida .....	49
<b>Ilustración 4-5:</b> Escalado de señal de temperatura de salida .....	50
<b>Ilustración 4-6:</b> Escalado de señal de humedad de salida.....	51
<b>Ilustración 4-7:</b> Interfaz gráfica del tanque de almacenamiento.....	52
<b>Ilustración 4-8:</b> Superficie de respuesta al mejor rendimiento .....	54

## RESUMEN

El Trabajo de Integración Curricular fue realizado con el objetivo de repotenciar el sistema de control automático del secador por atomización. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sobre los equipos y sistemas de control y un diagnóstico del equipo el cual permitió verificar sus problemas y las variables del proceso. La repotenciación se llevó a cabo mediante un análisis detallado del equipo donde se verificó las variables críticas del proceso implicando la realización de pruebas y mediciones para obtener datos precisos sobre el funcionamiento del secador y cualquier limitación en el sistema de control automático existente. Se modeló matemáticamente el sistema de control para comprender su funcionamiento, mejorando su rendimiento y capacidad de respuesta, involucrando el uso de técnicas de simulación y análisis de datos para explorar diferentes escenarios y evaluar el impacto de cambios específicos. A estos cambios se incluyó la incorporación de nuevas tecnologías, la actualización de software y hardware y la mejora de los procesos de control y monitoreo ya que es importante validar su funcionamiento mediante procedimientos estadísticos y otras técnicas de análisis de datos. La repotenciación del sistema de control automático del secador por atomización permitió mejorar la calidad del producto obtenido ya que redujo los tiempos de producción, lo que se traduce en una mayor rentabilidad. Se recomendó realizar un seguimiento periódico al sistema de control ya que así se mantuvo su eficiencia y funcionalidad, de igual manera el uso de laboratorios en condiciones óptimas para que los estudiantes tengan un mejor entendimiento teórico-práctico y se logre realizar todas las prácticas de laboratorio relacionadas con este tema.

**Palabras clave:** <REPOTENCIACIÓN>, <SECADO POR ATOMIZACIÓN>, <MODELO MATEMÁTICO>, <FUNCIONALIDAD>, <VALIDACIÓN>

0027-DBRA-UTP-2024



## **ABSTRACT**

The Curricular Integration Work was carried out with the objective of upgrading the automatic control system of the spray dryer. For this purpose, a bibliographic review of the equipment and control systems and a diagnosis of the equipment were carried out, which allowed verifying its problems and the process variables. The repowering was carried out through a detailed analysis of the equipment where the critical variables of the process were verified by performing tests and measurements to obtain accurate data on the operation of the dryer and any limitations in the existing automatic control system. The control system was mathematically modeled to understand its operation, improving its performance and responsiveness, involving the use of simulation techniques and data analysis to explore different scenarios and evaluate the impact of specific changes. These changes included incorporating new technologies, upgrading software and hardware, and improving control and monitoring processes since it is important to validate its performance through statistical procedures and other data analysis techniques. The upgrading of the spray dryer's automatic control system improved the quality of the product obtained by reducing production times, which translates into greater profitability. It was recommended to carry out a periodic follow-up of the control system since it maintained its efficiency and functionality, as well as the use of laboratories in optimal conditions so that the students have a better theoretical-practical understanding and are able to carry out all the laboratory practices related to this topic.

**Key words:** <REPOTENTIATION>, <ATOMIZATION DRYING>, <MATHEMATICAL MODEL>, <FUNCTIONALITY>, <VALIDATION>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

110369613

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, la industria alimentaria enfrenta grandes desafíos en cuanto a la producción de alimentos de alta calidad y la optimización de los procesos productivos. El secado por atomización es un proceso utilizado en la industria alimentaria para producir productos en polvo, el cual es un proceso complejo que involucra múltiples variables por tal motivo la repotenciación es un tema de gran importancia en la industria llevando a investigadores y expertos en la materia a buscar soluciones innovadoras para optimizar el funcionamiento de los sistemas de control automático y mejorando la eficiencia del proceso de secado de alimentos.

Investigaciones previas han identificado el desafío de optimizar el funcionamiento del sistema de control automático en el secado por atomización, lo que ha llevado a la búsqueda de soluciones innovadoras para actualizar y mejorar los sistemas existentes. A través de la investigación, se ha descubierto que la repotenciación del sistema de control automático del secador por atomización es una solución eficaz y dando un enfoque adoptado que permite no solo mejorar la calidad del producto, sino también aumentar la producción y reducir los costos operativos.

El problema a abordar es cómo optimizar el sistema de control automático del secador por atomización para mejorar la eficiencia del proceso y producir alimentos en polvo de alta calidad de manera más efectiva y sostenible. El enfoque adoptado en este trabajo se centra en la repotenciación del sistema de control automático, explorando diversas estrategias y tecnologías para mejorar la precisión y la eficiencia del proceso de secado por atomización. Este trabajo se presenta una solución innovadora para la repotenciación del sistema de control automático del secador por atomización mediante la implementación de tecnologías avanzadas que permiten una mayor precisión y eficiencia en la producción.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

El secado por atomización es un proceso ampliamente utilizado en la industria de alimentos, química y farmacéutica para producir polvos finos y secos a partir de líquidos. Según (Valero et al., 2009, p. 13), el proceso consiste en atomizar una solución líquida en pequeñas gotas, que luego se secan mediante la aplicación de aire caliente. El aire caliente hace que el agua se evapore, dejando atrás los sólidos en forma de polvo.

El sistema asegura que la temperatura, la humedad y el flujo de aire sean óptimos para lograr la calidad deseada del producto. Además, el sistema de control automático es crucial para garantizar la seguridad y la eficiencia del proceso, minimizando la probabilidad de errores humanos y maximizando el uso de la energía.

Sin embargo, según (Salazar y Yunga 2019, p. 23), con el paso del tiempo, el sistema de control automático puede volverse obsoleto y menos eficiente. Esto puede deberse a diversos factores, como el envejecimiento de los componentes, la obsolescencia tecnológica y el desgaste general. En consecuencia, la repotenciación del sistema de control automático del secador por atomización se convierte en una necesidad para garantizar la continuidad de la operación y mantener la calidad del producto.

### 1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad, existen varios procesos de secado para los diferentes requerimientos del mercado donde su elección depende en gran medida, de la eficiencia energética, del tiempo de secado, de la calidad del producto que se pretende conseguir, etc. Pero sobre todo es muy importante tener en cuenta la implicación de costos de cada proceso.

La operación de secado por aspersión consiste en la transformación de una alimentación en estado líquido a un producto sólido y seco, al poner en contacto dicha alimentación en forma de gotas finas con una corriente de aire caliente, según (Regalón Anias et al., 2015, p. 10) el desarrollo de la ciencia y tecnología ha permitido mejorar nuestro estilo de vida, facilitando nuestras labores cotidianas y mejorado los procesos de fabricación en las industrias, generando una mayor riqueza, gran parte de estos beneficios se han logrado como resultado de un sin número de investigaciones

que han permitido obtener sistemas automáticos creados a partir de conceptos básicos de diferentes ciencias y ramas de la industria.

La aplicación de esta tecnología sigue abriendo una gran demanda dentro de los procesos de fabricación industrial controlados por medios automáticos, provocando la necesidad de contar con alternativas al momento de recuperar este tipo de maquinaria, ya sea por los desperfectos causados por su uso continuo o por la necesidad de aumentar su rendimiento. Por lo general realizar una reposición completa de estos equipos resulta muy costoso, la escasa información ha ocasionado que no se cuente con parámetros adecuados para recuperar su funcionamiento, alternativas como la repotenciación son muy poco exploradas en nuestro medio generando un desconocimiento de las ventajas que se puede obtener de este método el cual involucra conservar los elementos en buen estado y permite la adaptación de sistemas con tecnologías innovadoras mediante criterios establecidos (Quintanilla Armijo & Toledo Alvarez, 2016, p. 21).

En el Laboratorio de Procesos Industriales de la Carrera de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se implementó un secador por atomización para la obtención de colorante natural con la finalidad de mejorar el nivel académico de los estudiantes, dentro de este contexto el equipo encargado de realizar el proceso de secado por atomización se encuentra fuera de servicio, debido a que presenta varias fallas en su funcionamiento causado por el mal uso, mantenimiento inadecuado o por ciertas condiciones no previstas de operación, además presenta inconvenientes en el sistema operativo automático.

### **1.3. Justificación**

Los sistemas de control automáticos son herramientas importantes en muchas industrias, ya que esta ayuda a mejorar el control y adquisición de datos de un proceso industrial, así como también mejorar su eficiencia al operar el proceso, haciendo que sus productos sean más económicos y asequibles y a su vez ayuda a la eficiencia de las maquinarias (Barreno, 2010, pp. 40–42).

El principal objetivo de la modernización de maquinaria es impulsar la productividad y competitividad de la industria. Por lo que será una excelente solución la sustitución y actualización de la maquinaria, por equipos y tecnología de punta, en muchos casos, las máquinas viejas tienden a encontrarse en buen estado mecánico, pueden ser actualizadas y mejoradas con nuevos componentes para potenciar sus posibilidades, y así aumentar la productividad, minimizar costos y generar mayores utilidades (Macas Rivera, 2018, pp. 8–9).

En la industria los procesos de fabricación cada vez se van mejorando con la implementación de tecnologías que puedan generar un aumento de producción, brinden más seguridad al operario, reduzcan los tiempos muertos en los procesos de fabricación.

Es por eso que para este proyecto de titulación se propone realizar la repotenciación del control automático del secador por atomización que se encuentra en laboratorio de procesos industriales con el propósito de adaptar nuevos elementos con tecnología flexible de manejar para optimizar el funcionamiento del sistema y realizar una automatización más didáctica que sea de fácil uso para el usuario. Igual es importante contar con laboratorios en condiciones óptimas de funcionamiento que permitan a los estudiantes tener un mejor entendimiento teórico- práctico haciendo posible realizar todas las prácticas de laboratorio que tengan que ver con este tema.

#### **1.4. Línea base del proyecto**

##### ***1.4.1. Localización del proyecto***

El presente proyecto técnico será desarrollado en el laboratorio de Análisis Instrumental e Investigación pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que se encuentra ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½.

**Tabla 1.1:** Ubicación y características geográficas de la ESPOCH

<b>Provincia</b>	Chimborazo
<b>Cantón</b>	Riobamba
<b>Altitud</b>	2815 m.s.n.m.
<b>Coordenadas</b>	78°40'20'
<b>Ubicación</b>	Av. Panamericana Sur km 1 ½

Fuente: Google Maps, 2023

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023



**Ilustración 1-1:** Localización geográfica del laboratorio de procesos industriales

**Fuente:** Google Maps, 2023

#### ***1.4.2. Beneficiarios directos e indirectos***

##### **1.4.2.1. Directos**

Los estudiantes y técnicos docentes del laboratorio de procesos industriales serán los beneficiarios directos ya que la repotenciación del sistema de control automático del secador por atomización mejorará la precisión, la confiabilidad y la estabilidad de las mediciones y los experimentos realizados en el laboratorio. Esto permitirá que los estudiantes y profesores realicen prácticas más avanzadas en el proceso de secado por atomización y otros procesos relacionados, utilizando un sistema de control más moderno y eficiente. Además, la mejora del sistema de control también proporcionará una experiencia de aprendizaje más enriquecedora para los estudiantes al permitirles trabajar con un equipo eficiente.

##### **1.4.2.2. Indirectos**

Todos los estudiantes que realicen proyectos de investigación y desarrollo en el equipo de secado por atomización en colaboración con el laboratorio de procesos industriales. Al utilizar un sistema de control automático actualizado y eficiente, estos estudiantes pueden llevar a cabo sus investigaciones y experimentos de manera más precisa y eficiente, lo que puede conducir a avances significativos en áreas clave de la ingeniería química y en la industria en general, lo que puede generar beneficios económicos y sociales.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

- Repotenciar el sistema de control automático del secador por atomización del laboratorio de procesos industriales.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Realizar un diagnóstico del equipo para verificar sus problemas e identificar las variables del proceso.
- Modelar matemáticamente el sistema
- Implementar los cambios en el equipo y validar el funcionamiento mediante procedimientos estadísticos.
- Diseñar una interfaz gráfica amigable con los estudiantes, así como realizar la documentación respectiva que contenga el manejo adecuado del secador y guía de prácticas de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

De acuerdo con (Tapia Borja, 2020, pp. 6–8), una de varias aplicaciones del secado por atomizado es en aquellos productos los cuales son sensibles al calor, haciendo referencia que pueden requerir de vacío y bajas temperaturas, al igual que compuestos termolábiles, en las cuales la eficiencia de operación es comparable o mejor que la de otros tipos de secadores.

Mientras que, (Regalón Anias et al., 2015, p. 10) exponen en su trabajo la implementación y funcionamiento de la automatización del proceso de secado por atomización de bioproductos, tal que incrementa la productividad y eficiencia energética, además de un impacto positivo medioambiental. Proponen una automatización la cual incluya variables de entradas y salidas, digitales y modernas, así como los respectivos lazos de control de tal manera controlar los parámetros que intervienen en el proceso.

Para (Mondragón et al., 2020, p. 162), el secado por atomización es un proceso complejo que depende de muchas variables. Para optimizar el proceso, es importante comprender cómo influye cada variable en la cinética de secado y en las propiedades del material granulado obtenido. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis detallado del proceso de secado para comprender mejor cómo cada variable afecta el resultado final.

Para determinar la eficiencia del proceso en la obtención de productos a partir de líquidos, se crea una superficie de contacto entre el medio secante y las gotas formadas, esto permitirá una evaporación rápida del agua, sin embargo según, (Guzmán & Castaño, 2019, p. 328), es importante tener en cuenta que la presencia de sustancias ácidas en los materiales susceptibles de ser secados puede afectar el resultado final.

#### 2.2. Referencias teóricas

##### 2.2.1. *Secado*

El secado es un proceso esencial utilizado en diversas industrias para eliminar la humedad o solventes de materiales sólidos, líquidos o semilíquidos. Su objetivo principal es reducir el contenido de agua u otros componentes volátiles para mejorar estabilidad, durabilidad y calidad. A través de la aplicación de calor y, en ocasiones, aire, se acelera la evaporación hasta alcanzar

un nivel óptimo. Factores como temperatura, humedad relativa, flujo de aire y composición del material influyen en la velocidad y eficiencia del proceso (Serrano et al., 2020, pp. 18–19).

## **2.2.2. Tipos de secado**

### *2.2.2.1. Secado por radiación*

Se basa en la utilización de radiación electromagnética, como la radiación infrarroja, para calentar la superficie de un material y provocar la evaporación de la humedad presente en él. A diferencia de los métodos de secado convectivo que calientan el aire, el secado por radiación calienta directamente el material, lo que puede resultar en un proceso de secado más rápido y selectivo. Se aplica en industrias como la pintura, donde se secan recubrimientos aplicados a objetos mediante radiación infrarroja controlada (Gutierrez & Gutierrez, 2023, pp. 5–6).

### *2.2.2.2. Secado por atomización*

Es un proceso en el que un líquido se atomiza de tal manera que se rompe en pequeñas gotas, promoviendo la transferencia de calor y masa. Después de que el líquido en la cámara de pulverización se seque, se encuentra con la corriente de gas caliente para transferir calor al producto, el producto transfiere vapor de agua al aire, lo que lleva el proceso al equilibrio.

Después de que las gotas se secan, las partículas más grandes caen al fondo del tanque y se recolectan, mientras que las partículas más pequeñas salen del secador de aire y pasan por el colector de polvo (Braga et al., 2020, p. 415).

