# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



"Sistema automatizado para mejorar la detección de fallas eléctricas y mecánicas en una bomba de jugo clarificado de una empresa de Olmos"

# **TESIS**

Para optar el título profesional de INGENIERO ELECTRÓNICO

## Autores:

Bach. Guevara Rocha, Alexis Roger Bach. López Mego, César

#### Asesor:

Mg. Ing. Romero Cortez, Oscar Ucchelly ORCID: 0000-0002-7727-7900

Lambayeque, 2022

# **JURADOS**

A configuracy

M.Sc. Ing. Rodríguez Chirinos Frank Richard Presidente

M.Sc. Ing. Reyes Vásquez Wilson Dennis Secretario

> Ing. Ñáñez Aguilar Juan Carlos Vocal

> > ASESOR

M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly

# DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Guevara Rocha Alexis Roger, y mi compañero, López Mego César, investigadores principales, junto al M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly, asesor de nuestro proyecto de investigación denominado "Diseño de un sistema automatizado para mejorar la deteccion de fallas eléctricas y mecánicas en una bomba de jugo clarificado de una empresa de Olmos", declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumiremos responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar. Que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 03 de junio del 2022

Investigadores:	Rochal			
_	Bach. Guevara Rocha Alexis Roger			
	Day Study			
_	Bach. López Mego César			
Asesor:				

M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly

# **DEDICATORIA**

A mis padres por haber hecho posible la realización y el cumplimiento de esta meta, por su paciencia y apoyo incondicional durante todo el transcurso de la carrera universitaria.

A mis hermanos por el apoyo incondicional que tuvieron durante toda mi formación profesional.

A mi novia por todo el apoyo y la fortaleza brindada la cual me ayudo para cumplir con mis sueños y metas académicas.

# LOPEZ MEGO CESAR

## **DEDICATORIA**

A mis padres, en especial a mi madre Silvia, por su apoyo incondicional, por su esfuerzo de nunca rendirse ante las adversidades de la vida, por inculcarme buenos valores, por su amor incondicional y ser mi motivo para salir adelante.

A mis familiares por el apoyo constante y buenos consejos que tuvieron durante toda mi formación profesional.

A mis abuelos, aunque físicamente no están, gracias por ser un ejemplo a seguir, brindarme todo su amor y apoyo en su momento. Y siempre estarán presentes en cada paso que doy en la vida.

ALEXIS ROGER GUEVARA ROCHA

# **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por guiarnos por el buen camino y hacer posible este paso importante.

A nuestros familiares por todo el apoyo desmedido, por sus consejos y valores inculcados que nos brindaron durante nuestra formación personal y profesional.

Al M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly, quien nos apoyó y asesoró en todo el proceso de elaboración de nuestra tesis.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Título	1
1.2. Autores	1
1.3. Asesor de especialidad	1
1.4. Línea de investigación	1
1.5. Lugar	1
1.6. Duración estimada del proyecto	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
2.1. Síntesis de la situación problemática	2
2.2. Formulación del problema de investigación	4
2.2.1. Problema general	4
2.2.2. Problemas específicos	4
2.3. Hipótesis	5
2.3.1. Hipótesis general	5
2.3.2. Hipótesis específicas	5
2.4. Objetivos	5
2.4.1. Objetivo general	5
2.4.2. Objetivos específicos	5
2.5. Justificación	6

2.6. Alcances	6
2.7. Limitaciones	6
III. DISEÑO TEÓRICO	7
3.1. Antecedentes	7
3.1.1. Internacionales	7
3.1.2. Nacionales	8
3.1.3. Regionales	9
3.2. Bases teóricas	9
3.2.1. Sistema automatizado	9
3.2.2. Detección de fallas en motores de inducción	14
3.2.3. Operacionalización de variables	16
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	17
4.1. Tipo y diseño de la investigación	17
4.2. Población y muestra	17
4.3. Tipo de muestreo	17
4.4. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	17
4.5. Método de análisis de datos	20
4.6. Procedimiento	20
4.6.1. Diagnóstico general	20
4.6.2. Programación de PLC	25
4.6.3. Diseño de HMI	25
V. RESULTADOS	27
5.1. Detección de falla por sobrecorriente	27
5.2. Detección de falla por temperatura	30
5.3. Detección de falla por vibración	32
VI. CONCLUSIONES	34
VII RECOMENDACIONES	35

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Prototipo para pruebas experimentales	19
Figura 2 Agrolmos S.A.	20
Figura 3 Sistema de potencia de la bomba de jugo clarificado	21
Figura 4 Plano eléctrico del sistema de potencia de la bomba de jugo clarificado	22
Figura 5 Sistema de control de la bomba de jugo clarificado	23
Figura 6 Plano eléctrico del sistema de control de la bomba de jugo clarificado	24
Figura 7 Diagrama de flujo de la programación del PLC	25
Figura 8 Pantalla de proceso	25
Figura 9 Pantalla de fallas	26
Figura 10 Pantalla de estado	26
Figura 11 Pantalla de estado indicando los valores de temperatura y vibración	27
Figura 12 Pilotos luminosos indicando el arranque de la bomba	28
Figura 13 Pilotos luminosos indicando falla por sobrecorriente	29
Figura 14 Pantalla de estado indicando el valor de temperatura	30
Figura 15 Pilotos luminosos indicando falla por temperatura	31
Figura 16 Pantalla de estado indicando el valor de vibración	32
Figura 17 Pilotos luminosos indicando falla por vibración	33

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de los estudios de fiabilidad de motores de IEEE y EPRI	2
Tabla 2 Definición y operacionalización de variables	16
Tabla 3 Materiales para la investigación	18

**RESUMEN** 

En la empresa Agrolmos S.A. la detección de fallas en la bomba de jugo clarificado se

realiza de forma visual a través de pilotos luminosos ubicados en un panel de control. Esto se

debe a que no se cuenta con dispositivos que indiquen con precisión el origen de la falla.

Además, los operarios electricistas no están capacitados para manipular el Sistema de Control

Distribuido (DCS) de la planta y localizar la falla en el sistema de bombeo. Asimismo, el

inadecuado mantenimiento a los dispositivos de control y conmutación provocan que el sistema

de bombeo falle. Es por ello que se diseñó un sistema automatizado basado en PLC y HMI para

detectar las fallas del sistema de bombeo, mostrar su origen y el componente que deben revisar

los operadores electricistas para facilitar su trabajo. En las pruebas realizadas con un prototipo

se demostró que el sistema propuesto logró detectar las sobrecorrientes (sobrecarga y

cortocircuito) mediante un guardamotor, las temperaturas elevadas en el estator (>40°C)

simuladas con un sensor Pt-100 y las vibraciones excesivas en el rotor (>25mm/s) simuladas

con un generador de señales de 4 a 20 mA con el objetivo de detener la bomba para protegerla.

Asimismo, todas las fallas se mostraron en la HMI indicando el origen y el componente que

debe ser revisado.

Palabras clave: Sistema automatizado, detección de fallas, sistema de bombeo, PLC, HMI.

хi

**ABSTRACT** 

In Agrolmos S.A. the detection of faults in the clarified juice pump is done visually by

means of pilot lights located in a control panel. This is due to the fact that there are no devices

that accurately indicate the origin of the fault. In addition, the electrical operators are not trained

to manipulate the plant's Distributed Control System (DCS) and locate the fault in the pumping

system. Also, inadequate maintenance of the control and switching devices cause the pumping

system to fail. For this reason, an automated system based on PLC and HMI was designed to

detect pumping system failures, show their origin and the component to be checked by the

electrical operators to facilitate their work. Tests performed with a prototype showed that the

proposed system was able to detect overcurrent's (overload and short circuit) using a motor

guard, high stator temperatures (>40°C) simulated with a Pt-100 sensor and excessive rotor

vibrations (>25mm/s) simulated with a 4 to 20 mA signal generator with the objective of

stopping the pump to protect it. Also, all faults were displayed on the HMI indicating the origin

and the component to be checked.

**Keywords:** Automated system, fault detection, pumping system, PLC, HMI.

xii

# I. INFORMACIÓN GENERAL

## 1.1. Título

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE FALLAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS EN UNA BOMBA DE JUGO CLARIFICADO DE UNA EMPRESA DE OLMOS.

#### 1.2. Autores

- Bach. Guevara Rocha Alexis Roger.
- Bach. López Mego César.

## 1.3. Asesor de especialidad

M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly.

# 1.4. Línea de investigación

Control y Automatización.

## 1.5. Lugar

Ingenio azucarero Agrolmos S.A., ubicado en el distrito de Olmos, departamento de Lambayeque, Perú.

# 1.6. Duración estimada del proyecto

- Fecha de inicio: agosto 2022.
- Fecha de finalización: noviembre 2022.

