



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE
COMPRESORAS CON UMC 100.3 – ROCKWELL EN LA UNIDAD
MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA – REGIÓN PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

ADALSON ERICK MAMANI CALSINA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE COMPRESORAS CON UMC 100.3 – ROCKWELL EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA – REGION PUNO

AUTOR

ADALSON ERICK MAMANI CALSINA

RECuento DE PALABRAS

26958 Words

RECuento DE CARACTERES

151604 Characters

RECuento DE PÁGINAS

175 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.5MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 30, 2024 8:22 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 30, 2024 8:25 AM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Bloques de texto excluidos manualmente



IVAN DELGADO HUAYTA
INGENIERO ELECTRONICO
CIP. 61406



Karlo P. Cantuta Chirpa
Subdirector - E.P.I.E.



DEDICATORIA

Dedico la presente investigación a mis amados padres, Mario Mamani Mamani y Eleuteria Calsina de Mamani. Desde que era tan solo un niño, ustedes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional, este logro no habría sido posible sin su constante sacrificio, amor y aliento hacia mi persona, por lo que vienen siendo mi faro en las buenas y en las malas.

A lo largo de los años, también estuvieron presentes mis hermanos Marck Yefersson Mamani Calsina y mi hermana menor Ely Romina Mamani Calsina toda mi familia viene siendo mis pilares brindándome orientación, enseñanzas y consejos sabios. Gracias a su inquebrantable apoyo, he podido superar obstáculos y alcanzar metas anheladas. Cada palabra de este trabajo lleva impresa la gratitud que siento por todo lo que han hecho por mí.

Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han sido testigos de mi crecimiento y han contribuido de manera significativa a mi formación. Agradezco profundamente su amor incondicional y la dedicación que han demostrado hacia mi persona a lo largo de este viaje académico.

Con todo mi cariño y gratitud,

Adalson Erick Mamani Calsina



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarme una formación académica excepcional y por ser el escenario donde he cultivado mis conocimientos y habilidades.

Asimismo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor Dr. Ivan Delgado Huayta. Su dedicación, paciencia y sabiduría han sido fundamentales para el desarrollo del presente trabajo. Gracias a los conocimientos impartidos, por alentarme a explorar nuevas ideas y por estar siempre dispuesto a responder mis preguntas y orientarme en momentos de incertidumbre.

Además, deseo expresar mi agradecimiento al Instituto de Investigación en Smart Grid, Energía y Automatización.

Con gratitud sincera,

Adalson Erick Mamani Calsina



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	18
ABSTRACT.....	19
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DE LOS PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.1.1 Problema general.....	21
1.1.2 Problemas específicos	22
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.2.1 Objetivo general	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	23
1.3.1 Hipótesis general	23
1.3.2 Hipótesis específicas	23
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	24
1.4.1 Justificación social	24
1.4.2 Justificación tecnológica	24



1.4.3	Justificación económica	24
-------	-------------------------------	----

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1	Internacionales	25
2.1.2	Nacionales	26
2.2	MARCO TEÓRICO	27
2.2.1	Origen del sistema automatizado	27
2.2.2	Evolución del sistema automatizado	28
2.2.3	Sistema automatizado.....	28
2.2.4	Tipos de sistemas automatizados	29
2.2.5	Ventajas y desventajas de la automatización	29
2.2.6	Aplicación de la automatización en el sector minero.....	31
2.2.7	Centro de Control de Motores (CCM)	32
2.2.8	Beneficios del Centro de Control de Motores (CCM)	32
2.2.9	Ventajas del Centro de Control de Motores o (CCM)	33
2.2.10	Tipos de construcción de estructura del Centro de Control de Motores .	34
2.2.11	Cableado del Centro de Control de Motores.....	34
2.2.12	Relé inteligente.....	36
2.2.13	Invencción del Controlador Universal de Motor (UMC 100)	37
2.2.14	Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3	37
2.2.15	Características y componentes del Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3	38
2.2.15.1	Módulo relé Controlador Universal de Motor (UMC) 100.3....	38
2.2.15.2	Interfases de comunicación.....	39