### *2.2.2.3. Secado al vacío*

Proceso en el cual el material se somete a condiciones de vacío controlado para reducir la presión en su entorno. Al disminuir la presión, se reduce el punto de ebullición del agua presente en el material, lo que facilita su evaporación a temperaturas más bajas. Esto resulta en un secado suave que evita el sobrecalentamiento del material. Este método se utiliza en aplicaciones sensibles al calor, como la producción de productos farmacéuticos y alimentos liofilizados (Castillo, 2023, p. 28).

### *2.2.2.4. Secado por microondas*

Implica la exposición del material a radiación electromagnética en la banda de microondas. Las microondas generan calor directamente dentro del material al interactuar con las moléculas de

agua, lo que acelera la evaporación. Este método es eficiente en términos energéticos y se aplica en la industria alimentaria, en la secuencia de productos como alimentos deshidratados y snacks (Gutierrez & Gutierrez, 2023, p. 6).

### **2.2.3. Equipos de secado**

#### **2.2.3.1. Secador de tambor**

Son equipos que emplean un cilindro rotativo como cámara de secado. El material húmedo se introduce en el cilindro, donde entra en contacto con la superficie caliente. A medida que el tambor gira, el material seco debido al calor transferido desde la superficie del tambor. Estos secadores son ideales para secar materiales a granel como granos, minerales y productos químicos. Su diseño permite un secado eficiente y uniforme al asegurar un contacto continuo entre el material y la fuente de calor (Sper, 2010, p. 35).

#### **2.2.3.2. Secadores de lecho fluidizado**

Son sistemas que utilizan una corriente de aire caliente para suspender y mantener en movimiento las partículas del material a secar. Esta suspensión crea un lecho fluido en el cual las partículas están en constante movimiento, asegurando un secado uniforme y una distribución homogénea del calor. Este método es efectivo para secar partículas finas y es utilizado en la industria farmacéutica, química y de alimentos para secar materiales sensibles al calor y productos granulares (Gonzales, 2017, pp. 19–21).

#### **2.2.3.3. Secadores por atomización**

Equipos que transforman líquidos en pequeñas gotas finas mediante atomización y luego exponen estas gotas al flujo de aire caliente en una cámara de secado. Esta técnica maximiza la superficie de evaporación, permitiendo que la humedad se evapore rápidamente. Los secadores por atomización son fundamentales en la producción de polvos en la industria alimentaria, química y farmacéutica. El proceso asegura la obtención de polvos con propiedades específicas y esenciales para productos como leche en polvo, detergentes y medicamentos (Guerra, 2012, p. 33).

#### **2.2.3.4. Secador de bandejas**

Consisten en un conjunto de bandejas apiladas, donde el material a secar se coloca en capas en cada bandeja. El aire caliente circula a través de las bandejas, evaporando gradualmente la humedad del material. Este diseño es adecuado para secar productos en lotes y se utiliza en

aplicaciones como el secado de frutas, hierbas y productos agrícolas procesados (Guamán, 2022, pp. 16–17)

#### *2.2.3.5. Secador de túnel*

Equipo especializado diseñado para llevar a cabo procesos de secado en línea de manera continua. Consiste en una estructura alargada y cerrada con una serie de compartimentos o secciones interconectadas que permiten que el material se mueva a través de ellas mientras es sometido a un flujo de aire caliente controlado. Este tipo de secador es comúnmente utilizado en la industria manufacturera para secar productos a granel, como alimentos, productos químicos, textiles, papel y productos farmacéuticos, de manera eficiente y a gran escala (Guamán, 2022, p. 18).

#### *2.2.4. Sistema de control automático*

Conjunto de dispositivos y software que regulan automáticamente un proceso o sistema físico para mantener ciertas variables en un rango deseado. Los sistemas de control automático se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde procesos industriales hasta sistemas de control de climatización en edificios (Hernández, 2010, p. 92).

#### *2.2.5. Sistema a lazo cerrado*

También conocido como sistema de retroalimentación, es un concepto fundamental en el ámbito de control y automatización. Se refiere a un tipo de configuración en la cual la salida de un sistema o proceso es medida y comparada con una referencia deseada o valor objetivo. Esta señal de error resultante de la comparación se utiliza para ajustar y corregir continuamente el sistema con el objetivo de minimizar la discrepancia entre la salida actual y el valor deseado. El sistema a lazo cerrado emplea una retroalimentación constante para mantener o regular la salida en consonancia con un estándar predefinido, lo que resulta en una mayor precisión y estabilidad en comparación con sistemas a lazo abierto.

En un sistema a lazo cerrado, el controlador utiliza la señal de error para calcular y aplicar una acción de control adecuada, que puede ser proporcional, integral o derivativa, o una combinación de estas. La acción de control ajusta las variables del sistema, como la entrada de energía o la velocidad de un motor, para minimizar el error y mantener la salida en línea con el valor deseado. Esta interacción constante entre la medición de la salida real y la referencia deseada permite que el sistema a lazo cerrado sea capaz de enfrentar perturbaciones, cambios en las condiciones y

variaciones en la carga, garantizando un rendimiento más robusto y confiable (Rodríguez et al., 2009, pp. 109–112).

### **2.2.6. Sistema a lazo abierto**

Es un enfoque de control donde la acción de control se basa únicamente en la entrada del sistema y no se realiza ninguna medición o comparación de la salida real con un valor deseado. En este tipo de configuración, las decisiones de control se toman de manera predeterminada y se aplican sin considerar las condiciones cambiantes o los errores que puedan surgir durante el proceso. Dado que no hay retroalimentación para corregir posibles desviaciones, los sistemas a lazo abierto pueden ser menos precisos y menos capaces de manejar perturbaciones o variaciones en el entorno.

Un sistema a lazo abierto es más adecuado cuando las condiciones del proceso son estables y predecibles, y cuando la precisión no es una prioridad crítica. Por ejemplo, en aplicaciones donde se activan dispositivos simples, como interruptores eléctricos para encender luces, la retroalimentación puede no ser necesaria, ya que los efectos de una desviación son mínimos. Sin embargo, en situaciones donde la precisión y la corrección de errores son esenciales, como en sistemas de control de calidad o de manufactura, el uso de sistemas a lazo cerrado es preferible debido a su capacidad para ajustar dinámicamente las acciones de control y mantener el sistema en condiciones óptimas a lo largo del tiempo (Yuquilema, 2022, p. 7).

### **2.2.7. Control On/Off**

El control ON/OFF, también conocido como control binario o de dos estados, es un enfoque fundamental en el campo del control automático. Implica la activación o desactivación abrupta de un actuador en respuesta a las desviaciones de una variable controlada con respecto a un valor de referencia. En el caso del secador por atomización, el control ON/OFF puede desempeñar un papel esencial para garantizar un funcionamiento eficiente y optimizado del sistema.

En la operación de sistemas como el secador por atomización, donde se busca mantener condiciones específicas para asegurar la calidad del producto y la eficiencia energética, el control ON/OFF puede ser implementado para activar o desactivar elementos del sistema, como la atomización o la calefacción, según las necesidades detectadas (Medina, 2017, pp. 6–7).

### **2.2.8. Control de procesos**

Disciplina que se ocupa de diseñar, implementar y mantener sistemas de control automático para regular las variables críticas de un proceso industrial o de manufactura. El control de procesos se utiliza para asegurar que las variables de un proceso se mantengan dentro de rangos seguros y óptimos, lo que a su vez mejora la calidad del producto, reduce los costos de producción y aumenta la eficiencia del proceso. Los sistemas de control de procesos suelen incluir sensores, actuadores, controladores y software de control. Los sensores miden las variables del proceso, como la temperatura, la presión o el flujo, y envían señales al controlador. El controlador procesa las señales de entrada y envía señales al actuador para que ajuste las variables del proceso. El software de control se utiliza para programar el controlador y ajustar los parámetros de control (Naula Sáez, 2017, p. 31).

### ***2.2.9. Instrumentación y control***

Es una rama de la ingeniería que se ocupa de diseñar, instalar, mantener y operar sistemas de medición, control y automatización en una amplia variedad de industrias, incluyendo la industria química, petroquímica, alimentaria, farmacéutica, entre otras. La instrumentación y control se utiliza para medir y controlar variables críticas de un proceso, como la temperatura, la presión, el flujo, la humedad y la concentración, entre otras. Los sistemas de instrumentación y control incluyen sensores, actuadores, transmisores, controladores y software de control. Los transmisores amplifican y convierten las señales de los sensores en señales eléctricas estandarizadas que se pueden transmitir a largas distancias (Bolton, 2004, p. 1).

### ***2.2.10. Atomización***

El proceso de secado por atomización es una técnica ampliamente utilizada en la industria para convertir líquidos en polvos finos o partículas secas, la atomización es una etapa crítica en este proceso, ya que implica la descomposición del líquido en pequeñas gotas, creando una mayor superficie de contacto entre el líquido y el aire caliente, lo que permite una rápida evaporación y secado.

En el proceso de secado por atomización, un líquido se introduce en una cámara de atomización a través de una boquilla o dispositivo similar. Una vez dentro de la cámara, el líquido es rociado en forma de pequeñas gotas que se dispersan en el aire caliente que fluye a través de la cámara, por lo tanto el calor del aire provoca la evaporación del solvente o el agua presente en las gotas, dejando atrás partículas secas en polvo (Ortiz, 2021, p. 15).

### *2.2.10.1. Tipos de atomizadores*

**Atomizadores de Presión (Boquillas de Presión):** Estos atomizadores funcionan al forzar el líquido a través de una boquilla a alta presión, creando una pulverización fina de gotas. Son efectivos para lograr tamaños de partícula pequeños y uniformes. Este método es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales debido a su precisión y capacidad para generar una pulverización constante (Ortiz, 2021, pp. 15–16).

**Atomizadores de Rueda Giratoria (Atomización Centrífuga):** En este tipo de atomizador, el líquido se distribuye sobre una rueda giratoria de alta velocidad. La fuerza centrífuga descompone el líquido en pequeñas gotas que son arrojadas hacia el exterior de la rueda. Este método es adecuado para líquidos viscosos y puede producir partículas finas y uniformes (Ortiz, 2021, pp. 15–16).

**Atomizadores de Disco Giratorio (Atomización por Disco):** Aquí, el líquido fluye sobre un disco giratorio, y debido a la fuerza centrífuga y la fricción, se descompone en gotas finas. Los tamaños de partícula pueden variar según la velocidad de rotación y el diseño del disco. Este método es versátil y se adapta a una amplia gama de aplicaciones (Ortiz, 2021, pp. 15–16).

### *2.2.11. Boquillas de aspersión*

Las boquillas de pulverización o también conocidas comercialmente como boquillas de aspersión son elementos fundamentales en diversas aplicaciones industriales y comerciales que involucran la dispersión uniforme de líquidos en forma de diminutas gotas, estos dispositivos descomponen los líquidos en una fina neblina, lo que posibilita una distribución precisa y regulada sobre superficies, procesos y áreas específicas.

Este mecanismo de atomización se emplea en un variado espectro de sectores, abarcando desde la agricultura y la industria química hasta la limpieza industrial y la manufactura (Orna, 2012, pp. 25–28).

### *2.2.12. Sistema de automatización*

Se desarrolla como un conjunto de dispositivos y software que se utilizan para controlar y monitorizar procesos industriales, maquinaria y equipos. Los sistemas de automatización pueden incluir elementos como sensores, controladores, actuadores, sistemas de comunicación y software de supervisión y control.

### **2.2.13. Sensores**

Se utilizan para medir variables físicas como la temperatura, la presión, el nivel, la posición y el flujo. Los sensores pueden ser analógicos o digitales y se conectan al sistema de control a través de interfaces específicas.

#### **2.2.13.1. Sensores de temperatura**

Son dispositivos que detectan y miden la temperatura de su entorno. Utilizan principios físicos como la variación de la resistencia eléctrica en termistores o la generación de una pequeña tensión en termopares debido a la diferencia de temperatura entre dos puntos. Los sensores de temperatura son fundamentales en aplicaciones que requieren control de temperatura preciso, como sistemas de climatización, procesos de fabricación y sistemas médicos (López, 2018, p. 8).

#### **2.2.13.2. Sensores de humedad**

Miden la cantidad de humedad presente en el aire o en un material. Los sensores capacitivos utilizan cambios en la capacitancia debido a la absorción de agua, mientras que los sensores resistivos varían su resistencia eléctrica en función de la humedad. Estos sensores son cruciales en sistemas de control de clima, monitoreo de cultivos y sistemas de secado (Cuenca, 2016, pp. 9–11).

#### **2.2.13.3. Sensores de nivel**

Estos sensores miden la altura de líquidos o sólidos en un contenedor. Los sensores ultrasónicos emiten ondas sonoras que rebotan en la superficie del líquido y calculan la distancia, mientras que los sensores de flotador utilizan la flotación para indicar niveles. Estos sensores son esenciales en aplicaciones como el monitoreo de tanques de almacenamiento, sistemas de riego y control de nivel de líquidos en procesos industriales (Benalcázar, 2016, pp. 9–11).

### **2.2.14. Controladores**

Dispositivos que procesan la información de los sensores y emiten señales de control a los actuadores. Los controladores pueden ser programables o no programables, y pueden estar basados en PLCs (Controladores Lógicos Programables), DCS (Sistemas de Control Distribuido), o PC (Computadoras Personales).

#### *2.2.14.1. Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo)*

Son ampliamente utilizados en sistemas de control de retroalimentación. Utilizan tres términos: proporcional (P), integral (I) y derivativo (D), para calcular la señal de control. El término proporcional ajusta la acción de control según el error actual, el término integral corrige el error acumulado a lo largo del tiempo y el término derivativo predice la tendencia futura del error. Los controladores PID son eficaces para controlar sistemas con variabilidad y perturbaciones (Jumbo, 2017, pp. 27).

#### *2.2.14.2. Controladores ON/OFF*

Los controladores ON/OFF (encendido/apagado) son simples y funcionan de manera binaria: activan la salida cuando el error supera cierto umbral y la desactivan cuando el error disminuye. Aunque pueden ser adecuados para sistemas no críticos, pueden causar oscilaciones en sistemas más sensibles (Jumbo, 2017, pp. 26).

#### *2.2.14.3. Controladores Lógicos Programables (PLC)*

Son dispositivos electrónicos esenciales en la automatización y el control de procesos industriales y sistemas diversos. Estos dispositivos se programan para ejecutar tareas lógicas y secuenciales mediante lenguajes como el lenguaje de escalera, adaptado a la lógica de control. Los PLC cuentan con entradas para recibir señales del entorno, como sensores, y salidas para activar actuadores como motores y válvulas (Jumbo, 2017, pp. 26–27).

La lógica de control programada permite la toma de decisiones basada en el estado de las entradas, activando o desactivando salidas según condiciones específicas. Los PLC también pueden gestionar funciones de temporización y conteo, controlar tiempos de activación y contar eventos. Además, ofrecen capacidades de comunicación para integrarse con otros dispositivos y redes industriales (Jumbo, 2017, pp. 26–27).

Los PLC se aplican en diversas industrias, como la manufactura para controlar líneas de producción y robots, en procesos químicos y farmacéuticos para controlar procesos, en sistemas de HVAC y sistemas de iluminación en edificios, y en el control de subestaciones eléctricas y generación de energía. Estos controladores destacan por su flexibilidad y reconfigurabilidad, lo que permite adaptarse a cambios en los procesos sin alteraciones físicas y garantizar un funcionamiento seguro (Jumbo, 2017, pp. 26–27).

### **2.2.15. Actuadores**

Dispositivos que convierten la señal de control en movimiento o energía, como motores, válvulas, bombas y compresores. Estos dispositivos son responsables de generar movimientos, fuerzas o cambios en algún aspecto del entorno físico en respuesta a las señales provenientes de un sistema de control. Los actuadores juegan un papel fundamental en una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la robótica y la manufactura hasta el control de sistemas HVAC y la automatización de procesos.