# II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 2.1. Síntesis de la situación problemática

En India, Boopathi et al. (2020) sostienen que los motores de inducción se emplean en casi un 85% de aplicaciones industriales en todo el mundo. Sin embargo, el uso constante y la frecuente exposición a entornos de trabajo hostiles causan su mal funcionamiento y, como consecuencia, se detienen inesperadamente provocando paradas no programadas en la etapa de producción. Mientras que Orhanen (2021), en Finlandia, da a conocer un estudio elaborado para determinar la fiabilidad de un motor de inducción realizado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y el Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI). En la Tabla 1 se muestran los resultados de dicha investigación, según lo cual los fallos relacionados con la electricidad representan el 33%, las averías relacionadas con la mecánica representan el 31% y los fallos relacionados con el medio ambiente, el mantenimiento y otros motivos representan el 36%.

**Tabla 1**Resumen de los estudios de fiabilidad de motores de IEEE y EPRI

ESTDUIO IEEE		ESTUDIO EPRI		PROMEDIO
CONTRIBUCIÓN DE FALLA	%	COMPONENTE FALLIDO	%	%
Sobrecarga persistente	4.20%	Aislamiento de tierra del estator	23.00%	
Deterioro normal	26.40%	Aislamiento de giro	4.00%	
		Refuerzo	3.00%	33.00%
		Núcleo del motor	1.00%	33.00%
		Jaula del motor	5.00%	
Falla eléctrica	30.60%	Falla eléctrica	36.00%	
Alta vibración	15.50%	Cojinete de manguito	16.00%	
Mala lubricación	15.20%	Cojinete de antifricción	8.00%	
		Rodamientos	5.00%	21 000/
		Eje del motor	2.00%	31.00%
		Núcleo del rotor	1.00%	
Falla mecánica	30.70%	Falla mecánica	32.00%	
Temperatura ambiente alta	3.00%	Rodamientos	6.00%	
Humedad anormal	5.80%	Fuga de aceite	3.00%	
Voltaje anormal	1.50%	Marco	1.00%	
Frecuencia anormal	0.60%	Cuñas	1.00%	26.000/
Mecánica abrasiva	4.20%			36.00%
Ventilación deficiente	3.90%			
Otras razones	19.70%	Otros componentes	21.00%	
Medio ambiente	38.70%	Mantenimiento	32.00%	

Fuente: Información adaptada de (Orhanen, 2021).

En Ecuador, Cedillo Uvidia y Samaniego Bueno (2021) monitorearon las variables eléctricas en un motor de inducción y determinaron que el estrés eléctrico es causado por el cortocircuito, el aumento de la temperatura y algunos otros fallos relacionados con la velocidad, la pérdida de fase, entre otros factores. En México, Cano Valdez et al. (2021) indican que las fallas mecánicas en las barras del rotor, en los rodamientos y en el eje giratorio pueden causar daños catastróficos al motor o al equipo cerca de él. En ambos estudios se considera que el diagnóstico temprano de las fallas eléctricas y mecánicas es fundamental para prevenir la reducción de la vida útil del motor de inducción, reducir los costes de mantenimiento y evitar paradas no programadas.

En Huancayo, Sánchez Vargas (2021) sostiene que los problemas de contacto, las grietas en el aislamiento, el mal funcionamiento relés, las juntas de los terminales y otros problemas similares, aumentan la temperatura interna de los motores de inducción provocando que falle. Esto trae como consecuencia daños potenciales a los equipos de un sistema eléctrico. Por ello, los procedimientos iniciales de prevención de fallos son fundamentales para evitar averías en el sistema e interrupciones imprevistas. Por su parte, Mendoza (2020), en Tacna, afirma que la identificación y anticipación de fallas en los motores de inducción producidas por fenómenos eléctricos, mecánicos, térmicos, vibración, entre otros, reducen las posibilidades de que el motor se detenga.

En Lambayeque, específicamente en el distritito de Olmos, el tablero de control de la bomba de jugo clarificado de la empresa Agrolmos S.A., indica a los operadores electricistas las fallas producidas por sobrecorrientes (sobrecargas y cortocircuitos) mediante pilotos luminosos. Sin embargo, a nivel de campo, el sistema de control presenta dos deficiencias: no indica cual es el componente eléctrico que ha fallado y no tiene en cuenta las fallas mecánicas causadas por la excesiva vibración del rotor, las fallas por el incremento de temperatura en los bobinados del estator y fallas de otra índole.

Lo anterior se debe a la falta de una interfaz gráfica en el tablero de control que indique con precisión el origen de la avería, a la falta de formación de los operadores eléctricos para visualizar la falla en el Sistema de Control Distribuido (DCS) de la planta, sobre todo durante los turnos de noche, cuando el analista de instrumentación no está de servicio, y al insuficiente mantenimiento de los dispositivos de protección y conmutación de la bomba de jugo clarificado.

La consecuencia más grave relacionada a los problemas de la bomba de jugo clarificado es la parada de producción no programada, lo que significa no cumplir con los niveles de producción de azúcar establecidos por la gerencia de empresa.

Para eliminar los inconvenientes mencionados, en esta investigación se propone el diseño de un sistema automatizado para detectar las fallas eléctricas y mecánicas producidas en la bomba de jugo clarificado basado en un Controlador Lógico Programable (PLC) ya que este dispositivo está formado por unidades especiales de E/S que se utilizan directamente en la automatización industrial y una Interfaz Hombre – Máquina (HMI) para facilitar la localización y corrección de fallas por parte del operario electricista.

#### 2.2. Formulación del problema de investigación

#### 2.2.1. Problema general

¿De qué manera un sistema automatizado puede mejorar la detección de fallas eléctricas y mecánicas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos?

#### 2.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera se realiza la detección de fallas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos?
- ¿De qué manera se pueden detectar las fallas por sobrecorriente, temperatura alta en los devanados del estator y vibración alta en el rotor de la bomba de jugo clarificado de Agrolmos?

• ¿De qué manera se puede indicar al operario electricista el origen de las fallas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos?

#### 2.3. Hipótesis

#### 2.3.1. Hipótesis general

Con un sistema automatizado basado en PLC y HMI se puede mejorar la detección de fallas eléctricas y mecánicas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.

# 2.3.2. Hipótesis específicas

- La detección de fallas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos se realiza de forma visual mediante los pilotos luminosos del tablero de control.
- La detección de fallas por sobrecorriente, temperatura alta en los devanados del estator y vibración alta en el rotor de la bomba de jugo clarificado de Agrolmos se puede realizar mediante un sistema de control basado en PLC.
- Al operario electricista se le puede indicar el origen de las fallas en la bomba de jugo clarificado mediante una HMI.

#### 2.4. Objetivos

#### **2.4.1.** Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado para mejorar la detección de fallas eléctricas y mecánicas de la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.

## 2.4.2. Objetivos específicos

- Describir como se realiza la detección de fallas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.
- Diseñar un sistema de control basado en PLC para detectar las fallas eléctricas y mecánicas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.
- Diseñar una interfaz gráfica en una HMI para indicar el origen de la fallas eléctricas
   y mecánicas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.

#### 2.5. Justificación

Esta investigación cuenta con una justificación teórica porque resumen información de artículos científicos y tesis de grado donde se han desarrollado temas relacionados con las variables de este estudio.

Asimismo, tiene una justificación práctica porque presenta una solución viable para eliminar el problema de localización de fallas eléctricas y mecánicas en el sistema de bombeo de jugo clarificado de la empresa Agrolmos S.A.

De igual manera presenta una justificación económica debido a que mediante el sistema propuesto, la localización de fallas eléctricas y mecánicas en el sistema de bombeo de jugo clarificado reducirá los tiempos de paradas no programadas y las pérdidas de producción.

También cuenta con una justificación metodológica porque presenta una serie de etapas ordenadas para diseñar un sistema automatizado basado en PLC y una HMI para la localización de fallas eléctricas y mecánicas.

Además, tiene una justificación investigativa debido a que los resultados de esta investigación servirán para el desarrollo de trabajos futuros donde se incluyan variables que no se han considerado en este estudio.

#### 2.6. Alcances

El alcance espacial o geográfico considerado en esta esta investigación es la empresa Agrolmos S.A. ubicada en el distrito de Olmos, departamento de Lambayeque.

El alcance temporal considerado para realizar esta investigación son los meses de mayo, junio, julio y agosto del año 2022.

#### 2.7. Limitaciones

Los resultados de este estudio no pueden generalizarse debido a que las condiciones de funcionamiento de otros sistemas de bombeo de jugo clarificado podrían ser muy diferentes.

# III. DISEÑO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes

#### 3.1.1. Internacionales

Bukale et al. (2021) realizaron un artículo científico cuyo objetivo fue desarrollar un sistema de detección de fallas para la protección de un motor de inducción contra las sub y sobretensiones, las sobrecorrientes, la temperatura alta en los devanados del estator y la velocidad excesiva en el rotor utilizando un PLC. Los resultados demostraron que el sistema de detección de fallas protegió al motor contra condiciones anormales de funcionamiento, tales como sobrecorrientes (cortocircuitos y sobrecargas), sobretensiones (mayores a 235V), subtensiones (menores a 190V) y temperaturas altas en los devanados (mayores a 40°C).

Triyono et al. (2021) realizaron un artículo científico cuyo objetivo fue desarrollar un sistema de detección de fallas eléctricas basado en PLC y transformadores de corriente para la protección de un motor de una cinta transportadora. Los resultados demostraron que cuando hubo un cambio significativo en la corriente del motor fuera de los rangos permitidos, el PLC logró detectar la falla y detener el motor para protegerlo. Además, se logró mostrar la información de las fallas detectadas en forma de indicadores y gráficos en una Interfaz Hombre – Máquina (HMI).

Ahmed et al. (2020) realizaron un artículo cuyo objetivo fue desarrollar un sistema de detección de fallas para la protección de motores contra el desequilibrio en las tensiones de alimentación y corrientes de fase, las sobrecorrientes, las sub y sobretensiones, las vibraciones y las fallas a tierra. Los resultados demostraron que las lecturas de corriente, tensión y temperatura del bobinado obtenidas por el PLC se lograron visualizar en tiempo real en el SCADA. Tras obtener estos valores, el PLC pudo controlarlos teniendo en cuenta los rangos de tolerancia permitidos. Además, cuando se produjo alguna falla en el sistema debido a que

los valores de tensión de fase, velocidad del rotor, corriente de fase o temperatura del devanado estaban fuera de rango, el PLC detuvo inmediatamente el motor de inducción para protegerlo.

Boopathi et al. (2020) realizaron un artículo científico cuyo objetivo fue realizar un análisis de fallas usando un controlador de lógica difusa y sistemas embebidos para la protección de un motor de inducción contra fallas como las tensiones de alimentación desequilibradas, las sobrecorrientes, las pérdidas de fase, las sub y sobretensiones y las fallas a tierra. Los resultados demostraron que el sistema de control fue capaz de clasificar las fallas según un conjunto determinado de reglas y el hardware fue capaz de eliminar las fallas basándose en los valores de activación para generar alarmas y avisos logrando eliminar la dependencia de un sistema de protección de operación manual.

#### 3.1.2. Nacionales

Huayta (2021) presentó una tesis de grado cuyo objetivo fue desarrollar un sistema basado en PLC para integrarlo a un DCS y poder monitorear las vibraciones en el izaje, empuje y giro de una pala para evitar paradas no programadas. Los resultados demostraron que el PLC logró sensar las vibraciones del motor y que el sistema de control pudo identificar los problemas relacionados con las paradas no programadas debido a las vibraciones excesivas en la pala.

Mendoza (2020) presentó una tesis de grado cuyo objetivo fue disminuir el tiempo empleado para la detección de fallas como la vibración alta del motor, la sub o sobre temperatura de aceite, la sub o sobre presión de descarga en bombas utilizando un sistema de detección y anticipación de fallas en tiempo real. Los resultados demostraron que el sistema propuesto identificó y se anticipó a los eventos que podrían provocar la parada del equipo. Además, se clasificaron las alarmas, fallas y señales de monitoreo para facilitar la labor y el mantenimiento de las bombas de desplazamiento positivo.

#### 3.1.3. Regionales

Chunga (2020) presentó una tesis de grado cuyo objetivo fue desarrollar un sistema automatizado basado en el PLC Twido, un módulo de extensión analógico, sensores capacitivos e inductivos, entre otros, para aumentar la productividad. Los resultados demostraron que el sistema propuesto logró aumentar la producción en un 40% mediante el uso adecuado de la materia prima y evitando paradas no programadas por fallas de distinto origen.

Paz (2018) presentó una tesis de grado cuyo objetivo principal fue desarrollar un sistema automatizado mediante la programación de un PLC con el Software SoMachine para el área de paletizado y mejorar la productividad. Los resultados demostraron que el sistema propuesto logró controlar todo el proceso de paletizado e incrementar los índices de productividad en un 183%.

#### 3.2. Bases teóricas

#### 3.2.1. Sistema automatizado

De acuerdo con Su et al. (2020), el sistema automatizado es una combinación de software y hardware que está diseñado y programado para funcionar automáticamente sin necesidad de que ningún operador humano proporcione entradas e instrucciones para cada operación.

Mao et al. (2021) indican que los sistemas automatizados permiten supervisar los procesos en tiempo real e identificar los problemas a medida que llegan, lo que permite realizar ajustes rápidos en el camino. Por su parte, Yudianto y Mohruni (2021) brindan un ejemplo para entender el impacto positivo de los sistemas automatizados. El ejemplo indica que los hoteles podrían experimentar ganancias significativas tras automatizar sus sistemas de inventario. En primer lugar, hay un gran ahorro de costes y ciclos de cumplimiento más cortos. En segundo lugar, los hoteles podrían experimentar un importante ahorro de tiempo que liberaría al

personal para realizar funciones más centradas en el cliente que mejorarían el negocio en general. En tercer lugar, un sistema automatizado podría aportar una mayor precisión porque el personal ya no tiene que volver a introducir los datos de los documentos en papel lo cual reduce los errores administrativos. En cuarto lugar, la automatización permitiría aumentar la capacidad de negociar mejores acuerdos con los proveedores. En cualquier negociación, es esencial saber exactamente el volumen de suministro que se necesita, lo que permite al comprador estimar con mayor precisión los volúmenes y comprar en consecuencia.

#### Sistema SCADA

Según Hoarcă et al. (2020) la aplicación de SCADA en las plantas industriales se está volviendo muy común con el avance de las aplicaciones de automatización. Debido a la alta demanda de calidad y precisión, todos los sistemas de control convencionales están siendo sustituidos por un sistema de control automatizado y supervisado.

Andrade (2020) señala que los avances tecnológicos han llevado a la implantación de SCADA en la siderurgia, las industrias de procesamiento químico, las telecomunicaciones y las instalaciones experimentales y de fabricación. Además, con la evolución de la Industria 4.0, los sistemas SCADA modernos han adoptado Internet Industrial de las Cosas (IIoT), CPS/IoT, tecnología en la nube, análisis de grandes datos, inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático. Por su parte, Hinojosa y Paz (2021) mencionan que la integración de estas tecnologías ha mejorado significativamente la interoperabilidad, facilita el mantenimiento y disminuye el coste de la infraestructura. Por lo tanto, conduce a un entorno casi en tiempo real.

Sembiring (2020) afirma que los sistemas SCADA mejoran la eficiencia del funcionamiento del sistema industrial crítico y proporcionan una mejor protección a los equipos utilizados. Además, mejoran la productividad del personal, proporcionan una identificación válida y una alerta rápida a las estaciones de observación mediante el uso de una etapa de monitorización, comunicaciones avanzadas y sensores de última generación.

Respecto a la seguridad, Tomar y Kumar (2020) señalan que los sistemas SCADA se diseñaron para funcionar de forma autónoma y se basaban en redes protegidas por aire y en protocolos propios para asegurar el sistema. Por ello, los diseños iniciales de SCADA nunca incorporaron características de seguridad. Sin embargo, en los últimos años, debido a la expansión del negocio y a la necesidad de una supervisión centralizada del software distribuido, los sistemas SCADA han evolucionado hasta convertirse en sofisticados y complejos sistemas abiertos, conectados a Internet mediante tecnología avanzada. Además, la asociación del sistema SCADA a la web ha ayudado a numerosos sistemas SCADA a trabajar desde zonas topográficamente inaccesibles. Sin embargo, esto ha hecho que el sistema SCADA sea más vulnerable para que los atacantes lo ataquen desde cualquier parte del mundo. Es por ello que la modernización del sistema SCADA, la estandarización de los protocolos de comunicación y la creciente interconectividad han aumentado drásticamente los ciberataques al sistema SCADA a lo largo de los años. Darshana y Srinivas (2020) afirman que este tipo de ataques son cada vez más sofisticados para cometer el ciberespionaje y el sabotaje más tradicional, además de los ciberdelitos.

#### Sistema de Control Distribuido

Según Gerard et al. (2021) el Sistema de Control Distribuido (DCS) se define como un sistema de controladores conectados por una red de datos que parece un único sistema. Las funciones, las ubicaciones, la configuración y las especificaciones pueden ser diferentes, pero todos se comunican utilizando un único lenguaje y, por tanto, están unidos.