#### **2.2.15.1. Actuadores eléctricos**

Los actuadores eléctricos convierten la energía eléctrica en movimiento mecánico. Los motores de corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) son los más comunes. Los motores DC generan un giro a través de la interacción de un campo magnético generado por imanes permanentes y un campo magnético producido por la corriente que fluye a través de bobinas. Los motores AC, como los motores sincrónicos y asincrónicos, también generan movimiento rotativo mediante campos magnéticos que interactúan con corriente alterna (Paredes & Toapanta, 2018, p. 13).

#### **2.2.15.2. Actuadores neumáticos**

Utilizan aire comprimido para generar movimiento. Los cilindros neumáticos convierten la presión del aire en movimiento lineal mediante un pistón y una varilla conectados. Los motores neumáticos convierten la energía del aire en movimiento rotativo. Estos actuadores son rápidos y resistentes, utilizados en aplicaciones industriales como maquinaria y sistemas de transporte (Urresto, 2019, p. 23)

#### **2.2.15.3. Actuadores hidráulicos**

Se basa en la utilización de fluidos incompresibles para generar movimiento. Los cilindros hidráulicos tienen un pistón que se mueve en un cilindro lleno de fluido. La presión del fluido empuja o tira del pistón, generando movimiento lineal. Los motores hidráulicos convierten la energía hidráulica en movimiento rotativo. Estos actuadores son conocidos por su alta potencia y se utilizan en equipos pesados y sistemas de elevación (Paredes & Toapanta, 2018, p. 15).

#### **2.2.15.4. Actuadores magnéticos**

Los actuadores magnéticos, como parte esencial de los sistemas electromecánicos, utilizan campos magnéticos generados por la corriente eléctrica para inducir movimientos. Entre ellos, los actuadores de bobina móvil convierten esta energía en movimiento lineal o rotativo. Estos consisten en una bobina enrollada alrededor de un núcleo ferromagnético. Cuando fluye corriente eléctrica por la bobina, se crea un campo magnético que interactúa con el campo del núcleo, lo que genera un desplazamiento lineal.

Asimismo, los actuadores de voz, un tipo de actuador magnético, se emplean en aplicaciones como teléfonos móviles y dispositivos portátiles para generar vibraciones que producen sonidos audibles. Los actuadores magnéticos destacan por su velocidad de respuesta y simplicidad de diseño, siendo vitales en dispositivos donde el tamaño y la eficiencia son críticos. Gracias a su naturaleza electromagnética, los actuadores magnéticos encuentran aplicaciones en sistemas de audio, feedback táctil en pantallas, sistemas de enfoque automático en cámaras y diversas aplicaciones de control de movimiento y vibración (Urresto, 2019, pp. 42–47).

#### **2.2.16. Bombas**

Las bombas desempeñan un papel esencial en una amplia gama de aplicaciones industriales al transferir líquidos de un lugar a otro con precisión y eficiencia, en este caso, se utiliza una bomba dosificadora KCS, lo que implica un enfoque particular en la dosificación precisa de líquidos, las bombas dosificadoras KCS son un tipo específico de bombas diseñadas para suministrar volúmenes controlados y exactos de fluidos en un proceso (Suin & Salas, 2011, pp. 6–8).

##### *2.2.16.1. Tipos de bombas*

**Bombas de Diafragma:** Estas bombas son populares para aplicaciones que requieren dosificación precisa y control de flujo. Utilizan un diafragma flexible para generar un flujo constante y uniforme. Son adecuadas para líquidos químicos y corrosivos, y son capaces de dosificar volúmenes pequeños con alta precisión (Suin & Salas, 2011, p. 4).

**Bombas de Engranajes:** Estas bombas utilizan un conjunto de engranajes para desplazar el líquido de una cámara a otra. Son conocidas por su capacidad para manejar líquidos viscosos y fluidos con partículas suspendidas. Son una opción robusta para aplicaciones donde se requiere una dosificación precisa y constante (Suin & Salas, 2011, p. 4).

**Bombas de Pistón:** Las bombas de pistón utilizan movimientos alternativos de un pistón para crear un flujo de líquido. Son adecuadas para aplicaciones que requieren altas presiones y pueden

dosificar volúmenes variables con precisión. Son comunes en aplicaciones industriales y químicas (Suin & Salas, 2011, p. 4)

### **2.2.17. Redes de comunicación**

Se utilizan para conectar los componentes del sistema de automatización y permitir la transferencia de datos y señales de control. Las redes de intercomunicación pueden ser cableadas o inalámbricas.

### **2.2.18. Software de supervisión y control**

Se utiliza para programar los controladores y configurar los sistemas de automatización. El software puede ser personalizado o basado en paquetes de software comerciales como SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) o HMI (Interfaz Hombre-Máquina). (Alberto et al., 2012, pp. 24–38).

### **2.2.19. Interfaz gráfica**

Se implementó una interfaz gráfica que facilitara la interacción con el sistema de control del secador por atomización. Para lograrlo, se eligió una herramienta conocida como Web Access / HMI Designer, esta interfaz ofrece una plataforma robusta y versátil para el diseño y la visualización de la interfaz de usuario, permitiendo un control efectivo.

Esta es una solución que combina la flexibilidad de acceso a través de la web con una interfaz de diseño intuitiva permitiendo crear pantallas y elementos gráficos personalizados que reflejan el estado y el rendimiento del secador por atomización en tiempo real (Romo, 2021, pp. 46–52).

#### **2.2.19.1. Tipos de interfaz gráfica**

**SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition):** Las soluciones SCADA brindan una amplia gama de herramientas para supervisar y controlar sistemas complejos. Estas interfaces gráficas permiten monitorear variables en tiempo real, visualizar tendencias históricas y establecer alarmas. La capacidad de personalización y la representación visual de datos en forma de gráficos y tablas hacen que las soluciones SCADA sean ideales para sistemas industriales como el secador por atomización (Romo, 2021, p. 37).

**HMI (Human Machine Interface):** Las interfaces hombre-máquina son sistemas que permiten la comunicación entre humanos y máquinas. Estas interfaces suelen incluir pantallas táctiles y

elementos gráficos interactivos que facilitan la supervisión y el control del sistema. Las HMI pueden ser personalizadas para mostrar información relevante de manera intuitiva y proporcionar acceso a funciones de control esenciales (Romo, 2021, p. 37).

**Web Interfaces:** Las interfaces basadas en web permiten el acceso remoto a través de navegadores web estándar. Estas interfaces son especialmente útiles cuando se requiere supervisar y controlar el sistema desde ubicaciones remotas. Los usuarios pueden acceder a la interfaz a través de dispositivos como computadoras, tabletas o smartphones, lo que agrega una capa de flexibilidad y accesibilidad (Romo, 2021, p. 37).

#### ***2.2.20. Optimización de proceso***

Es un campo de estudio dentro de la ingeniería de procesos que busca mejorar la eficiencia, la productividad y la calidad de los procesos industriales. Se utiliza para maximizar la producción, minimizar los costos y reducir el impacto ambiental de los procesos industriales, se basa en la recopilación y análisis de datos, la identificación de los cuellos de botella y la eliminación de los desperdicios. Para lograr estos objetivos, se utilizan diversas herramientas y técnicas, tales como el análisis de flujo de materiales, el análisis de la cadena de suministro, el análisis de procesos estadísticos y la simulación de procesos (Caballero et al., 2011, pp. 12–17).

#### ***2.2.21. Temperatura óptima del proceso***

La temperatura de atomización se refiere al nivel de calor presente en el sistema durante la dispersión del líquido en el secador por atomización. Esta temperatura juega un papel crucial en la evaporación del solvente líquido y en la formación de partículas secas. Una temperatura adecuada favorece la rápida evaporación del líquido y la prevención de aglomeraciones indeseadas en las partículas resultantes. Una temperatura demasiado alta puede llevar a una degradación térmica no deseada de los componentes del producto.

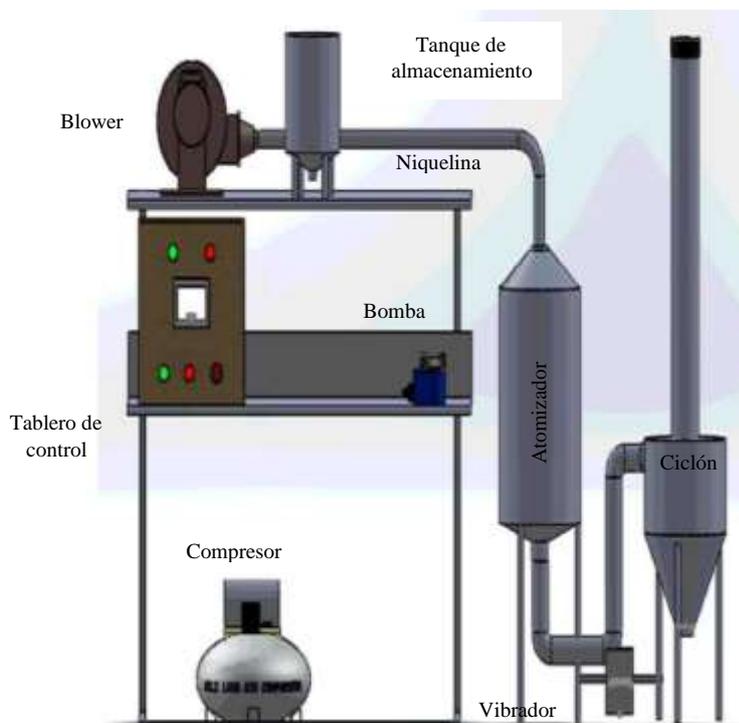
#### ***2.2.22. Humedad del Producto Seco***

La humedad del producto seco se refiere al contenido de agua residual en las partículas secas obtenidas del proceso de atomización. La humedad final del producto tiene un impacto directo en la estabilidad, la vida útil y la calidad sensorial del producto. Un producto seco con una humedad demasiado alta puede ser propenso a la formación de aglomerados y a la degradación microbiana. Por otro lado, un producto con humedad excesivamente baja puede volverse frágil y susceptible a la formación de polvo y pérdida de propiedades organolépticas (Naula Sáez, 2017, pp. 26–27).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Descripción del equipo



**Ilustración 3-1:** Componentes del equipo

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

**Tabla 3-1:** Descripción del equipo

Aspecto	Descripción
<b>Tablero de Control</b>	Panel que aloja componentes eléctricos y electrónicos esenciales para el control y operación del equipo.
<b>PLC</b>	Controlador lógico programable que gestiona las funciones automatizadas del equipo.
<b>Contactores</b>	Interruptores electromagnéticos utilizados para el control de potencia de diferentes componentes del equipo.
<b>Interruptor Electromagnético</b>	Dispositivo que actúa como un interruptor de seguridad electromagnético para interrumpir la alimentación en situaciones de emergencia.
<b>Sensor PT100</b>	Sensor de temperatura basado en resistencia de platino utilizado para medir con precisión la temperatura en el proceso.
<b>HMI Advantech</b>	Interfaz hombre-máquina que permite la interacción con el equipo a través de una pantalla táctil o elementos visuales.

<b>Cableado</b>	Conjunto de cables que conecta los diferentes componentes eléctricos y electrónicos del equipo.
<b>Borneras</b>	Bloques de terminales utilizados para la conexión y desconexión de cables en el tablero de control.
<b>Ventilador</b>	Dispositivo que genera flujo de aire para mantener temperaturas adecuadas en componentes críticos.
<b>Compresor</b>	Dispositivo que aumenta la presión de un gas para su uso en diferentes partes del proceso.
<b>Bomba de Diafragma</b>	Bomba que utiliza un diafragma para mover líquidos en el sistema.
<b>Atomizador</b>	Dispositivo que convierte líquidos en pequeñas partículas para la etapa de secado por atomización.
<b>Tanque de Alimentación</b>	Depósito que almacena la materia prima a ser procesada.
<b>Tuberías de Acero Inoxidable</b>	Conductos resistentes utilizados para el transporte de fluidos.
<b>Ciclón</b>	Equipo que separa partículas sólidas del flujo de aire o gas.
<b>Resistencia</b>	Elemento que genera calor para facilitar el proceso de secado.

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.2. Diagnóstico del equipo

Se realizó un diagnóstico cualitativo detallado del secador por atomización, evaluando diferentes componentes clave del equipo en términos de cuatro categorías: Bueno, Regular, Malo y Muy Malo. Estas categorías permitieron calificar el estado de cada componente en relación con su funcionamiento, rendimiento y condiciones generales.

Este diagnóstico se llevó a cabo mediante una inspección minuciosa de cada componente del secador por atomización, los cuales fueron evaluados individualmente y asignados a una de las cuatro categorías predefinidas.

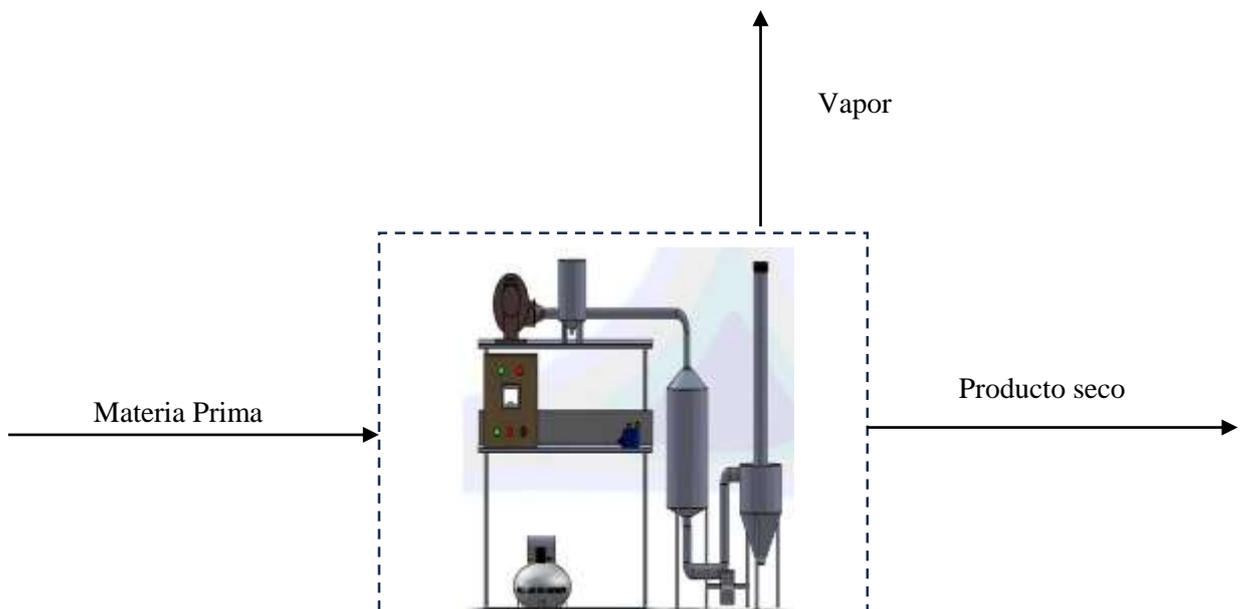
La repotenciación del secador por atomización se basó en la necesidad de mejorar la eficiencia, la confiabilidad y el rendimiento global del equipo, a medida que los componentes clave experimentan desgaste y deterioro con el tiempo, su efectividad puede verse comprometida, lo que resulta en una reducción de la calidad de los productos y un aumento en los costos de operación.