Shi et al. (2021) indican que los DCS son preferibles en aplicaciones en las que interviene un gran número de módulos de entrada y salida en la comunicación, como las plantas químicas o las refinerías de petróleo, debido a que son sistemas multitarea capaces de manejar grandes bases de datos y permiten varios bucles de control mediante la representación gráfica de bloques de funciones.

Dordević y Jovanović (2021) afriman que la distribución de los controladores y los elementos de supervisión en el área de la planta es una de las ventajas más importantes del DCS en comparación con el control centralizado, en el que un único controlador tiene un papel central en la gestión de todos los componentes de un sistema. Por lo tanto, un único controlador obtiene la información sobre todo el proceso y proporciona las acciones adecuadas como respuesta.

Ocaña et al. (2021) indican que la función de un controlador en el DCS no es gestionar todo el proceso, sino sólo algunos segmentos. Teniendo esto en cuenta, se puede concluir fácilmente que el fallo de un elemento en un sistema de control distribuido no provoca el fallo del funcionamiento del sistema, lo que no ocurre en los sistemas de control centralizados. Por ello, es habitual describir un problema a gran escala como una composición de varios problemas más pequeños. Además, un gran problema cuando se aplica el control centralizado es la necesidad de una comunicación de gran ancho de banda y una arquitectura compleja cuando el número de componentes del sistema es grande. Aun así, el control centralizado proporciona una optimización de mayor nivel del funcionamiento del sistema.

Ali et al. (2020) consideran que la ciberseguridad, la computación en la nube y la virtualización de servidores, junto con la integración del DCS en la planificación de recursos empresariales "ERP" y la garantía de alta disponibilidad, son los principales retos de los DCS modernos.

#### Controlador Lógico Programable

De acuerdo con Zhipeng et al. (2020) el PLC es un tipo de controlador lógico programable que puede mejorar la productividad del entorno industrial debido a que realiza diferentes operaciones específicas, como la operación secuencial y la operación lógica. Además, existe la posibilidad de ampliar las entradas y salidas (analógicas y digitales) para lograr el objetivo de controlar motores e instrumentos.

Vadi et al. (2021) señalan que en la automatización eléctrica, a través de la aplicación de un sistema con controlador tradicional, el cableado interno será más complejo y no hay una flexibilidad ideal. Sin embargo, utilizando la tecnología informática y la tecnología de control por contactores, el PLC puede reemplazar al relé de contacto mecánico para superar las desventajas existentes.

Zhou y Li (2021) el PLC sostienen que el PLC tiene una función anti interferencia muy fuerte, por lo que se puede desempeñar en un entorno operativo complejo. Además, la programación no es complicada, por lo que no habrá ninguna situación compleja en el proceso de operación, lo que hace el trabajo más conveniente.

Respecto a su construcción, Feng (2020) afirma que un sistema basado en PLC está compuesto por la unidad central de procesamiento (CPU), la interfaz de entrada, la interfaz de salida, el medio de almacenamiento, la fuente de alimentación, etc. Feng señala que el principio de funcionamiento del sistema de control basado en PLC es muy similar al del ordenador. Cuando se acaba de encender, la unidad central de procesamiento llevará a cabo el autodiagnóstico y procesará el contenido de la información de la red. Después de terminar el trabajo preparatorio, escaneará el programa del usuario y por los canales de entrada y salida. Por su parte, Zhao y Zheng (2020) indican que en el proceso de funcionamiento del PLC, si se presentan malas condiciones, el proceso puede ser autodiagnosticado con la ayuda de la unidad central de procesamiento, y luego reiniciar. Además, Zhao y Zheng afirman que el principio del sistema de control basado en PLC es garantizar la fiabilidad y fortalecer la seguridad a fin de crear un efecto económico más ideal.

#### 3.2.2. Detección de fallas en motores de inducción

De acuerdo con Olivares et al. (2020), los motores de inducción siguen siendo una de las máquinas eléctricas más fiables e importantes de la industria. La amplia gama de su uso implica diversas tensiones eléctricas, magnéticas, térmicas y mecánicas, lo que da lugar a la necesidad de diagnosticar las fallas como parte del mantenimiento.

Por su parte, Ruiz (2020) afirma que saber cuándo un motor necesita mantenimiento permite a los usuarios realizarlo cuando les convenga, en lugar de hacerlo durante costosas paradas no programadas. Mientras que Solomon et al. (2020) indican que esta necesidad de mejorar las técnicas de supervisión industrial ha dado lugar a una serie de estudios sobre la detección de fallas eléctricas y mecánicas en los motores de inducción.

Para López y Arce (2021) la supervisión del estado del motor puede reducir significativamente los costes de mantenimiento al permitir la detección de las fallas, cuya reparación podría resultar costosa. Además, el diagnóstico preciso y la detección temprana de los fallos ayudan a evitar las consecuencias perjudiciales, a veces devastadoras, después de la falla. Asimismo, Cruz (2021) señala que existen muchos métodos de monitorización del estado del motor, como la monitorización de las vibraciones, la monitorización de la temperatura, la monitorización química, la monitorización de las emisiones acústicas, la monitorización de la corriente, etc.

Por su parte, Bukale et al. (2021) afirman que el motor de inducción puede protegerse mediante la operación manual de componentes como el relé térmico bimetálico, el temporizador, el contactor, el interruptor termomagnético, el guardamotor y el transformador de tensión y corriente. Asimismo, mencionan que la protección de un motor de inducción contra fallas como el cortocircuito, el aumento de la temperatura y la vibración es muy importante para no reducir el tiempo de vida útil del motor. Sin embargo, el funcionamiento manual de estos sistemas de protección es muy lento y no es preciso.

Por otro lado, Pérez y Esparza (2020) afirman que últimamente la investigación en el ámbito del diagnóstico de fallas de los motores eléctricos ha cobrado un ritmo acelerado. Los fabricantes y usuarios de estos accionamientos están ahora muy interesados en incluir funciones de diagnóstico en el software para mejorar la comercialización y la fiabilidad. Además de localizar componentes armónicos específicos en la corriente de línea (lo que se conoce popularmente como análisis de la firma de la corriente del motor), también se exploran otras señales, como la velocidad, el par, el ruido, las vibraciones, etc., para conocer su contenido en frecuencia. A veces, también se emplean técnicas totalmente diferentes, como mediciones térmicas, análisis químicos, etc., para averiguar la naturaleza y el grado de la avería.

Vadi et al. (2021) indican que la participación humana en la toma de decisiones sobre la detección de fallas en máquinas está siendo sustituida poco a poco por herramientas automatizadas mediante la integración de elementos y tecnologías a la vanguardia del mundo industrial como el Internet de las Cosas (IoT), el Cloud Computing, el Business Intelligence o la Ciberseguridad, entre otros. Pensando en el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), se busca que el mayor número máquinas estén conectadas a Internet y proporcionen informes sobre su trabajo, rendimiento, estado, temperatura, niveles, etc. para mejorar los procesos de producción, ahorrar energía, reducir costes, entre otros.

# 3.2.3. Operacionalización de variables

**Tabla 2**Definición y operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Instrumento	
Sistema	De acuerdo con Su et al. (2020) un sistema automatizado es una integración de sensores,	Esta variable se medirá a través de simulaciones y	Sistema de supervisión	HMI, PLC y los software's	
automatizado (Independiente)	controladores y actuadores diseñado para realizar una función específica con una intervención humana mínima o nula.	empleando sensores, controladores, actuadores y software especializado.	Sistema de control	Machine Expert Basic y Vijeo Designer	
	De acuerdo con Ruiz (2020) la detección de fallas es un conjunto de	Esta variable se medirá a	Falla eléctrica		
Detección de fallas (Dependiente)	acciones que aseguran la desconexión del motor de la red eléctrica frente a alteraciones del régimen normal de trabajo.	través de simulaciones y empleando sensores, controladores, actuadores	Falla mecánica	Sistema automatizado	
		y software especializado.	Falla térmica		

# IV. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 4.1. Tipo y diseño de la investigación

Esta investigación es del tipo aplicada, de corte transversal y con diseño experimental.

#### 4.2. Población y muestra

La población está formada por los sistemas de bombeo de jugo clarificado de las empresas Casa Grande S.A.A., Agraria Chiquitoy S.A., San Jacinto S.A. y Agrolmos S.A. Como muestra se ha tomado el sistema de bombeo de jugo clarificado de la empresa Agrolmos S.A.

#### 4.3. Tipo de muestreo

No probabilístico intencional.

#### 4.4. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

La técnica utilizada en esta investigación fue el análisis de documentos para identificar artículos científicos de interés para el desarrollo de esta investigación. Otra técnica que se utilizó fue la observación con la finalidad de analizar cómo se realiza la localización de fallas eléctricas y mecánicas en el sistema de bombeo de jugo clarificado de Agrolmos.