Se requiere realizar una evaluación inicial para determinar el estado actual del equipo y sus componentes que serán objeto de análisis, esto implica examinar detalladamente cada parte del equipo y obtener información precisa sobre su condición inicial antes de proceder con la evaluación completa y próxima repotenciación de los siguientes componentes:

- Tablero de Control
- Ventilador
- Compresor
- Bomba de diafragma
- Atomizador
- Tanque de alimentación
- Tuberías de acero inoxidable
- Ciclón
- Resistencia

### 3.3. Modelo matemático del sistema

El modelo matemático se basó en la ilustración donde se indica como límites al sistema es todo el conjunto de equipos que conforman el atomizador partiendo de un balance de masa donde ingresa la materia prima en fase líquida y se obtendrá siempre dos salidas una de agua en forma de vapor y otra como producto atomizado



$$\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{\text{entrada}} - \dot{m}_{\text{salida}} - \dot{m}_{\text{leche en polvo}}$$

**Donde:**

$$\frac{dM}{dt} = \text{Tasa de cambio de masa total en el sistema con respecto al tiempo}$$

$\dot{m}_{entrada}$  = Tasa de flujo de masa de entrada del sistema

$\dot{m}_{salida}$  = Tasa de flujo de masa de salida del sistema

$\dot{m}_{leche\ en\ polvo}$  = Flujo de masa de salida de producto seco de sistema

$F_{aire\ caliente}$ : Flujo de aire caliente.

$F_{alimentación}$ : Flujo de alimentación.

$P_{aire}$ : Aire a presión.

$T_{tanque}$ : Temperatura en el tanque de atomización.

$C_{tanque}$ : Concentración en el tanque de atomización.

$F_{salida}$ : Flujo de salida del tanque al ciclón.

$T_{ciclón}$ : Temperatura en el ciclón.

$C_{ciclón}$ : Concentración en el ciclón.

$F_{aire\ evaporado}$ : Flujo de aire evaporado.

$F_{producto\ polvo}$ : Flujo de producto en polvo

### **Tanque de Atomización**

$$\frac{dT_{tanque}}{dt} = \frac{1}{m} (F_{aire\ caliente} * T_{aire\ caliente} + F_{alimentación} * T_{alimentación} + P_{aire} * T_{aire}) - \frac{1}{m} * T_{tanque} * F_{salida}$$

Esta ecuación describe cómo cambia la temperatura en el tanque de atomización con el tiempo. La tasa de cambio está influenciada por el flujo de aire caliente, el flujo de alimentación, el aire a presión y la temperatura actual del aire en el tanque.

$$\frac{dC_{tanque}}{dt} = \frac{1}{V} (F_{alimentación} * C_{alimentación} - F_{salida} * C_{tanque})$$

Esta ecuación describe cómo cambia la concentración en el tanque de atomización con el tiempo. La tasa de cambio está influenciada por el flujo de alimentación y la concentración actual en el tanque.

### **Ciclón**

$$\frac{dT_{ciclón}}{dt} = \frac{1}{m_{ciclón}} (T_{tanque} * F_{salida} + T_{aire} * F_{aire}) - \frac{1}{m_{ciclón}} * T_{ciclón} * F_{aire\ evaporado}$$

Esta ecuación describe cómo cambia la temperatura en el ciclón con el tiempo. La tasa de cambio está influenciada por el flujo de salida del tanque, la temperatura en el tanque y el flujo de aire evaporado.

$$\frac{dT_{ciclón}}{dt} = \frac{1}{V_{ciclón}} (C_{tanque} * F_{salida} + C_{aire} * F_{aire}) - \frac{1}{V_{ciclón}} * C_{ciclón} * F_{producto\ polvo}$$

Esta ecuación describe cómo cambia la concentración en el ciclón con el tiempo. La tasa de cambio está influenciada por el flujo de salida del tanque, la concentración en el tanque, el flujo de aire y el flujo de producto en polvo.

### **Salidas del sistema**

$$F_{aire\ evaporado} = F_{aire\ caliente} + F_{aire} - F_{salida}$$

Esta ecuación describe el flujo de aire evaporado y está influenciada por el flujo de aire caliente, el flujo de aire y el flujo de salida del tanque.

$$F_{producto\ polvo} = F_{salida} * C_{ciclón}$$

Esta ecuación describe el flujo de producto en polvo y está influenciada por el flujo de salida del tanque y la concentración en el ciclón (Yanza Hurtado, 2013, pp. 69–79).

### 3.4. Variables del proceso

Para la identificación de variables del proceso se realizó mediante el siguiente procedimiento donde se identificó los componentes del proceso de secado por atomización, como la temperatura de secado, el flujo de aire, la leche en polvo, los sensores y los actuadores. Cada componente será analizado para identificar las variables que tienen un impacto directo en el proceso o que deben ser monitoreadas y controladas. Las variables se categorizarán en "Variables de Entrada", "Variables de Proceso" y "Variables de Salida", y se distinguirán entre variables manipulables y medibles.

Las propiedades físicas de los componentes se considerarán, junto con los factores externos y ambientales que podrían influir en el proceso. se exploraron las relaciones entre las variables para comprender sus interacciones. Las variables clave que afectan el rendimiento y la eficiencia del proceso se identificaron para guiar los análisis y el diseño del nuevo sistema de control. Todas las variables serán documentadas en una tabla que incluirá descripciones, categorías, manipulabilidad, medibilidad, unidades y rangos de operación. Finalmente, se analizará cómo estas variables se integran en el sistema de control, su monitoreo, ajuste y su papel en el logro de los objetivos de repotenciación.

**Tabla 3-2:** Variables por componente

<b>Componente</b>	<b>Variables</b>
<b>Boquilla</b>	Caudal de leche líquida
	Presión de atomización
	Tamaño de gota
<b>Flujo de Aire</b>	Velocidad del flujo de aire
	Temperatura del aire de secado
<b>Leche Líquida</b>	Concentración de sólidos
	Viscosidad
	Temperatura de entrada
	Temperatura de enfriamiento
<b>Leche en Polvo</b>	Caudal de leche en polvo
	Humedad del producto final
<b>Sensores</b>	Nivel de humedad
	Temperatura
<b>Actuadores</b>	Válvulas de control

	Velocidad de la bomba de leche líquida
--	--

Fuente: (Gaibor et al., 2017, pp. 39-42)

**Tabla 3-3:** Variables críticas del proceso

Variable	Unidades	Rango Ideal de Medición
Temperatura del Proceso	°C	0 - 100
Humedad	%	2 - 5
<b>Nivel en el Tanque de Alimentación</b>		
- Alto	%	100
- Bajo	%	25
<b>Sensores</b>		
- Nivel de Humedad	%	15 - 30
- Temperatura del ciclón	°C	20 - 40
Variable	Unidades	Rango de Operación
Caudal de leche líquida	L/min	5 - 20
Presión de atomización	bar	2 - 5
Velocidad del flujo de aire	m/s	10 - 25
Temperatura del aire de secado	°C	150 - 200
Viscosidad	cP	50 - 100
Temperatura de entrada	°C	5 - 10
Temperatura de enfriamiento	°C	20 - 30
Caudal de leche en polvo	kg/min	0.5 - 2
Humedad del producto final	%	2 - 5
Nivel de humedad en el ciclón	%	15 - 30
Temperatura de proceso	°C	0 - 100
Velocidad de la bomba de leche	RPM	500 - 1500

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

**Tabla 3-4:** Rangos de operación de unidades

Fuente: (Gaibor et al., 2017, pp. 39-42)

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.5. Selección de tecnología de equipos

La selección responderá primordialmente al control o manipulación de las variables críticas que fueron encontradas en la sección anterior además la elección de los equipos constituirá un proceso guiado por dos criterios primordiales que garantizarán el éxito de la repotenciación.

En primera instancia, se asignará una atención preeminente a las variables críticas del proceso que demandan un control preciso para asegurar la consecución de un producto final de óptima calidad. La selección de equipos estará fuertemente influida por la necesidad de supervisar y regular estas variables clave de manera eficiente y efectiva.

En segunda instancia, se establecerá una base de selección sólida que contempla diversos aspectos técnicos, como las características de la tecnología, su disponibilidad en el mercado y los aspectos económicos, como los precios y costos asociados. Esta metodología garantiza que, además de satisfacer las necesidades operativas, los equipos seleccionados sean factibles y se ajusten al marco financiero del proyecto, logrando un equilibrio entre el rendimiento técnico y la viabilidad económica.

### 3.5.1. *Transmisor de temperatura y humedad*

Un transmisor de temperatura y humedad es un dispositivo que se utiliza para medir y transmitir datos de humedad relativa y temperatura presente en el ambiente o en un material específico. Estos transmisores funcionan detectando cambios en las propiedades físicas o eléctricas que ocurren debido a la variación en la humedad y temperatura.



**Ilustración 3-2:** Sensor de humedad

Fuente: (Kouro, 2001)

**Tabla 6-3:** Especificaciones Técnicas Sensor de Humedad

Característica	Valor
Dimensiones	40 x 40 x 25 mm
Masa	15 g
Potencia	15 mW
Ratio de datos	208 bits/s, 1.4 Mbits/sol

Temperatura de funcionamiento	150 – 400 °K
Temperatura de Operación	203 – 323 °K
Rango	0 – 100% RH
Precisión típica	$\pm 8\%RH$ in $-70^{\circ}C$ , $\pm 5\%RH$ in $-40^{\circ}C$ , $\pm 3\%RH$ in $-20^{\circ}C$
Resolución	1% RH

Fuente: (Kouro, 2001, pp. 18–19)

### 3.5.2. Sensor de nivel 52940

Un sensor es un dispositivo diseñado para medir y detectar cambios en una magnitud física, como temperatura, presión, nivel, luz, entre otros. Los sensores convierten estas magnitudes en señales eléctricas o digitales que pueden ser interpretadas y utilizadas para controlar sistemas, monitorear procesos o generar respuestas automáticas. Los sensores desempeñan un papel fundamental en diversas aplicaciones industriales, científicas y cotidianas al permitir la recopilación de datos en tiempo real para facilitar la toma de decisiones y la automatización.



**Ilustración 3-3:** Sensor de nivel 52940

Fuente: (Services, 2021, p. 22)

**Tabla 3-5:** Especificaciones técnicas

Material cuerpo	Polipropileno
Temperatura de operación	-10 a +60°C
Capacidad de contactos	0,8A

Fuente: (Services, 2021, p. 22)

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.5.3. Sensor de temperatura pt100

El sensor de temperatura PT100 es un dispositivo de medición altamente preciso que se basa en la propiedad de cambio de resistencia eléctrica del platino en función de la temperatura. El

término "PT100" proviene de "Platinum Resistance Temperature Detector" (Detector de Temperatura por Resistencia de Platino), y es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales, científicas y comerciales para medir con precisión las temperaturas.

**Tabla 3-6:** Especificaciones técnicas del sensor de temperatura Pt100

Característica	Valor
Rango de Temperatura	-200°C a +850°C (Varía según el modelo)
Clase de Precisión	Clase A, Clase B, Clase 1/3B, etc.
Coefficiente de Temperatura	0.00385 Ω/°C (Valor estándar)
Material del Elemento Sensible	Platino Puro (99.99%)
Tolerancia de Resistencia	±0.06% (Clase A), ±0.12% (Clase B)
Sensibilidad	0.385 Ω/°C
Resistencia a 0°C	100 Ω (Valor nominal)
Tipo de Conexión	2, 3 o 4 Hilos
Rango de Corriente Máxima	Por ejemplo, 1 mA
Estabilidad a Largo Plazo	Por ejemplo, ±0.1% por año
Tiempo de Respuesta	Por ejemplo, <1 segundo
Diámetro del Cable	Varía, por ejemplo, 2 mm a 4 mm
Encapsulado	Cerámico o Acero Inoxidable
Longitud del Sensor	Varía según la aplicación
Protección	IP67 (Algunos modelos)
Aplicaciones Típicas	Control de Procesos, HVAC, Laboratorios, Industria Alimentaria, entre otras

Fuente: (Kouro, 2001, p. 12)

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.5.4. PLC Siemens Logo 8.3

La utilización del PLC Siemens Logo 8.3 en la automatización del equipo de secado por atomización es de gran importancia debido a su capacidad para brindar un control preciso y confiable del proceso. En este caso específico, se ha optado por utilizar este PLC debido a la incompatibilidad del antiguo PLC con la nueva pantalla Advantech.

El PLC Siemens Logo 8.3 ofrece una interfaz de programación sencilla y amigable, lo que facilita su configuración y programación incluso para usuarios sin experiencia previa en programación de PLC. Además, cuenta con diversas funcionalidades que son esenciales para el control del proceso de secado por atomización.



**Ilustración 3-4:** PLC siemens logo 8.3

**Fuente:** (Services, 2021, p. 22)

Con este PLC, es posible gestionar y supervisar variables críticas como la temperatura, el caudal y la presión, que son fundamentales para lograr una atomización eficiente y obtener un producto de alta calidad. Además, permite la coordinación precisa de las diferentes etapas del proceso, garantizando un funcionamiento óptimo y seguro.

**Tabla 7-3:** Especificaciones técnicas PLC siemens logo 8.3

Característica	Valor
Número de Entradas	8
Entrada/Voltaje de suministro	115 ... 230V AC/DC
Rango Permissible	85VAC a 265 VAC; 100VDC a 253 VDC
Número de Salidas	4 (Relay)
Corriente continua	10 Amps. con carga Resistiva; 3 Amps. con carga Inductiva
Protección contra cortocircuitos	Breaker de protección externa es requerido
Frecuencia de cambio	2 Hz con carga Resistiva; 0.5 Hz con carga Inductiva
Ciclo de Tiempo	<0,1 mS / función
Pantalla (Display)	Si
Cables Borneras de conexión	2 x 1.5 mm <sup>2</sup> ; 1 x 2.5 mm <sup>2</sup>
Temperatura Ambiente	0 a 55 °C
Temperatura de Almacenamiento	-40 °C a +70 °C
Grado de Protección	IP20
Montaje	Sobre riel DIN (35mm), o sobre pared
Dimensiones (An x Al x Pf)	71.5 (4MW) x 90 x 60 (mm)
Cable de Programación	Ethernet
Programa Máximo memoria	400 Bloques
Modulo externo de Memoria	Tarjeta Estándar Micro SD (no incluida)
Registro de datos	En Memoria Interna (200 datos grabados) / En Tarjeta Micro SD (2000 datos grabados)

**Fuente:** (Services, 2021, pp. 7–8)

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.6. Integración o instalación de tecnología

En la tabla se indica el lugar e instalación que se realizó sobre la tecnología seleccionada dentro y fuera del equipo.