Como equipo se utilizó una computadora de 12 GB de RAM, 512 GB de disco duro de estado sólido y sistema operativo Windows 10. En este equipo se instalaron los softwares Machine Expert Basic y Vijeo Designer de Schneider Electric.

En la Tabla 3 se muestra la lista de materiales empleados para el diseño del sistema automatizado para la detección de fallas eléctricas y mecánicas.

**Tabla 3** *Materiales para la investigación* 

Ítem	Material	Cantidad	Referencia	Foto
1	HMI (*)	1	HMISTU655	Signific — Mount
2	PLC	1	TM221CE16R	TO SERVICE STATE OF THE SERVIC
3	Módulo de entradas analógicas	1	TM3TI4	
4	Sensor de temperatura	1		por Common and the co
5	Transmisor de temperatura	1	PT100-420MA50-150TR	
6	Generador de señales	1	HXHDBOXAO	
7	Motor de inducción	1	6P56H3884	
8	Guardamotor	1	NS2-25	20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2
9	Interruptor termomagnético	1	EZ9F56210	Suggester:  Series 22

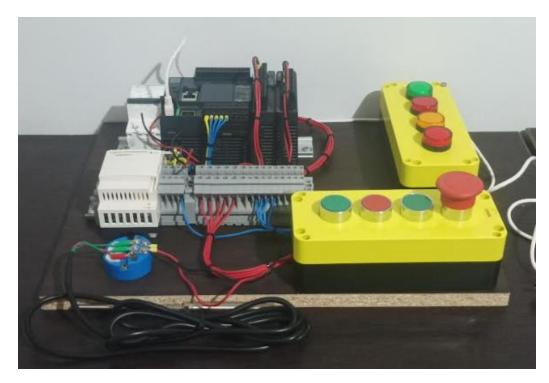
10	Fuente de alimentación	1	ABL7RM1202	Total 200 in Section 1
11	Contactor	1	LCD1D258	

Nota:

(\*) Se simulará en laptop.

Como muestra en la Figura 1, se realizó un prototipo compuesto por un sistema de potencia y un sistema de control para emular el funcionamiento del sistema de bombeo de jugo clarificado. El sistema de potencia estuvo formado por un guardamotor y un contactor para la protección y comando del motor de inducción. El sistema de control estuvo basado en un PLC, una HMI y sensores para la detección de fallas eléctricas y mecánicas

**Figura 1**Prototipo para pruebas experimentales



#### 4.5. Método de análisis de datos

El motor fue sometido a pruebas experimentales para simular su funcionamiento en condiciones anormales, tales como sobrecorrientes, temperatura alta en los bobinados del estator y vibración alta en el rotor. El programa del PLC fue diseñado para detener el motor de inducción en los siguientes escenarios: cuando se detectan sobrecorrientes, cuando la temperatura de los bobinados del estator supera los 40°C y cuando la vibración en el rotor supera los 25 mm/s. Todas las variables se monitorearon en la HMI.

#### 4.6. Procedimiento

## 4.6.1. Diagnóstico general

Agrolmos tiene una extensión de 18,600 hectáreas. En la zona de campo se emplean pivotes centrales para aprovechar al máximo el agua y el fertirriego con el objetivo de desarrollar una agricultura de alta precisión. Mientras que en la zona de fábrica se utilizan sistemas automatizados en todos los procesos de producción de azúcar. Actualmente, su capacidad de molienda es de 5,600 toneladas diarias para producir 600 toneladas de azúcar rubia, destinada tanto al mercado interno como al exterior (COAZUCAR del Perú, 2022).

Figura 2

Agrolmos S.A.



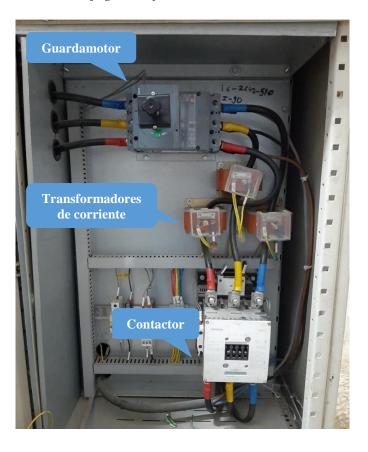
Fuente: http://www.coazucar.com/esp/agrolmos\_galeria.html

En Agrolmos la elaboración de azúcar consta de las siguientes etapas: corte y picado de la caña, molienda, generación de vapor (caldera), calentamiento, clarificación, filtración, evaporación, cristalización, centrifugación, evaporación, secado y envasado.

Gómez et al. (2017) sostienen que la clarificación del jugo de caña es un proceso de vital importancia para la producción de azúcar. Esto se debe principalmente a que ayuda a eliminar una gran cantidad de impurezas y no-azúcares para obtener azúcar de gran calidad. Es por ello que los subsistemas (eléctricos, mecánicos, etc.) que forman parte del sistema que transporta el jugo clarificado deben funcionar correctamente durante toda la jornada de trabajo.

El sistema de potencia de la bomba de jugo clarificado está compuesto por un guardamotor y un contactor. También cuenta con transformadores de corriente para medir la corriente de cada fase.

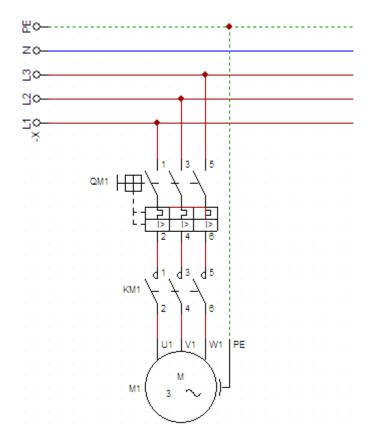
Figura 3
Sistema de potencia de la bomba de jugo clarificado



Fuente: Agrolmos.

Figura 4

Plano eléctrico del sistema de potencia de la bomba de jugo clarificado



El sistema de control de la bomba de jugo clarificado está compuesto por un selector de dos posiciones para seleccionar el modo de funcionamiento (SWTICH LOCAL - REMOTO), un selector de dos posiciones para habilitar el amperímetro (AMMETER SELECTOR SWTICH), un piloto luminoso de color rojo para indicar que la bomba jugo clarificado está funcionando (ON), un piloto luminoso de color verde para indicar que la bomba jugo clarificado está detenida (OFF), un piloto luminoso de color amarillo para indicar que se ha detectado una falla por sobrecorriente (TRIP), un pulsador normalmente abierto de color negro para resetear las fallas (RESET) y un pulsador de parada de emergencia (STOP).

**Figura 5**Sistema de control de la bomba de jugo clarificado

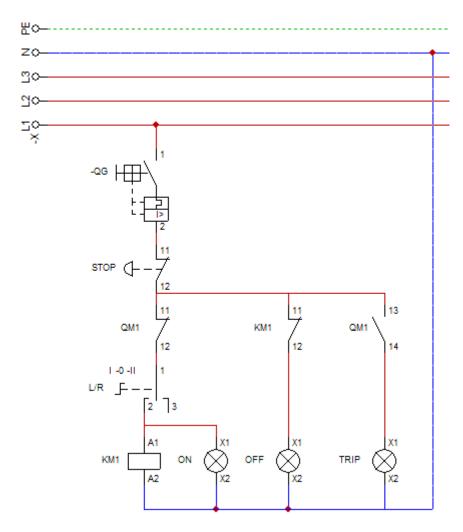


Fuente: Agrolmos.

Como se ha mencionado antes, el sistema de control de la bomba de jugo clarificado solo detecta las fallas eléctricas como las sobrecargas y cortocircuitos (TRIP), pero ignora otro tipo de fallas que pueden producirse durante la jornada de trabajo, tal como se muestra en el plano eléctrico de la Figura 6.

Figura 6

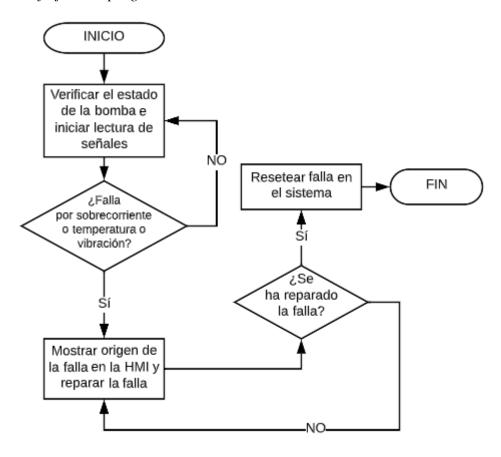
Plano eléctrico del sistema de control de la bomba de jugo clarificado



Por ello, cuando se producen fallas que el sistema de control no reconoce, los operarios electricistas se encargan de revisar los tableros eléctricos para buscar el dispositivo de protección o maniobra averiado. Si la falla no se encuentra en los elementos de los tableros eléctricos, los operarios se dirigen hacia la bomba de jugo clarificado para identificar el tipo de falla ocurrida y tratar de corregirla. Esto implica parar la producción hasta resolver la falla y todo vuelva a la normalidad.

## 4.6.2. Programación de PLC

**Figura 7**Diagrama de flujo de la programación del PLC



## 4.6.3. Diseño de HMI

Figura 8

Pantalla de proceso

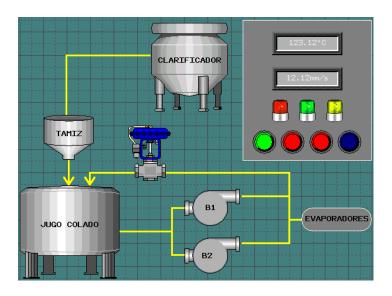


Figura 9

## Pantalla de fallas



**Figura 10**Pantalla de estado

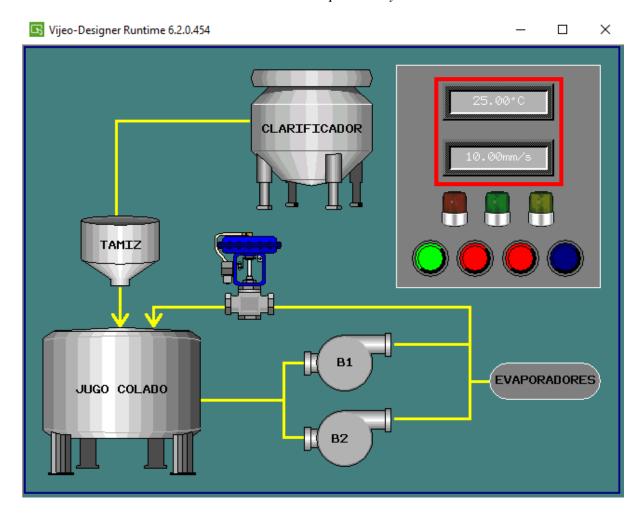


## V. RESULTADOS

## 5.1. Detección de falla por sobrecorriente

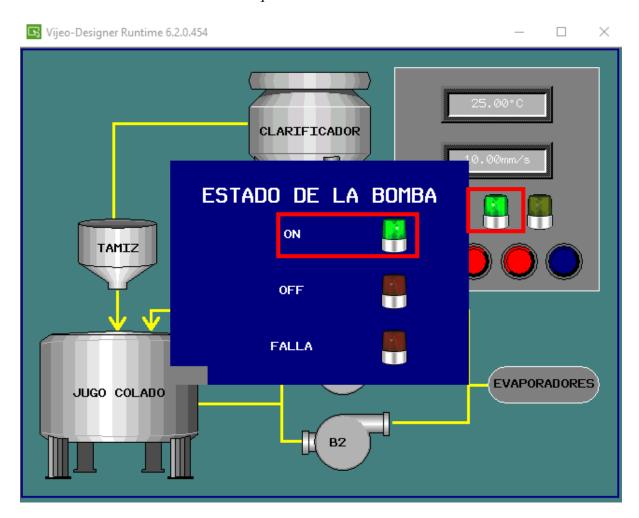
En la Figura 11 se observa la pantalla de proceso de sistema propuesto. También se observa que el sistema indica los valores de temperatura y vibración.

**Figura 11**Pantalla de estado indicando los valores de temperatura y vibración



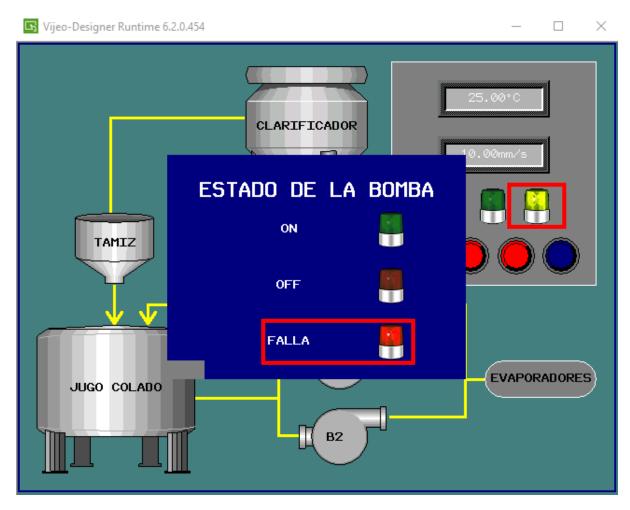
En la Figura 12 se observa que el sistema ha arrancado la bomba. Además, se observa que los pilotos luminosos de color verde que indican el arranque están activados, tanto en la pantalla de proceso como en la pantalla de estado de la bomba.

**Figura 12**Pilotos luminosos indicando el arranque de la bomba



Ahora se procede a generar una falla por sobrecorriente mediante el botón de test del guardamotor. Esto genera que el contacto normalmente abierto del guardamotor se cierre indicando una falla por sobrecorriente, ya sea por sobrecarga o cortocircuito. Es por ello que en la Figura 13 se puede observar que el sistema ha detenido la bomba para protegerla y activó tanto el piloto luminoso de color amarrillo (TRIP) en la pantalla de proceso como el piloto luminoso de color rojo de falla en la pantalla de estado de la bomba para indicar una falla por sobrecorriente.

**Figura 13**Pilotos luminosos indicando falla por sobrecorriente

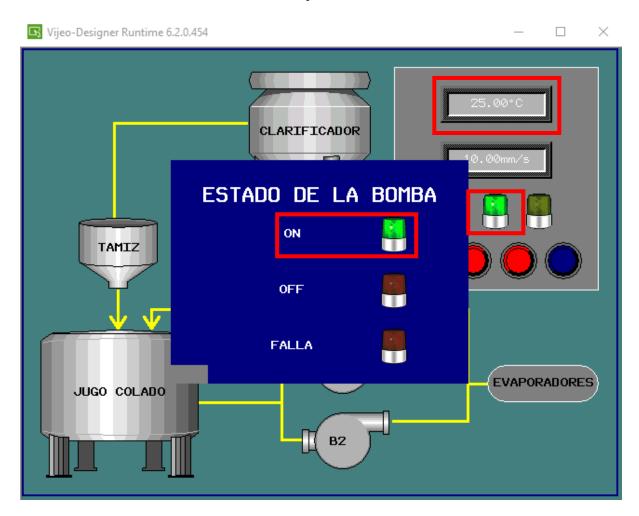


#### 5.2. Detección de falla por temperatura

En la Figura 14 se observa la pantalla de proceso de sistema propuesto. También se observa que el sistema indica que el valor de temperatura es de 25°C, es por ello que la bomba funciona con normalidad.

Figura 14

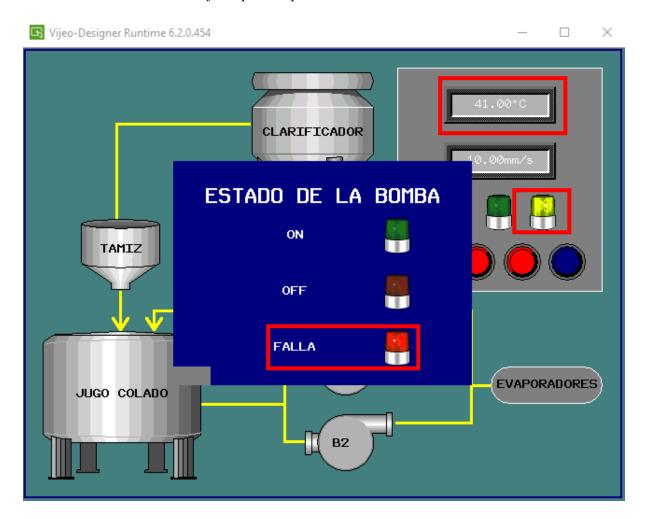
Pantalla de estado indicando el valor de temperatura



Ahora se procede a generar una falla por temperatura alta en los bobinados del estator de la bomba. Para ello se ha calentado el sensor de temperatura Pt-100. Esto genera que la temperatura se eleve hasta sobrepasar los 40°C para indicar una falla por temperatura fuera de rango. Es por ello que en la Figura 15 se puede observar que el sistema ha detenido la bomba para protegerla y activó tanto el piloto luminoso de color amarrillo (TRIP) en la pantalla de

proceso como el piloto luminoso de color rojo de falla en la pantalla de estado de la bomba para indicar una falla por temperatura alta.