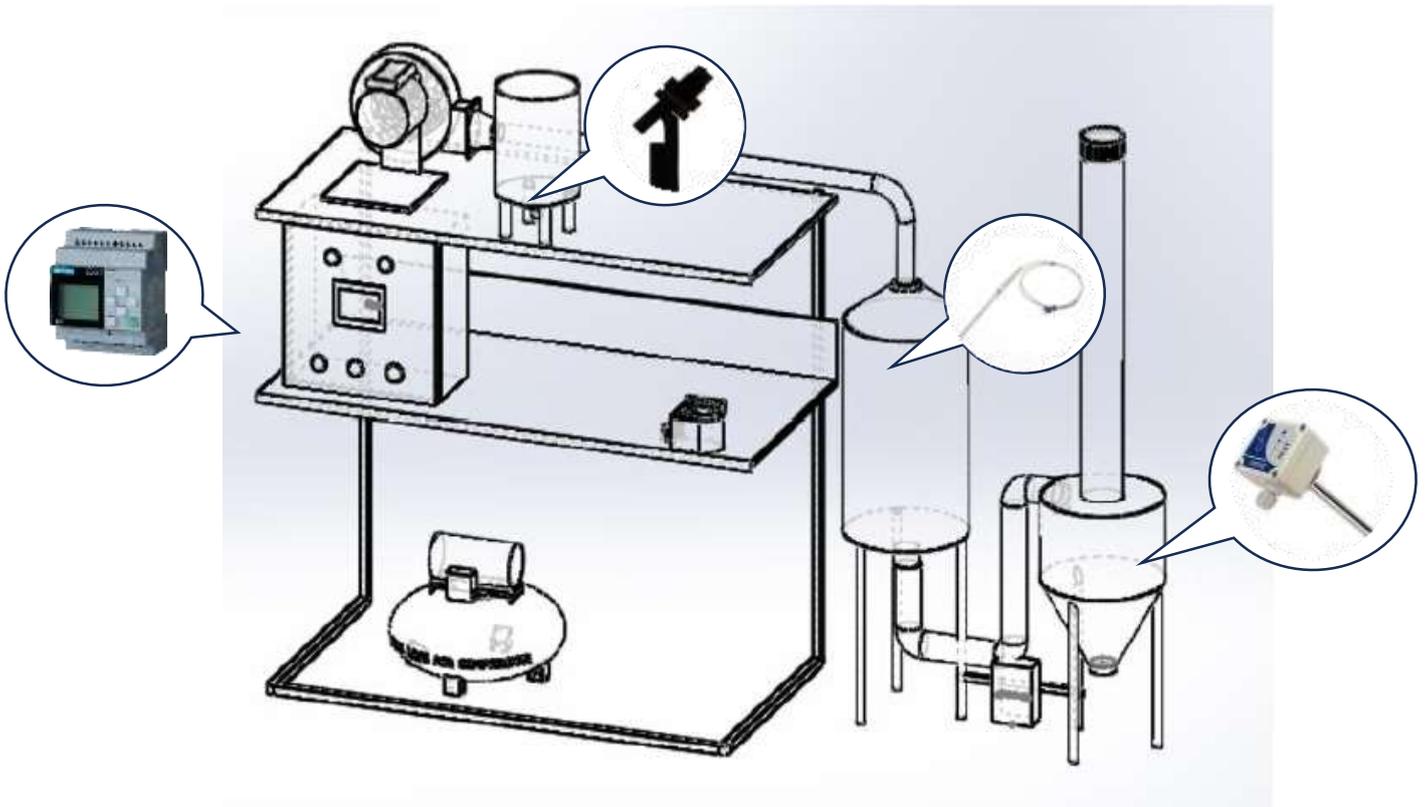
**Tabla 3-7:** Instalación de tecnología

Sensor	Lugar de Integración	Instalación
Transmisor de temperatura y humedad	Ciclón	Se perforó la parte superior del ciclón con un agujero de diámetro de 16 mm y sujetado con tornillos de acero inoxidable
Nivel	Tanque de alimentación	Se perforó en la parte lateral inferior del tanque con un agujero de diámetro 15 mm
Temperatura	Atomizador	Se perforó el tanque de atomización en la parte superior con un agujero de diámetro 5 mm
PLC Siemens Logo 8.3	Panel de control	Se colocó el PLC dentro del panel de control mediante canales de puntal las cuales ayudan a sujetar al mismo

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.7. Diagrama de integración e instalación

En la imagen siguiente, se presenta una visualización detallada de la tecnología que ha sido instalada en el equipo, esta representación proporciona una instantánea integral de los componentes y dispositivos que forman parte de la configuración del equipo, ofreciendo una visión completa de la sofisticada infraestructura tecnológica implementada.



**Ilustración 3-5:** Diagrama de tecnología instalada

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.8. Diagrama GRAFCET del nivel bajo y temporizado del sistema

$$E_0 = Bit_{inicial} + Paro\ emergencia + \bar{E}_0 \cdot \bar{E}_1$$

$$E_1 = E_0 \cdot Mem\ pulso\ alto \cdot Mem\ proceso + E_4 \cdot Reset + E_1 \cdot \bar{E}_2$$

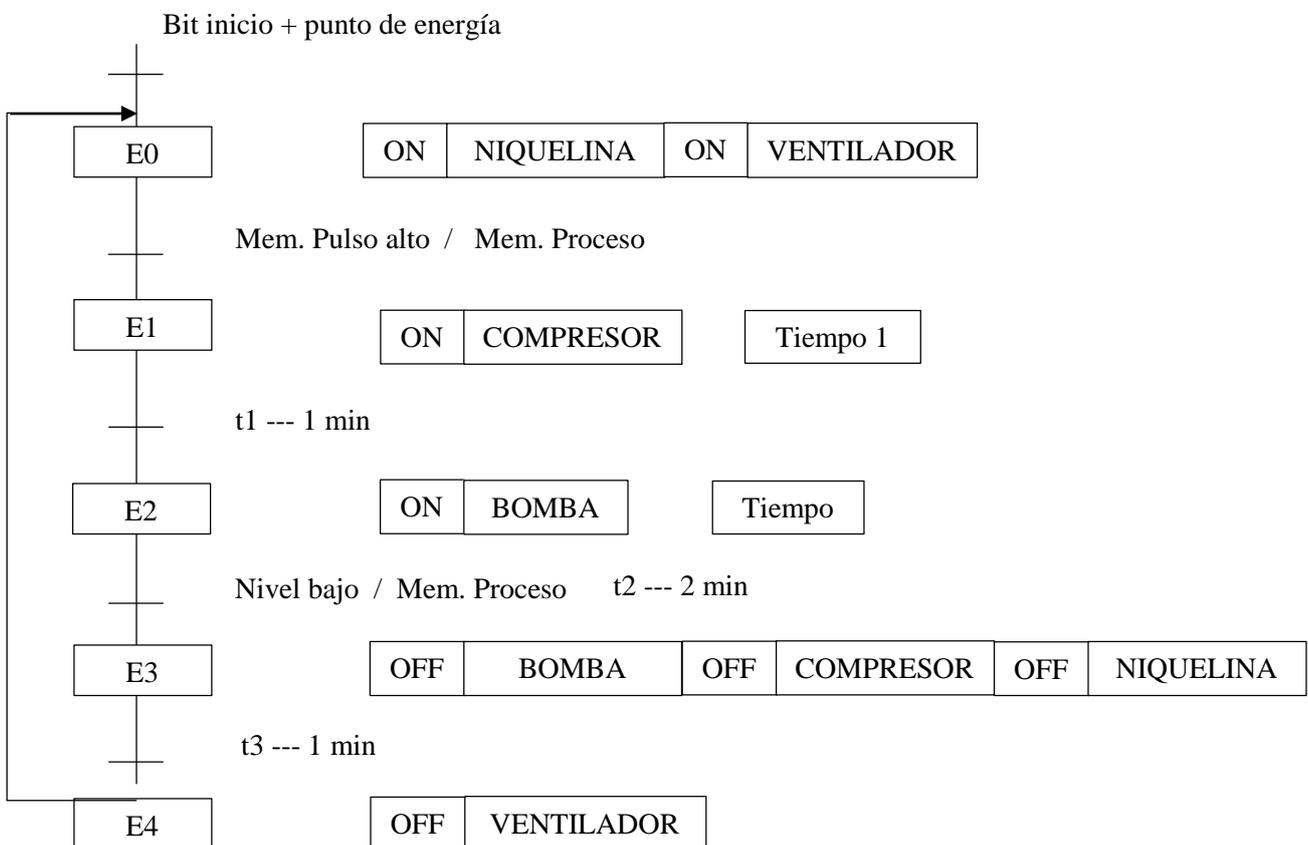
$$E_2 = E_1 \cdot t_1 + E_2 \cdot \bar{E}_3$$

$$E_3 = E_2(Nivel\ bajo + Mem\ proceso) + E_3 \cdot \bar{E}_4$$

$$E_4 = E_3 \cdot (t_2 + Mem\ proceso) + E_4 \cdot \bar{E}_1$$

### 3.9. Diagrama GRAFCET del proceso

El diagrama describe el flujo de un proceso de manera secuencial y controlada. En la etapa inicial (Etapa 0), se inicia el sistema con la activación de la niquelina y el ventilador, seguido por la transición hacia la etapa 1 mediante una memoria de pulso alto. En la etapa 1, se añade la activación del compresor, dando inicio a un período de espera de 1 minuto. Posteriormente, en la etapa 2, se enciende la bomba, marcando el inicio de un tiempo de espera de 2 minutos. Luego, en la etapa 3, se apagan la bomba, el compresor y la niquelina, indicando la finalización del proceso. En esta etapa se introduce un tiempo de espera adicional de 1 minuto (tiempo 3) antes de pasar a la etapa 4, donde se procede a apagar el ventilador. Este flujo de acciones se ejecuta de manera precisa y controlada, representando un ciclo completo del equipo.



### 3.10. Variabilidad del fluido

Se recopiló datos relacionados con diferentes niveles de operación de la bomba, así como la variación en el caudal cuando la válvula de aspersión se encuentra al 50% y 100% de su apertura.

Los siguientes valores representan el caudal en función de la operación de la bomba y la fracción de apertura de la válvula, la **Tabla 3-8** nos permite comprender cómo cambia el caudal de fluido en función de las variaciones en la velocidad de la bomba y la apertura de la válvula.

**Tabla 3-8:** Diferencia de caudales de la bomba

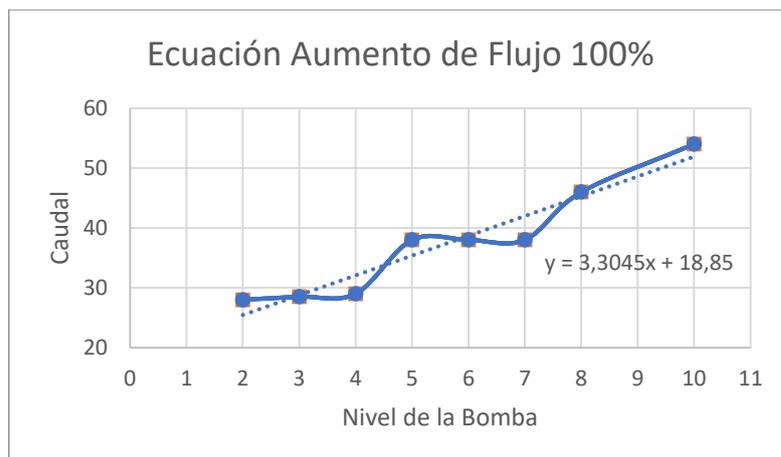
<b>Niveles de la bomba</b>	<b>Caudal 100%</b>	<b>Caudal 50%</b>
2	28	14
3	28,5	14,5
4	29	14,5
5	38	18
6	38	18
7	38	19
8	46	22
10	54	25

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

Se llevaron a cabo mediciones y experimentos en un entorno controlado con el propósito de analizar y comprender el comportamiento del sistema de flujo de fluidos en condiciones variables, uno de los aspectos cruciales es el estudio del aumento del caudal en relación con el nivel de operación de una bomba.

Se determinó el comportamiento del sistema de flujo de fluido en relación con la operación de una bomba en distintos niveles de potencia, con el fin de comprender el aumento del caudal en función del nivel de la bomba. Los datos obtenidos mediante pruebas experimentales, nos brindan la oportunidad de formular una ecuación que describe de manera cuantitativa y matemática cómo varía el caudal al 100% en función del nivel de la bomba.

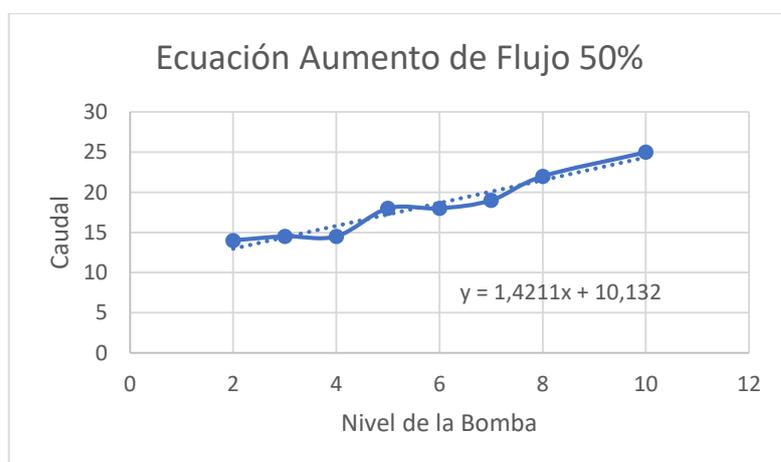
A continuación, presentamos una representación visual de esta relación en la forma de una gráfica que demuestra claramente la tendencia de aumento del flujo en función de los diferentes niveles de la bomba.



**Ilustración 3-6:** Aumento de flujo - 100%

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

De igual manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se determinó el comportamiento del sistema de flujo en relación con los niveles de la bomba, obteniendo la ecuación de la recta y la respectiva gráfica que demuestra el aumento del caudal en función del nivel de dicha bomba.



**Ilustración 3-7:** Aumento de flujo - 50%

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.11. Desarrollo y programación del sistema controlador PLC

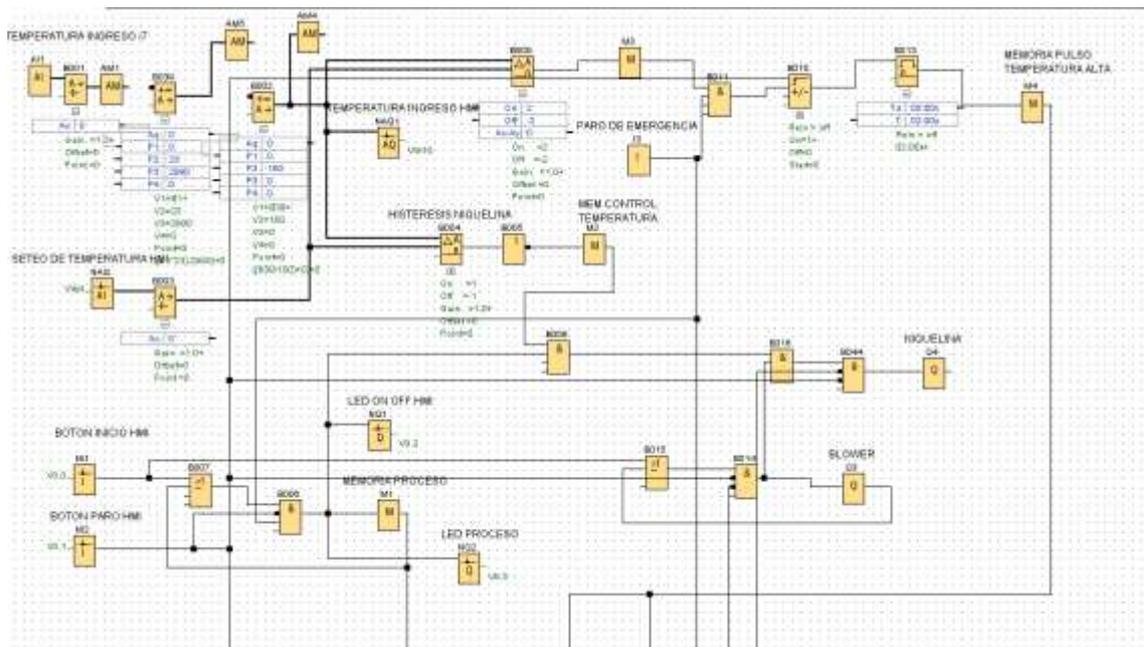
#### 3.11.1. Programación para la Repotenciación del Sistema de Control Automático de un Secador por Atomización

La programación para la repotenciación del sistema de control automático de un secador por atomización consta de tres etapas esenciales, cada una encargada de controlar y supervisar diferentes componentes del sistema con un enfoque técnico y preciso.

### 3.11.1.1. Control On/Off de Resistencia y Ventilador con Paro de Emergencia

En esta etapa, se implementa el control On/Off de la resistencia térmica y el ventilador en el proceso de secado por atomización. Además, se integra una función de paro de emergencia que puede detener todo el sistema en caso de situaciones críticas. La programación se enfoca en:

- Supervisar los sensores y entradas para detectar el paro de emergencia.
- Controlar el encendido y apagado de la resistencia para mantener la temperatura deseada en la cámara de secado.
- Regular el funcionamiento del ventilador para asegurar un flujo de aire adecuado.
- Diseñar la lógica necesaria para garantizar que el sistema se detenga inmediatamente en caso de activarse el paro de emergencia.