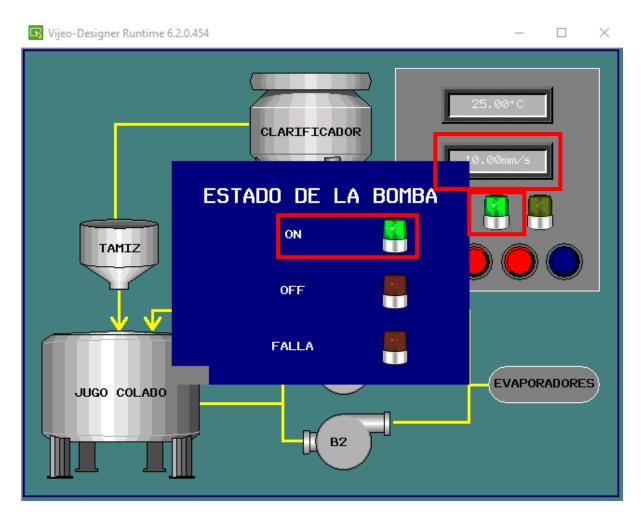
**Figura 15**Pilotos luminosos indicando falla por temperatura



### 5.3. Detección de falla por vibración

En la Figura 16 se observa la pantalla de proceso de sistema propuesto. También se observa que el sistema indica que el valor de vibración es de 10 mm/s, es por ello que la bomba funciona con normalidad.

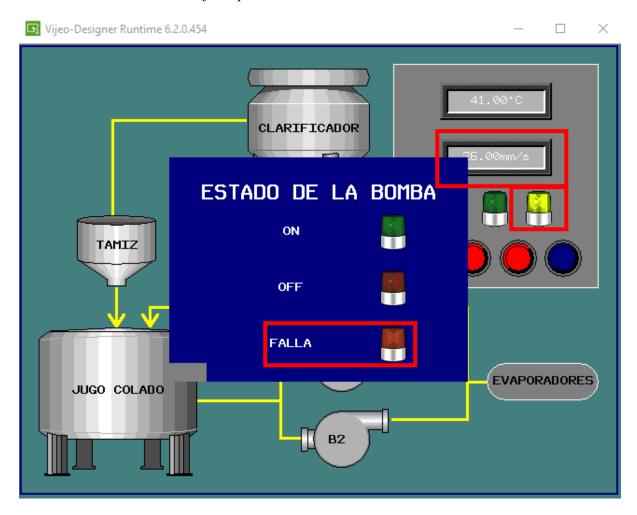
**Figura 16**Pantalla de estado indicando el valor de vibración



Ahora se procede a generar una falla por vibración alta en el eje del rotor de la bomba. Para ello se ha forzado el generador que simula en sensor de vibración. Esto genera que la vibración se eleve hasta sobrepasar los 25 mm/s para indicar una falla por vibración fuera de rango. Es por ello que en la Figura 17 se puede observar que el sistema ha detenido la bomba para protegerla y activó tanto el piloto luminoso de color amarrillo (TRIP) en la pantalla de

proceso como el piloto luminoso de color rojo de falla en la pantalla de estado de la bomba para indicar una falla por temperatura alta.

**Figura 17**Pilotos luminosos indicando falla por vibración



## VI. CONCLUSIONES

 Describir como se realiza la detección de fallas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.

Al cumplir este objetivo, se concluye que la identificación de las fallas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos se realiza visualmente mediante las luces piloto del panel de control. Además, las principales deficiencias en la detección de fallas son la ausencia de una interfaz gráfica que muestre el origen de la incidencia, la falta de formación de los operadores eléctricos para descubrir el fallo en el DCS y el escaso mantenimiento de los dispositivos de control y conmutación de la bomba de jugo clarificado.

2. Diseñar un sistema de control basado en PLC para detectar las fallas eléctricas y mecánicas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.

Al cumplir este objetivo, se concluye que el sistema de control diseñado logró identificar los fallos causados por las sobrecorrientes a través del guardamotor, los fallos causados por el aumento de la temperatura a través del sensor Pt-100, y los fallos inducidos por la vibración excesiva a través de un generador de señales.

3. Diseñar una interfaz gráfica en una HMI para indicar el origen de la fallas eléctricas y mecánicas en la bomba de jugo clarificado de Agrolmos.

Se concluye que la interfaz gráfica creada en la HMI fue capaz de mostrar adecuadamente el origen de las fallas producidas por sobrecorrientes, fallas causadas por alta temperatura y fallas causadas por vibración excesiva cumpliendo con este propósito.

## VII. RECOMENDACIONES

- 1. Integrar las señales de flujo y presión de jugo colado al sistema propuesto para indicar a los operadores electricista cuando estas señales están fuera de rango.
- 2. Integrar una pantalla adicional en la HMI para mostrar la fecha y hora donde se ha producido la falla.
- 3. Emplear algoritmos de detección de fallas basados en inteligencia artificial para determinar cuándo es necesario realizar mantenimiento o reemplazar un componente.

## **REFERENCIAS**

- Ahmed, A., Khaleelullah, M., Bin, F., y Sultana, A. (2020). *Journal of Scientific Research & Engineering Trends*. 6(4), 1160-1170. https://doi.org/10.21474/IJAR01/6965
- Ali, A. A. M., Shahin, H. T. I., Algzuly, O. A. O. A., Elneel, S. S. R., y Superviser, G. B. O. (2020). *Distributed Control System of Boiler in Steam Power Station*. http://repository.sustech.edu//handle/123456789/26595
- AL-Naib, I., y Jasim, K. (2018). Drive three phase induction motor using PLC. *International Journal of Advanced Research*, 6(4), 1160-1170. https://doi.org/10.21474/IJAR01/6965
- Andrade, R. (2020). Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 4*(2), 50-62. https://doi.org/10.33936/riemat.v4i2.2196
- Boopathi, C. S., Chowdhary, S., y Karn, S. (2020). *Three Phase Induction Motor Protection Using Embedded Technology* (SSRN Scholarly Paper ID 3636648). Social Science

  Research Network. https://papers.ssrn.com/abstract=3636648
- Bukale, D., Balugade, P., Kamerkar, V., y Mishra, P. M. (2021). Induction Motor Protection Using PLC. VIVA-Tech International Journal for Research and Innovation, 1(4), 1-5.
- Cano Valdez, V, Tierrafría Baez, S., Avilés Díaz, B. K., Calderón López, P. M., y Cabal Yépez, E. (2021). Detección de barras rotas en motores de inducción utilizando análisis de entropía de la Información en señales de corriente. JÓVENES EN LA CIENCIA, 10.
- http://www.coazucar.com/esp/agrolmos nosotros.html

COAZUCAR del Perú. (2022). Agrolmos.

Cruz, D. (2021). Evaluación del impacto térmico de los disturbios eléctricos en un motor de inducción usando termografía. http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2611

- Darshana, U., y Srinivas, S. (2020, febrero). SCADA (Supervisory Control and Data

  Acquisition) systems: Vulnerability assessment and security recommendations —

  ScienceDirect. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404819302068
- Đorđević, A., y Jovanović, Z. (2021). Current trends and challenges in distributed control systems AN OVERVIEW. *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, 20(2), 123-134. https://doi.org/10.22190/FUACR210417010D
- Feng, L. (2020). Development of Measurement and Control System of Bearing Performance

  Test-Rig Based on PLC Control. *IOP Conference Series: Materials Science and*Engineering, 750(1), 012082. https://doi.org/10.1088/1757-899X/750/1/012082
- Gerard, K., Kingston, P., Mol, S., y Pamela, D. (2021). Monitoring and control of various process using distributed control system. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.976
- Hadi, I., y Babu, G. (2020). Induction Motor Fault Monitoring and Fault Classification Using Deep Learning Probablistic Neural Network. *Solid State Technology*, *63*(6), 2196-2213.
- Hinojosa, M., y Paz, P. (2021). *Diseño de un sistema automatizado empleando HMI, SCADA*y PLC para el control del homogenizado de materia prima en DURALIT [Thesis].

  http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/24007
- Hoarcă, I. C., Bizon, N., y Enescu, F. M. (2020). The design of the graphical interface for the SCADA system on an industrial platform. 2020 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 1-6.

  https://doi.org/10.1109/ECAI50035.2020.9223119
- Huayta, C. (2021). Implementación de un sistema de monitoreo de vibraciones en línea para aumentar la productividad de las palas eléctricas de gran minería en la empresa Emerson Process Management del Perú S. A. C. [Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27385

- Kumar, P., y Shukla, S. (2021, febrero). A Literature Review of Broken Rotor Bar Faults
  Detection in Induction Motors. (ECAI), 1-6.
  https://doi.org/10.1109/ECAI50035.2020.9223119
- López, R., y Arce, E. (2021a). Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento con PLC S71500 y HMI, para el monitoreo de parámetros eléctricos y físicos del motor utilizando WINCC RT Advanced. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20524
- Mao, X., Li, X., Huang, Y., Shi, J., y Zhang, Y. (2021). PLC Past Linear Temporal Logic for Monitoring Applications in Industrial Control Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1-1. https://doi.org/10.1109/TII.2021.3123194
- Mendoza, R. (2020). Diseño de una plataforma de anticipación e identificación de fallas para bombas de desplazamiento positivo de relave en la mina de Toquepala Tacna.