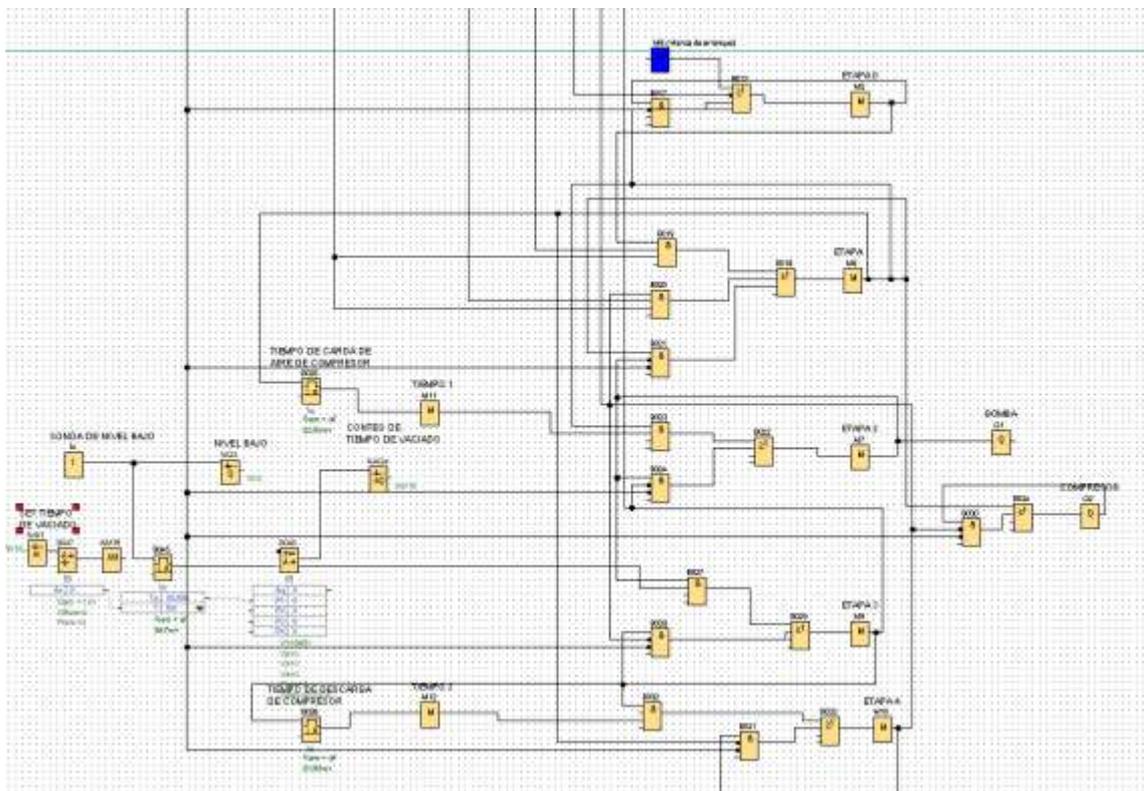
**Ilustración 3-8:** Primera etapa del desarrollo y programación del sistema controlador PLC

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.11.1.2. Control del Compresor, Sensor de Nivel y Bomba

En esta etapa, se implementa el control del compresor, el sensor de nivel y la bomba, elementos clave para el funcionamiento eficiente del secador por atomización. La programación detallada comprende:

- Controlar el tiempo de carga y descarga del compresor, optimizando el suministro de aire comprimido al sistema.
- Monitorear el sensor de nivel para controlar el llenado y vaciado del tanque de alimentación, considerando tanto el tiempo de vaciado como la detección de nivel bajo.
- Regular la bomba que dosifica el líquido a ser atomizado, ajustando el flujo según las condiciones necesarias.



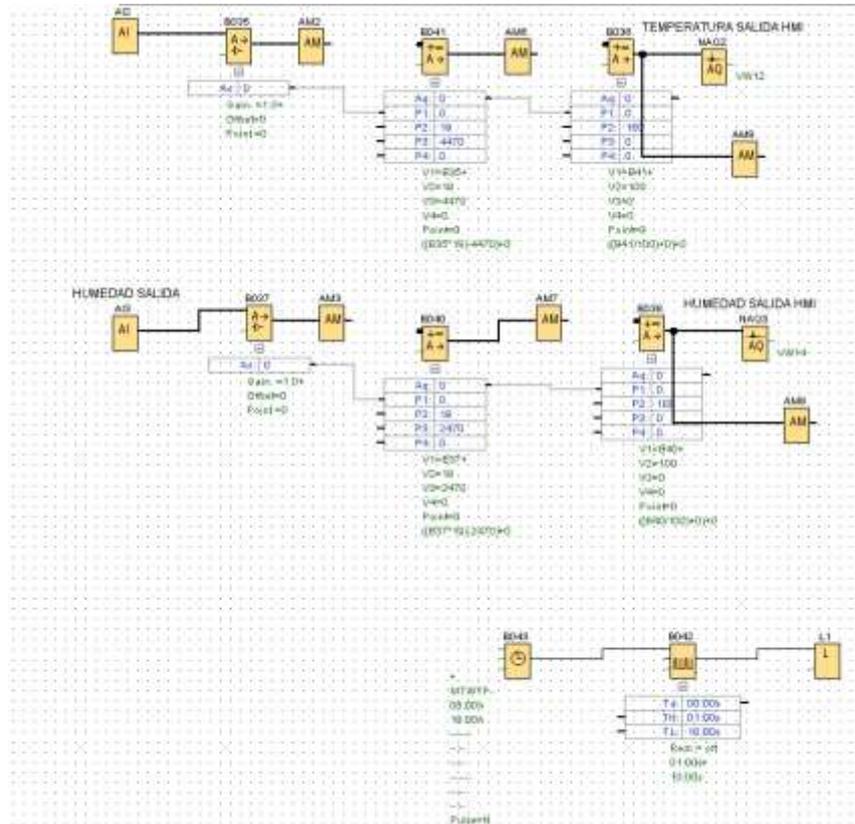
**Ilustración 3-9:** Segunda etapa del desarrollo y programación del sistema controlador PLC

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.11.1.3. Control de Temperatura y Humedad con Captura de Datos por Ethernet

La tercera etapa se centra en el control de la temperatura y humedad de salida del transmisor, así como en la toma de datos para análisis posteriores. Esta programación involucra:

- Monitorear y ajustar la temperatura y humedad de salida del transmisor, manteniendo los valores en los rangos deseados.
- Establecer una conexión Ethernet para capturar datos relevantes del proceso.
- Diseñar una interfaz de usuario que permita visualizar y registrar los datos obtenidos, facilitando el análisis y la toma de decisiones informadas.



**Ilustración 3-10:** Tercera etapa del desarrollo y programación del sistema controlador PLC

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.12. Validación del equipo

Para la validación del secador por atomización, se escogió como materia prima la leche entera VITA, la cual nos permite una simulación realista de las condiciones operativas y los parámetros críticos del proceso, a través de esta metodología, se busca garantizar que las características de funcionamiento del equipo sean plenamente coherentes con las expectativas y requisitos previamente definidos.

#### 3.12.1. Variables físicas

### 3.12.1.1. Densidad

Está definida como la cantidad de masa por unidad de volumen, esta propiedad se toma en cuenta para determinar los tamaños y geometría adecuado de la boquilla de aspersion que se utilizará en el proceso y de esa manera tener una buena consistencia en la densidad de la leche para lograr una atomización uniforme y obtener partículas de tamaño y distribución deseables.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Se determina que la densidad de la leche usada en el proceso de secado por atomización es de  $1.028 \frac{g}{cm^3}$ , “De acuerdo con (Inga, 2017, p. 4) la densidad de la leche debe estar entre  $(1.028 \frac{g}{cm^3} \text{ y } 1.035 \frac{g}{cm^3})$ , esto muestra que la densidad idónea de la leche es crucial para garantizar una atomización eficiente y obtener un polvo de leche de alta calidad.

### 3.12.1.2. Punto de congelación

La determinación del punto de congelación de la leche entera es de gran importancia en la industria láctea, ya que proporciona información relevante sobre su composición y calidad, se ha observado que el punto de congelación de la leche entera se encuentra dentro de un rango de  $-0.540 \text{ } ^\circ\text{C}$  a  $-0.512 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Según (Mendoza, 2016, p. 14), se ha observado que el punto de congelación de la leche entera Vita  $-0.540 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Este valor representa la temperatura a la cual la leche entera comienza a solidificarse, lo cual está estrechamente relacionado con su composición y concentración de sustancias disueltas.

### 3.12.1.3. Punto de ebullición

El punto de ebullición de la leche entera es un parámetro fundamental que proporciona información crucial sobre su composición y calidad. Este punto representa la temperatura a la cual la leche alcanza su estado de ebullición y se convierte en vapor. Según (Mendoza, 2016, p. 14), se ha determinado que el punto de ebullición de la leche entera Vita se encuentra en un rango de  $100.1 \text{ } ^\circ\text{C}$  a  $100.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## 3.12.2. Variables químicas

**Tabla 1-3:** Composición química de la leche vita entera

Cantidad por porción
----------------------

Porciones por envase		4 porciones	
Especificación	Cantidad en gramos	Porcentaje	
Grasa Total	7	11 %	
Ácidos Grasos Saturados	3	15 %	
Ácidos Grasos Trans	0		
Ácidos Grasos Monoinsaturados	4		
Ácidos Grasos Poli insaturados	0		
Colesterol	27	9 %	
Sodio	170	7 %	
Carbohidratos	10	3 %	
Proteína	8	16 %	
Calcio		38 %	

Fuente: (Toledo, 2006, p. 78)

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.13. Ingeniería del proyecto

#### 3.13.1. Estado técnico del equipo

Se requiere realizar una evaluación inicial para determinar el estado actual del equipo y sus componentes que serán objeto de análisis, esto implica examinar detalladamente cada parte del equipo y obtener información precisa sobre su condición inicial antes de proceder con la evaluación completa y próximo rediseño.

- Tablero de Control
- Ventilador
- Compresor
- Bomba de diafragma
- Atomizador
- Tanque de alimentación
- Tuberías de acero inoxidable
- Ciclón
- Resistencia

#### 3.13.2. Valores a calificar

La asignación de los valores a calificar para el desarrollo del proyecto depende del estado del mismo los cuales están dentro del siguiente rango de valoración

**Tabla 3-9:** Asignación de valores a calificar

Bueno	1
Regular	0.8
Malo	0.6
Muy Malo	0.4

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 3.13.3. Aspectos calificados

Dependiendo de los datos determinados en la **Tabla 3-2;Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se debe determinar el daño y porcentaje de reparación del equipo.

**Tabla 3-10:** Aspectos calificados

ASPECTO	CANTIDAD	VALORACIÓN UNITARIA	TOTAL
Bueno	4	1	4
Regular	7	0.8	5.6
Malo	2	0.6	1.2
Muy Malo	2	0.4	0.8
TOTAL			11.6

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### 3.13.3.1. Porcentaje de reparación

$$\%Reparación = \frac{\sum Valoración}{Total} * 100$$

$$\%Reparación = \frac{11.6}{15} * 100$$

$$\%Reparación = 77.33\%$$

### 3.13.4. Métodos y técnicas

#### 3.13.4.1. Métodos

Este proyecto tiene como objetivo realizar una investigación que combina elementos descriptivos y experimentales. Para lograr esto, se utilizarán métodos respaldados por una base bibliográfica sólida, incluyendo tesis y trabajos publicados, estas fuentes proporcionarán los conceptos,

definiciones, técnicas y principios científicos necesarios para alcanzar los objetivos establecidos. Además, se recopilará información a través de la recolección de datos experimentales con el fin de abordar cualquier interrogante que pueda surgir durante el proceso de secado por atomización y evaluar el producto resultante.

a) Método Descriptivo

La repotenciación del proceso de secado por atomización para obtener polvo de leche a partir de la leche entera VITA implica comprender de manera integral todas las características relacionadas con el proceso, el equipo utilizado, la materia prima y los insumos involucrados.

Esto permitirá un progreso gradual en la comprensión de cada aspecto y la realización de cálculos de ingeniería necesarios, considerando la amplia variación de los parámetros operativos. De esta manera, se garantiza que el equipo se ajuste a las condiciones requeridas para obtener el polvo de leche.

Para llevar a cabo la Operación Unitaria de Secado por Atomización con el objetivo de obtener leche en polvo, se realizó una selección cuidadosa de la materia prima basada en su frescura y cumplimiento de los criterios establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 701:2009, específicamente la norma para la leche larga vida. Al tratarse de leche procesada, todas las especificaciones tanto físicas como químicas ya están estandarizadas y se espera que cumplan con los requisitos establecidos.

Es importante destacar que el enfoque de este proyecto se basa en la comprensión exhaustiva de cada componente y aspecto del proceso de secado por atomización, así como en el cumplimiento de las normas y estándares aplicables. Esto garantiza una producción de polvo de leche de alta calidad y asegura el cumplimiento de los requisitos de la industria láctea.

#### *3.13.4.2. Técnicas*

Para la producción de leche en polvo a partir de leche entera VITA, se llevó a cabo una cuidadosa selección de la materia prima, considerando principalmente su frescura. Como resultado, se determinó que la leche larga vida - UHT (Ultra High Temperature) sería el producto principal utilizado en el proceso de secado por atomización, ya que es importante destacar que la frescura de la materia prima juega un papel crucial en la calidad del producto final (Toledo, 2006, p. 25).

Asimismo, se debe garantizar que la leche en polvo cumpla con los estándares establecidos en la normativa correspondiente. La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 298:2011 proporciona las pautas y especificaciones necesarias para asegurar que la leche en polvo cumpla con los requisitos de calidad, composición y características físicas y químicas adecuadas para su consumo y aplicación en diversos productos alimenticios (Inga, 2017, p. 4).

**Tabla 3-11:** Propiedades físico – químicas de la materia prima

<b>PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS</b>		
<b>Propiedades Físicas</b>		
Densidad	$1.028 \frac{g}{cm^3}$	
Punto de Fusión	-0.540 °C	
Punto de Ebullición	100.2 °C	
<b>Propiedades Químicas</b>		
<b>Cantidad por porción</b>		
<b>Porciones por envase</b>	<b>4 porciones</b>	
<b>Especificación</b>	<b>Cantidad en gramos</b>	<b>Porcentaje</b>
Grasa Total	7	11 %
Ácidos Grasos Saturados	3	15 %
Ácidos Grasos Trans	0	
Ácidos Grasos Monoinsaturados	4	
Ácidos Grasos Poli insaturados	0	
Colesterol	27	9 %
Sodio	170	7 %
Carbohidratos	10	3 %
Proteína	8	16 %
Calcio		38 %

**Fuente:** (Toledo, 2006, p. 78)

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Diagnóstico del equipo

Se refleja el estado en el que se encontraba el equipo de secado por atomización antes de llevar a cabo el proceso de repotenciación, esta información captura las condiciones, capacidades y aspectos operativos del equipo previos a las mejoras y actualizaciones realizadas.

**Tabla 4-1:** Evaluación de aspectos técnicos

ASPECTOS		BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
Tablero de Control	PLC Beckhoff BC9191			x	
	Contactores		x		
	Interruptor Electromagnético	x			
	Sensor pt100	x			
	HMI Advantech	x			
	Cableado				x
	Borneras				x
Ventilador		x			
Compresor		x			
Bomba de diafragma			x		
Atomizador			x		
Tanque de alimentación			x		
Tuberías de acero inoxidable			x		
Ciclón			x		
Resistencia			x		

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

##### 4.1.1. Evaluación tablero de control

El tablero de control mostró una combinación de componentes en mal estado (PLC), regulares (contactores) y buenos (interruptor electromagnético, sensor PT100 y HMI Advantech). Sin embargo, la presencia de elementos en condiciones muy malas (cableado y borneras) fue una señal de problemas potenciales de funcionamiento y seguridad, por lo tanto la repotenciación es justificada para garantizar un control fiable y seguro del equipo.

#### ***4.1.2. Otros aspectos***

Varias partes del equipo, como el ventilador y el compresor, están en buen estado, lo que sugiere que ciertas áreas operan de manera adecuada. Sin embargo, la presencia de componentes en condiciones regulares (bomba de diafragma, atomizador, tanque de alimentación, tuberías de acero inoxidable y ciclón) podría afectar la eficiencia y la consistencia del proceso, la repotenciación podría mejorar estos aspectos para optimizar el rendimiento global.

Luego de identificar las variables que afectan al proceso de atomización se determinó que la humedad es una variable crucial en el proceso de secado por atomización por lo que se sugiere implementar un transmisor de temperatura y humedad que determina la humedad del ambiente en el ciclón ya que por las características del equipo no es posible medir la humedad directamente del producto final

#### **4.2. Interfaz Gráfica**

La Interfaz gráfica del sistema implementado en el programa WebAccess/HMI Designer nos ayudó a representar de una manera más eficiente todas las curvas del proceso tomando en cuenta que esta es una aplicación de diseño de interfaces humano-máquina (HMI) diseñada para simplificar la creación de interfaces visuales interactivas en entornos industriales y de automatización.

##### ***4.2.1. Portada de la interfaz gráfica***

Muestra una introducción amplia que sirve como punto de partida para diversas funcionalidades de la implementación, en esta vista se presentan tres botones prominentes, cada uno de estos demuestra la entrada a una pantalla diferente.



**Ilustración 4-1:** Portada

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

En la tabla **Tabla 4-2**, se describen las funciones de cada ícono que conforman la portada de la interfaz gráfica, la cual consta de 3 opciones detallando cada una de estas las cuales redirigen a sección de la interfaz del proceso.

**Tabla 4-2:**Funciones de los íconos de la portada

Íconos	Función
Proceso	Este apartado permite la visualización en tiempo real del estado de encendido de cada componente del equipo.
Temperatura y humedad	Nos brinda la información visual sobre las variaciones térmicas y de humedad de la salida del ciclón.
Ajustes	Esta proporciona acceso a una gráfica detallada del control del nivel del tanque de alimentación.

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### 4.2.2. Curva de temperatura Pt100

El ícono del proceso nos dirige la representación visual de una curva de temperatura, que está representada por una línea de tendencia que corresponde al valor del setpoint configurado. Esta línea de tendencia de setpoint es ajustable y permite el control preciso de la temperatura deseada dentro del sistema, de igual manera una segunda línea la cual representa la curva de temperatura que nos refleja el sensor denominado pt100.

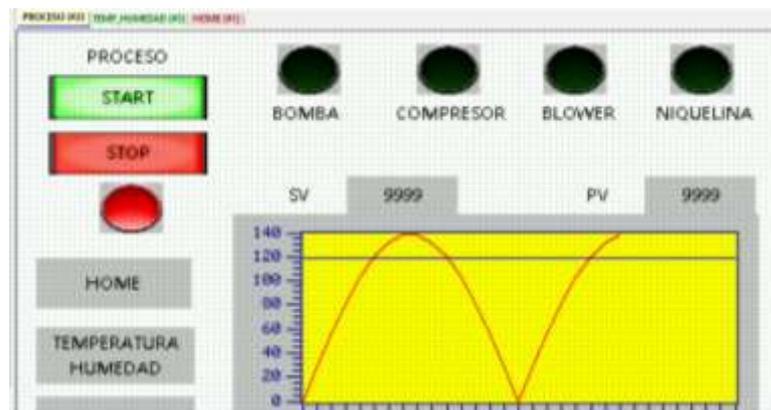
Dentro de esta interfaz también se encuentran cuatro luces, bomba, compresor, blower y niquelina, cada uno de estas determinan el encendido o apagado de los equipos que corresponden al proceso.

En el lado izquierdo superior de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se encuentra un apartado que nos da entrada al inicio y paro del proceso.

El botón “START” determina el punto de inicio del proceso en el cual el funcionamiento del equipo se pone en marcha.

El botón “STOP” determina un nuevo ciclo de proceso, apagando todos los componentes y reiniciando la secuencia el graficet.

Por tal motivo interfaz gráfica brinda una representación intuitiva y amigable de la relación entre la temperatura actual y el setpoint, así también como un punto de inicio y reseteo del ciclo del proceso, facilitando así la supervisión y el ajuste eficiente del proceso.



**Ilustración 4-2:** Interfaz gráfica de la curva de temperatura (pt100)

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### 4.2.2.1. Escalado de señal de temperatura pt100

Para comprender como funciona el proceso de medición de temperatura utilizando un sensor pt100, es esencial adentrarse en el concepto de escalado de temperatura, en las siguientes expresiones se detalla una respuesta al cambio de temperatura con respecto a la resistencia del sensor

$$(130:0)$$

$$(x_1:y_1)$$

$$(650:120)$$

$$(x_2:y_2)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

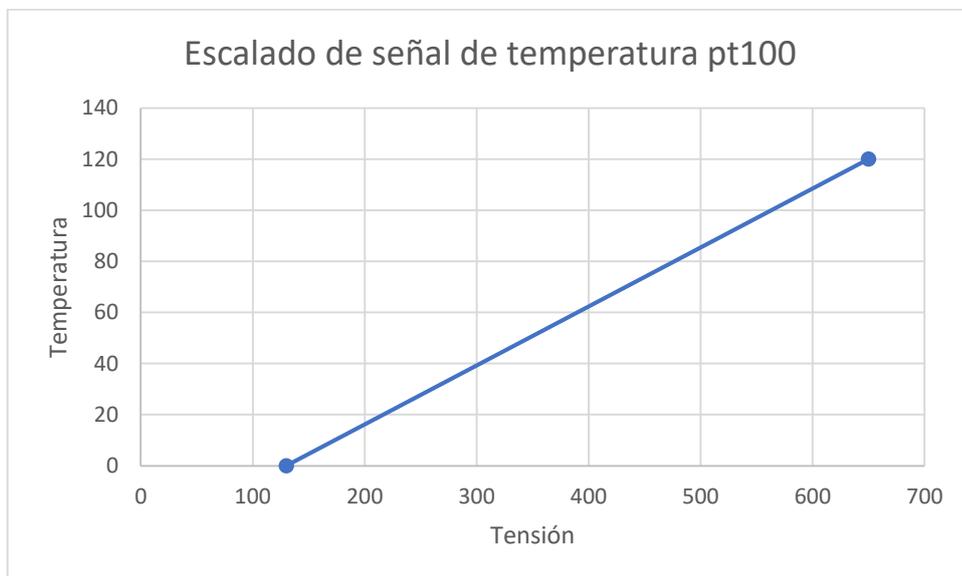
$$m = \frac{120 - 0}{650 - 130} = 0.23$$

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - 0 = 0.23(x - 130)$$

$$y = 0.23x - 29.9(100)$$

$$T = 23x - 2990$$



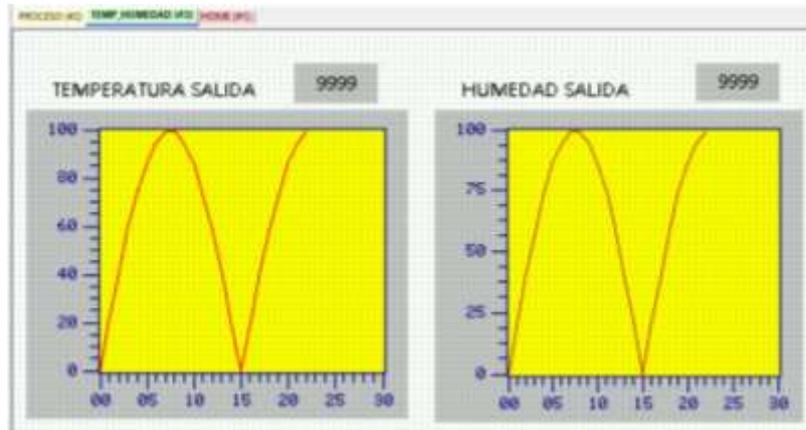
**Ilustración 4-3:** Escalado de señal Pt100

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### ***4.2.3. Curvas de salida del transmisor de temperatura y humedad THD-W2T MODBUS RTU***

Esta representación gráfica de las curvas de temperatura y humedad capturadas en el proceso, específicamente dentro del ciclón, son obtenidos y transmitidos por el transmisor THD-W2T MODBUS RTU, que se encarga de medir y registrar de manera precisa las variaciones térmicas y de humedad, tanto la curva de temperatura y la de humedad, trazadas conjuntamente, proporcionan una visión integral de las condiciones internas del ciclón en tiempo real.

Esta visualización detallada es esencial para el monitoreo efectivo y el análisis de las variables críticas en el proceso industrial



**Ilustración 4-4:** Interfaz gráfica de las curvas de salida

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### 4.2.3.1. Escalado de señal temperatura de salida

Para comprender como funciona el proceso de medición de temperatura utilizando un transmisor de temperatura y humedad es esencial adentrarse en el concepto de escalado de temperatura, en las siguientes expresiones se detalla una respuesta al cambio de temperatura con respecto a la resistencia del sensor.

$$(130: -20)$$

$$(x_1: y_1)$$

$$(650: 80)$$

$$(x_2: y_2)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{80 - (-20)}{650 - 130} = 0.19$$

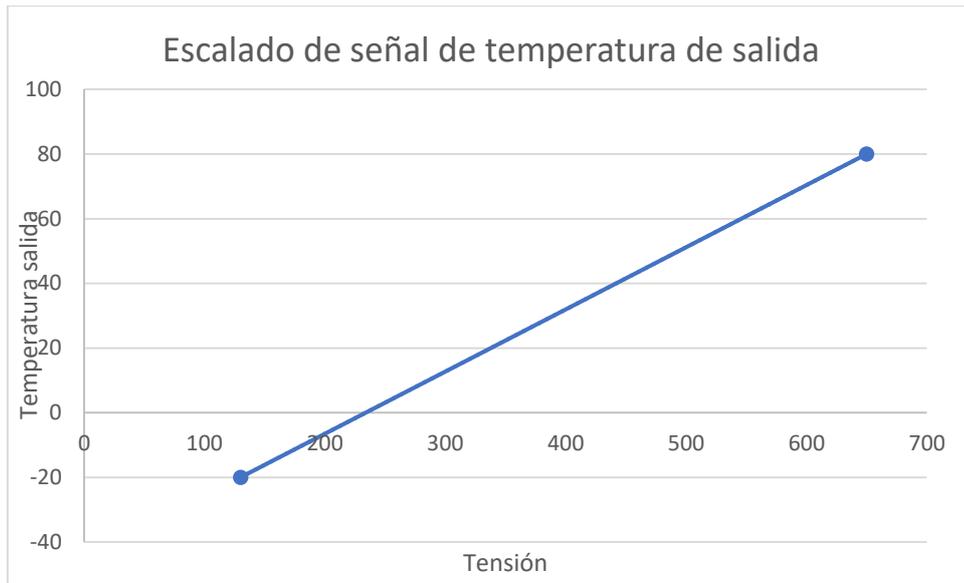
$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - (-20) = 0.19(x - 130)$$

$$y = 0.19x - 24.7 - 20$$

$$y = 0.19x - 44.7$$

$$T = 19x - 4470$$



**Ilustración 4-5:** Escalado de señal de temperatura de salida

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### 4.2.3.2. Escalado de señal de humedad de salida

El proceso de medición de temperatura utilizando un transmisor de temperatura y humedad es un paso esencial para adentrarse en el concepto de escalado de temperatura, en las siguientes expresiones se detalla una respuesta al cambio de temperatura con respecto a la resistencia del sensor.

$$(130: 0)$$

$$(x_1: y_1)$$

$$(650: 100)$$

$$(x_2: y_2)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{100 - 0}{650 - 130} = 0.19$$

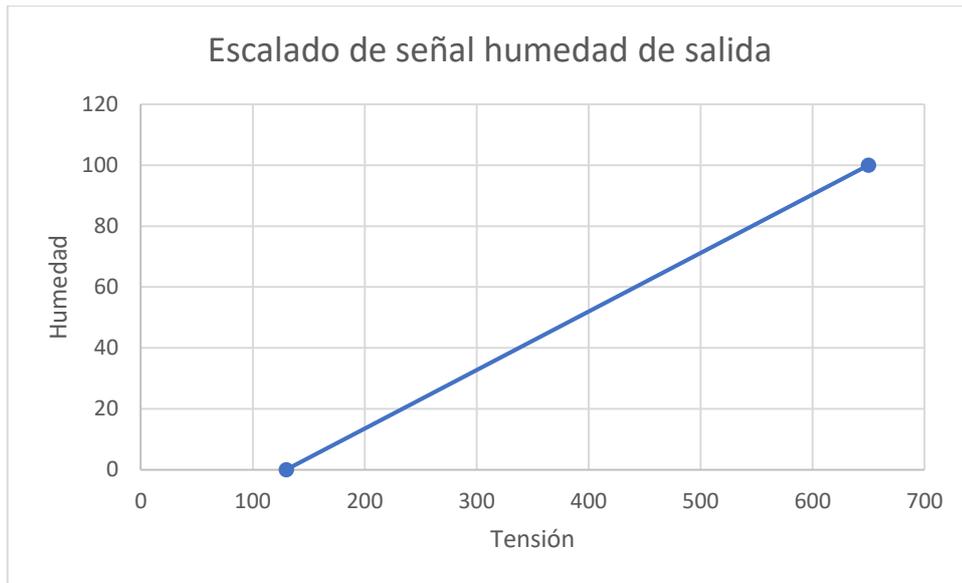
$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - 0 = 0.19(x - 130)$$

$$y = 0.19x - 24.7$$

$$y = 0.19x - 2470$$

$$H = 19x - 2470$$



**Ilustración 4-6:** Escalado de señal de humedad de salida

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

#### 4.2.4. *Tanque de alimentación*

Dentro de la portada de la interfaz gráfica se encuentra el botón denominado “AJUSTES”, este nos lleva a otra pantalla la cual muestra una imagen que ilustra un tanque de almacenamiento con indicadores LED que señalan los niveles de líquido, mostrando una notificación luminosa cuando el nivel es bajo o alto.

Junto al tanque, se encuentran dos secciones distintas.

- La primera sección permite la configuración del tiempo en minutos durante el cual el proceso debe mantenerse en funcionamiento.
- La segunda sección muestra el mismo tiempo en formato ascendente, reflejando el tiempo transcurrido desde el inicio del proceso.

Estas características facilitan el control y seguimiento preciso del llenado del tanque, así como el monitoreo del tiempo restante para el completado del proceso.



**Ilustración 4-7:** Interfaz gráfica del tanque de almacenamiento

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

### 4.3. Procedimiento estadístico

**Tabla 4-3:** Temperatura y humedad apta para leche en polvo

Temperatura °C	% Humedad
90	24
92	24
94	21
96	17
98	15
100	15
102	13
104	12
106	9
108	7
110	5
112	5
114	5
116	4 - Quemado
118	4 - Quemado
120	4 - Quemado

Realizado por: Altamirano, C & Morales, E, 2023

Los resultados obtenidos indican que la combinación óptima de temperatura y humedad para la elaboración de leche en polvo se encuentra a una temperatura de 110°C – 114°C con un porcentaje

de humedad del 5%. Este punto representa la mejor condición de rendimiento, ofreciendo un equilibrio entre la temperatura necesaria para la conservación del producto y el nivel de humedad que minimiza la posibilidad de deterioro. Es importante mantener estas condiciones para garantizar la calidad y la seguridad del producto durante su almacenamiento prolongado.