  \*Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.\*

  http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12386
- Ocaña, W. S., Rubio, E. A., López, E. T., y Casa, A. T. (2021). Design and Implementation of an Industrial Multinetwork TCP/IP of a Distributed Control System with Virtual Processes Based on IOT. En X.-S. Yang, S. Sherratt, N. Dey, & A. Joshi (Eds.), *Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology* (pp. 797-812). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2380-6\_70
- Olivares, J. A. P., Beltrán, E. R., Mora, J. L. O., y Valadez, J. O. V. (2020). Detección de fallas en tiempo real mediante redes complejas en un sistema de manufactura 4.0 (Failure detection in real time through complex networks in a 4.0 manufacture system). Pistas Educativas, 42(136), Article 136.

http://www.itc.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/2378

- Orhanen, A. (2021). Thermal overload protection and automated protection relay setting value calculations for high voltage asynchronous motors.

  https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/12373
- Pérez, O., y Esparza, S. (2020). Estudio E Implementación Del Uso Del Plc Para Arranque

  De Motores Eléctricos. http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1369
- Ruiz, M. (2020). Analizador universal de fallos de PLC para identificación de causa raíz de paro de máquina [Thesis, STI]. https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1183
- Sembiring, Z. (2020). Stuxnet Threat Analysis in SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) and PLC (Programmable Logic Controller) Systems. *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering*, *1*(2), 96-103. https://doi.org/10.30596/jcositte.v1i2.5116
- Shi, G., Wang, J., y Gao, J. (2021, octubre 19). Research on Nuclear Turbine Control and

  Protection System Based on DCS Integrated Technical Solution. 2021 28th International

  Conference on Nuclear Engineering. https://doi.org/10.1115/ICONE28-64191
- Solomon, E. S., Rangasamy, S., Boopathy, N., Chinnarasu, P., y Venkatachalam, S. (2020).

  Fault detection and Induction motor safety using Programmable Logic Controller and Supervisory Control and Data Acquisition system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 955, 012077. https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012077
- Su, K.-M., Liu, I.-H., y Li, J.-S. (2020). The Risk of Industrial Control System Programmable

  Logic Controller Default Configurations. 2020 International Computer Symposium

  (ICS), 443-447. https://doi.org/10.1109/ICS51289.2020.00093
- Tomar, B., y Kumar, N. (2020). PLC and SCADA based Industrial Automated System. 2020

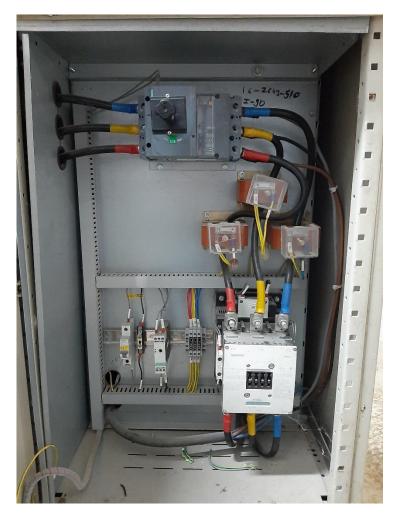
  IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON), 1-5.

  https://doi.org/10.1109/INOCON50539.2020.9298190

- Triyono, B., Prasetyo, Y., Winarno, B., y Wicaksono, H. H. (2021). Electrical Motor
  Interference Monitoring Based On Current Characteristics. *Journal of Physics:*Conference Series, 1845(1), 012044. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1845/1/012044
- Vadi, S., Bayindir, R., Toplar, Y., y Colak, I. (2021). Induction motor control system with a
  Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants
  An experimental setup. *ISA Transactions*. https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.019
- Yudianto, Y., y Mohruni, A. S. (2021). Industrial control system applied and problems: a review and experiences. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 8(1), 001-005. https://doi.org/10.36706/jmse.v8i1.49
- Zhao, H., y Zheng, J. (2020). Design and Research on Temperature Control System of Electric Furnace Based on PLC Touch Screen Integrated Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 914(1), 012034. https://doi.org/10.1088/1757-899X/914/1/012034
- Zhipeng, L., Xuejiao, L., y Jiwei, M. (2020). Application of PLC technology in electrical automatic control. *Journal of Physics: Conference Series*, *1684*(1), 012132. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1684/1/012132
- Zhou, Y., y Li, Y. (2021). PLC Control System of Pneumatic Manipulator Automatic

  Assembly Line Based on Cloud Computing Platform. *Journal of Physics: Conference*Series, 1744(2), 022011. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1744/2/022011
- Zhu, M., Sun, Z., Zhang, Z., Shi, Q., He, T., Liu, H., Chen, T., y Lee, C. (2020). Haptic feedback smart glove as a creative human-machine interface (HMI) for virtual/augmented reality applications. *Science Advances*, *6*(19), eaaz8693. https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz8693

## **ANEXOS**









# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS DECANATO



Ciudad Universitaria - Lambayeque

## ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL Nº 036-2022-D/FACFyM

Siendo las 11:00 am del día viernes 14 de octubre del 2022, se reunieron vía plataforma virtual, http://meet.google.com/nqe-bsnm-mfw los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada: SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE FALLAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS EN UNA BOMBA DE JUGO CLARIFICADO DE UNA EMPRESA DE OLMOS

Designados por Resolución N° 045-2022-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 14 de enero de 2022 Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

M.Sc. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos
 M.Sc. Ing. Wilson Dennis Reyes Vásquez
 Mg. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar
 Vocal

La tesis fue asesorada por el M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly nombrado por Resolución N° 045-2022-VIRTUAL D/FACFyM de fecha 14 de enero de 2022. El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 855-2022-VIRTUAL-. D/FACFyM de fecha 7 de octubre del 2022.

La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: Guevara Rocha, Alexis Roger y López Mego, César y tuvo una duración de 35 minutos. Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de 14 (catorce) en la escala vigesimal, mención Regular. Por lo que quedan aptos para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Siendo las 12:15 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

A conjuncts

M.Sc. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos Presidente

Mg. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar Vocal M.Sc. Ing. Wilson Dennis Reyes Vásquez Secretario

Mg. Ing. Oscar Ucchelly romero Cortez Asesor CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

(Aprobado con Res N° 626-2021-CU)

Yo, OSCAR UCCHELLY ROMERO CORTEZ, usuario revisor del

documento titulado: SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA

DETECCIÓN DE FALLAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS EN UNA BOMBA DE

JUGO CLARIFICADO DE UNA EMPRESA DE OLMOS

Cuyos autores son: Bach. Guevara Rocha Alexis Roger identificado con

DNI: 75712656 y Bach. López Mego César identificado con DNI: 77702442

declaro que la evaluación realizada por el programa informático ha arrojado un

porcentaje de similitud de 8% verificable en el resumen de reporte automatizado

de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las

coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no

constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con

las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos

respectivos.

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de trazabilidad

respectiva del proceso

Lambayeque, 27 de agosto de 2022.

Mg.Oscar Ucchelly, Romero Cortez

All

DNI 41812294

**ASESOR** 

Adj.

1. Recibo Digital Turnitin firmado.

2. Vista actual con Informe de Originalidad Turnitin firmados.

## informe parcial

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

12%
INDICE DE SIMILITUD

pt.scribd.com

Fuente de Internet

12%

FUENTES DE INTERNET

4%
PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

# **FUENTES PRIMARIAS** repositorio.umsa.bo 2% Fuente de Internet myslide.es Fuente de Internet sikancity.blogspot.com Fuente de Internet turismo.deperu.com Fuente de Internet Rocío Farro-Barbaran, Willy Mauricio Ramos-5 Iturregui, Sebastian Iglesias-Osores, Carmen Carreño-Farfán. "Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán", Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 2021 Publicación docplayer.es Fuente de Internet



## Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: César López Mego

Título del ejercicio: SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE ...

Título de la entrega: SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE ...

Nombre del archivo: AS\_EN\_UNA\_BOMBA\_DE\_JUGO\_CLARIFICADO\_DE\_UNA\_EMPRE...

Tamaño del archivo: 3.14M

Total páginas: 55

Total de palabras: 8,569
Total de caracteres: 47,763

Fecha de entrega: 27-ago.-2022 05:25p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entre... 1887961946





#### TESIS

"SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE FALLAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS EN UNA BOMBA DE JUGO CLARIFICADO DE UNA EMPRESA DE OLMOS"

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

#### ELABORADA POR:

Bach. Guevara Rocha Alexis Roger Bach. López Mego César

ASESOR:

M.Sc. Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly

LAMBAYEQUE – PERÚ 2022