**Tabla 4-4:** Porcentajes de rendimiento en base a la variación de la bomba dosificadora

110			112			114		
Nivel Bomba			Nivel Bomba			Nivel Bomba		
n4	n6	n8	n4	n6	n8	n4	n6	n8
34,56	34,87	34,74	38,15	36,58	36,58	36,51	36,82	35,41
35,87	35,14	35,21	38,84	36,22	36,77	36,87	35,92	35,66
35,94	34,72	36,07	38,53	36,47	37,12	35,29	35,07	35,93

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

El análisis de los datos muestra que, entre los diferentes niveles de la bomba (n4, n6 y n8) y las temperaturas evaluadas (110°C, 112°C y 114°C), el nivel de la bomba n4 a una temperatura de 112°C produjo el valor más alto de rendimiento registrado, con un promedio de 38,84. Este resultado resalta la eficacia de la combinación específica de nivel de bomba y temperatura en la optimización del valor del parámetro estudiado. En comparación con los otros niveles de bomba y temperaturas probados, el nivel n4 a 112°C sobresale claramente como la mejor opción, destacando su eficiencia para mejorar el rendimiento.

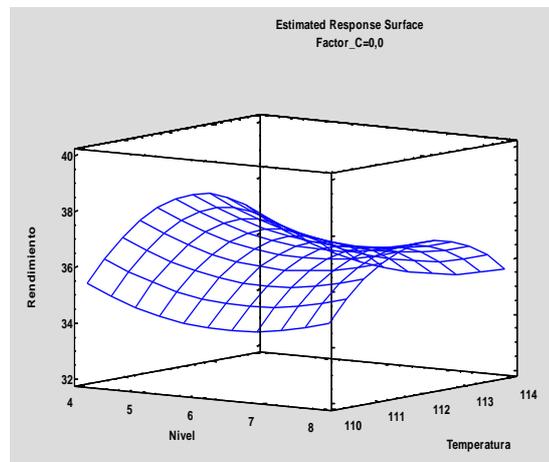
**Tabla 4-5:** Análisis ANOVA de los rendimientos obtenidos

Temperatura	Valor P	Media
110	0,544	35,23
112	0	37,27
114	0,652	35,94

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

El análisis de varianza (ANOVA) revela diferencias significativas entre las diferentes temperaturas evaluadas (110°C, 112°C y 114°C) en términos de su impacto en el valor promedio del parámetro analizado. Los resultados indican que la temperatura de 112°C obtuvo una puntuación p significativamente más baja ( $p = 0$ ) en comparación con las otras temperaturas examinadas. Esto sugiere que la temperatura de 112°C tuvo un efecto significativamente superior en el valor medio del parámetro en cuestión, con una media de 37,27 unidades en relación al rendimiento obtenido de leche en polvo. Por lo tanto, en este análisis, la temperatura de 112°C

emerge como la más efectiva en la optimización del valor del parámetro estudiado, siendo estadísticamente superior en comparación con las otras temperaturas evaluadas.



**Ilustración 4-8:** Superficie de respuesta al mejor rendimiento

**Realizado por:** Altamirano, C & Morales, E, 2023

El análisis de superficie de respuesta de la Ilustración 4-8, revela un patrón claro de optimización en la interacción entre la temperatura y el nivel de la bomba. La superficie de respuesta muestra que el punto óptimo se sitúa en una temperatura de 112°C y un nivel de bomba n4, donde se alcanza un valor máximo de 38,84. En este punto, se observa un pico pronunciado en la superficie de respuesta, indicando una respuesta óptima en términos del parámetro analizado. Esta configuración específica de temperatura y nivel de bomba parece maximizar la eficiencia o calidad del proceso evaluado, sugiriendo que ajustes precisos en estas variables pueden conducir a mejoras significativas en el resultado deseado. Por lo tanto, según el análisis de la superficie de respuesta, se recomienda operar en las condiciones identificadas (112°C, nivel de bomba n4) para lograr el mejor rendimiento o resultado en la aplicación considerada.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

Se repotenció el sistema de control automático del secador por atomización, destacándose como un avance hacia la modernización y optimización de los equipos empleados en el proceso de secado, la implementación de estas mejoras ha dado como resultado un rendimiento del equipo, alcanzando ahora un 38,5 % en el caso de la obtención de leche en polvo.

Se realizó un diagnóstico del equipo y la identificación de las variables del proceso como pasos fundamentales para comprender y abordar los problemas existentes, así como para desarrollar estrategias de mejora continuas que contribuyan a la eficiencia, la fiabilidad y la calidad del funcionamiento del equipo en un entorno operativo.

Se implementó los cambios en el equipo y la validación de su funcionamiento a través de procedimientos estadísticos resultando significativo para garantizar su eficiencia, calidad y funcionalidad. Esta metodología no solo permite introducir mejoras significativas en el equipo, sino que también ofrece una base sólida para evaluar y respaldar la efectividad de dichos cambios.

Se modeló matemáticamente el sistema en base a (Hurtado, 2013), el cual proporciona la capacidad de realizar pronósticos y análisis predictivos, permitiendo explorar diferentes escenarios y evaluar el impacto de posibles cambios en las variables del sistema, lo que resulta fundamental para la toma de decisiones estratégicas.

Se diseñó una interfaz gráfica amigable para los estudiantes que, junto con la elaboración de varia documentación, ha sido un paso fundamental en la mejora del acceso y la comprensión del manejo del secador en el entorno de laboratorio,

## RECOMENDACIONES

- Antes de comenzar, es crucial que se entienda a fondo el sistema de control automático actual del secador por atomización. Identificando sus componentes, algoritmos de control, sensores y actuadores involucrados además se debe definir con precisión los objetivos para la repotenciación.
- Se debe recolectar datos sobre el comportamiento actual del secador. Esto ayudará a entender las fluctuaciones y patrones del proceso, lo que es esencial para diseñar un sistema de control mejorado. Se elije el hardware y software adecuados para la repotenciación. Esto podría incluir sensores más avanzados, actuadores eficientes y plataformas de control actualizadas. Para desarrollar o adaptar algoritmos de control que se ajusten a los objetivos del proyecto.
- Antes de implementar el nuevo sistema en el secador real, se necesita realizar simulaciones y pruebas virtuales. Esto permitirá ajustar y refinar los algoritmos de control sin riesgo de dañar el equipo, si es posible, se debe implementar los cambios en el sistema de control de manera gradual, esto reduce el impacto potencial de problemas inesperados y permite una transición más suave.
- Es necesario llevar a cabo pruebas prácticas en el secador real utilizando el nuevo sistema de control, supervisando y registrando cuidadosamente los resultados para evaluar la mejora en comparación con el sistema original, como también monitorear el rendimiento del sistema y realizar modificaciones según sea necesario para alcanzar los objetivos deseados.
- Se tiene que llevar un registro detallado de todo el proceso, desde el diseño hasta la implementación y las pruebas. Esto será valioso para futuras referencias y para compartir los resultados con próximas implementaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALBERTO, Carlos; et al.** *Implementación del sistema de control pacmotion en la automatización de procesos orientados a la formación profesional de los estudiantes de la especialización de automatización industrial*, 2012. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/39880>

**BARRENO, J.** *Optimización del Proceso de Atomización en la Producción de Azulejos*, 2010. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. Obtenido de: <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/241>

**BENALCÁZAR, F.** *Sistema de medición de nivel de agua en piscinas de control en un criadero de peces*, 2016. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7750>

**BOLTON, W.** Instrumentation system elements. *Instrumentation and Control Systems*, 2004, pp. 17–67. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/b978-075066432-5/50002-4>

**BRAGA, Vanessa; et al.** Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. *Powder Technology*, 375, 2020, pp. 409–419. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.012>

**CABALLERO, José; et al.** 2.- *OPTIMIZACIÓN. CONCEPTOS BÁSICOS*, 2011, pp.12–36. Obtenido de: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19734/2/Optimización\\_Conceptos\\_Básicos.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19734/2/Optimización_Conceptos_Básicos.pdf)

**CASTILLO, A.** *Estudio de secado al vacío para la obtención de la harina de lúcuma (Pouteria Lucuma L.*, 2023. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/29634>

**CUENCA, M.** *Implementación de un sistema de riego automático y manual para optimización de recursos con adquisición de datos de sensor de humedad en computador*, 2016. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31970>

**GAIBOR, Monar; et al.** *Obtención de micropartículas de Polivinilporrolidona (PVP) a través de la técnica de Electrospray*, 2017. [Universidad de las Fuerzas Armadas]. Obtenido de:

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/12611>

**GONZALES, M.** *Diseño, Construcción y puesta en marcha de un secador tipo Batch del lecho fluidizado para el laboratorio de operaciones unitarias*, 2017. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38265>

**GUAMÁN, L.** *Estado del arte para el diseño de una planta piloto para la obtención de frutas deshidratadas*, 2022. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Obtenido de: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18107>

**GUERRA, A.** *Extracción, caracterización y comparación de latex obtenido, en secado por aspersión, de tres variedades de papaya (Carica Papaya I.)*, 2012. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/21172>

**GUTIERREZ, F., & GUTIERREZ, A.** *Influencia de dos metodos de secado (estufa y microondas) de seis muestras para alimento animal sobre los resultados del análisis bromatológico*, 2023. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/29151>

**GUZMÁN, S., & CASTAÑO, J.** *Secado por atomización del jugo de la caña de azúcar*. 53(4), 2019, pp.327–333. Obtenido de: [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053\(04\)327-333.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(04)327-333.pdf)

**HERNÁNDEZ, R.** *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicación y simulación con MATLAB*. In P. EDUCATION (Ed.), 2010. *Pearson Educación de México* (Vol. 01, Issue 01). Obtenido de: <http://lcr.uns.edu.ar/fcr/images/Introduccion a Los Sistemas de Control.pdf>

**INGA, L.** *Control calidad en la leche* [Universidad Técnica de Machala]. In *Revista cubana de Enfermería*, 2017. (Vol. 27, Issue 3). Obtenido de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11461>

**JUMBO, D.** *Metodología en la enseñanza de los PLC logos Siemens, en control eléctrico industrial en el área de instalaciones de equipos y máquinas eléctricas para los estudiantes de tercero de bachillerato de la unidad educativa Dr. Manuel Benjamín Carrión Mora Benj*, 2017. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13693>

**KOURO, S.** *Sensores De Humedad*, 2001. Obtenido de: <https://www.infopl.net/descargas/218-siemens/automatas/logo/3254-logo-8-3-conexion-nube-amazon-web-services-aws>

**LÓPEZ, A.** *Diseño de un sistema basado en sensores para el control de acceso, temperatura e iluminación de laboratorios de la FIE*, 2018. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44484>

**MACAS RIVERA, W. J.** *Obtención de colorantes naturales a partir de Mortiño (*Vaccinium myrtillus* L.), Uvilla (*Physalis peruviana*) y Tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso alimenticio*, 2018. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8977>

**MEDINA, M.** *Comparación del desempeño de un controlador adaptativo por modelo de referencia y un PID clásico para el control de un convertidor dc-dc reductor del tipo Buc*, 2017. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7344>

**MENDOZA, M.** *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y ESTABILIDAD A TRES MARCAS DE LECHES ULTRAPASTEURIZADAS, ENVASADA EN FUNDAS DE POLIETILENO*, 2016. [Universidad de Guayaquil]. Obtenido de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12941/1/TESIS MARCOS MENDOZA 1.pdf>

**MONDRAGÓN, Rosa; et al.** *Cerámica y Vidrio El proceso de secado por atomización : formación de gránulos y cinética de secado de gotas. 52*, 2020, pp.159–168. Obtenido de: <https://doi.org/10.3989/cyv.212013>

**NAULA SÁEZ, J. R.** *Diseño de un proceso para la obtención de proteína del lactosuero mediante la operación unitaria de secado por atomización*, 2017. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6997>

**ORNA, J.** *Estandarización del Diseño de Secaderos por Aspersión de Materiales Pastosos*, 2012. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1886>

**ORTIZ, T.** *Elaboración de polvo soluble de pitahaya (*Selenicereus Megalanthus*) mediante liofilización, atomización y deshidratación en estufa*, 2021. [Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17059>

**PAREDES, E., & TOAPANTA, J.** *Diseño de un bipedestador de accionamiento eléctrico para adultos*, 2018. [Universidad de las Fuerzas Armadas]. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13995>

**QUINTANILLA ARMIJO, Samanta; et al.** *Diseño e implementación de un sistema de control automático para el secador por atomización para la obtención de un colorante natural a partir de la remolacha del laboratorio de procesos industriales*, 2016. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6486>

**REGALÓN, Anias; et al.** Automatización integral del proceso de secado de bioproductos. *Revista Científica de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 2015, pp.1–14. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5695784>

**RODRIGUEZ, Juan; et al.** *Diseño del sistema de monitoreo y control de un hotel*, 2009. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1051>

**ROMO, F.** *Programación y diseño de una interfaz gráfica para la modelación y evaluación de destiladores de mezcla binaria para la materia de operaciones unitarias*, 2021. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16830>

**SALAZAR, M., & YUNGA, Y.** *Ingeniería de detalle para una planta de secado por atomización de pulpa de frutas*, 2019. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19791/1/T-UCE-0017-IQU-065.pdf>

**SERRANO, Gustavo; et al.** *Optimización de un horno de combustión de biomasa para el secado de arroz*, 2020. [Escuela Politécnica del Litoral]. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51680>

**SERVICES, A. W.** *PLC SIEMENS LOGO 8.3. 27*, 2021. Obtenido de: <https://www.infopl.net/descargas/218-siemens/automatas/logo/3254-logo-8-3-conexion-nube-amazon-web-services-aws>

**SPER, R.** *Diseño de una planta deshidratadora de banano usando secador rotatorio*, 2010. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Obtenido de:

[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17091/1/Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano Usando Secador de Gabinetes para la Producción de Harina.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17091/1/Diseño%20de%20una%20Planta%20Deshidratadora%20de%20Banano%20Usando%20Secador%20de%20Gabinetes%20para%20la%20Producci%C3%B3n%20de%20Harina.pdf)

**SUIN, J., & SALAS, I.** *Ensamble de un Variador de Frecuencia para el Control y Regulación de Caudal de una Bomba Dosificadora en el Módulo de Automatización Industrial con Pantalla Táctil*, 2011. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1664>

**TAPIA BORJA, A. I.** *Elaboración de un proceso tecnológico para la producción de jugo de naranja en polvo*, 2020. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14092>

**TOLEDO, L.** *MODELO DE LOS PATRONES DE CONSUMO DE PRODUCTOS LACTEOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*, 2006. [Escuela Politécnica Nacional]. Obtenido de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8216>

**URRESTO, E.** *Control eléctrico industrial aplicado en la repotenciación de una máquina evaporadora para limpieza de metales utilizados en joyería*, 2019. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19949>

**VALERO, Miravet; et al.** *Secado por Atomización de zumo de granada*, 2009. [Universidad Politécnica de Cartagena]. Obtenido de: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1807/pfm92.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**YANZA HURTADO, E. G.** *Diseño De Un Secador Por Atomización a Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Arbol*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 2013. pp.1689–1699. Obtenido de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2659>

**YUQUILEMA, M.** *Diseño y desarrollo de un simulador de vuelo para drones utilizando el motor de videojuegos Unity 3D*, 2022. [Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/28189>

## ANEXOS

### ANEXO A: FASES DE REPARACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR POR ATOMIZACIÓN

	
a. Recepción del Secador por atomización	b. Panel de control repotenciado
	
c. Equipo repotenciado	



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 29 / 02 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Carlos Sebastián Altamirano Méndez Erik Medardo Morales Ramírez
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0027-DBRA-UTP-2024