2.2.15.3 Módulos de tensión	39
2.2.15.4 Módulos digitales de expansión:.....	39
2.2.15.5 Módulo de temperatura:	40
2.2.15.6 Panel de control:.....	40
2.2.16 Funciones del Controlador de Motor Universal (UMC) 100.3	40
2.2.17 Beneficios del Controlador Universal de Motores (UMC).....	41
2.2.17.1 Eficacia.....	41
2.2.17.2 Protección y seguridad	42
2.2.17.3 Compatibilidad universal	43
2.2.17.4 Monitoreo remoto	43
2.2.17.5 Análisis eficiente de datos.....	44
2.2.18 Red de comunicación del UMC con las compresoras.....	45
2.2.18.1 Conexión mediante ethernet.....	45
2.2.19 Compresoras de aire	46
2.2.20 Características de las compresoras.....	46
2.2.20.1 Potencia.....	46
2.2.20.2 Rendimiento	47
2.2.21 Operatividad de la compresora de aire en relación con los concentradores Falcon	47
2.2.22 Funciones y beneficios del Controlador Universal de Motores (UMC) implementados a las compresoras	48

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.1.1 Diseño de investigación	49



3.1.2	Tipo de la investigación	49
3.1.3	Nivel de investigación.....	50
3.1.4	Población y muestra	50
3.1.5	Ubicación	51
3.1.6	Materiales.....	52
3.1.7	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	53
3.1.7.1	Técnica.....	53
3.1.7.2	Instrumento	54
3.2	DISEÑO Y DESARROLLO PARA LA AUTOMACIÓN DE LAS	
	COMPRESORAS.....	54
3.2.1	Planificación.....	54
3.2.2	Revisión del tablero de control	58
3.2.3	Identificación del Controlador lógico programable (PLC), módulos I/O módulos de comunicaciones	59
3.2.4	Revisión de las compresoras	61
3.2.4.1	Inspección Visual.....	61
3.2.4.2	Revisión de Sistema de Control.....	61
3.2.4.3	Revisión de placa de datos de las compresoras.....	63
3.2.4.4	Mediciones de consumo de energía	64
3.2.4.5	Análisis de Datos Históricos	64
3.2.5	Instalación y configuración del Controlador Universal de Motores (UMC) para las compresoras	67
3.2.6	Plano P &ID del cubículo del Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3.....	69



3.2.6.1	Conexión de fuerza de las compresoras al Controlador Universal de Motor (UMC).....	72
3.2.6.2	Conexión de fuerza del Controlador Universal a las compresoras en el campo.....	73
3.2.6.3	Conexión de comunicación.....	75
3.2.7	Configuración de protección de la compresora.....	76
3.2.7.1	Clase de disparo para la compresora.....	76
3.2.7.2	Cálculo de la clase de disparo.....	76
3.2.8	Configuración de las interfaces de comunicación.....	79
3.2.8.1	Ajuste de la dirección IP.....	79
3.3	DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS COMPRESORAS.....	81
3.3.1	Determinación del tipo de control del sistema.....	82
3.3.2	Establecimiento de los criterios necesarios.....	83
3.3.3	Diseño del control.....	83
3.3.4	Configuración y comunicación entre Controlador Universal de Motor (UMC) y Controlador Lógico Programable (PLC).....	86
3.3.5	Desarrollo del sistema automatizado.....	88
3.3.5.1	Representación gráfica de la programación de encendido de las 3 compresoras.....	88
3.3.6	Desarrollo del texto estructurado en RSlogix 5000.....	92
3.3.7	Encendido/Apagado de compresoras.....	92
3.3.8	Desarrollo de alarmas por tiempo excedido de las compresoras.....	96
3.3.9	Desarrollo de la secuencia de encendido de las compresoras.....	99



3.4	ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES EN RSLOGIX 5000	
	102
3.4.1	Creación del bloque Interlock	102
3.4.2	Integración del bloque para el control de la compresora	104
3.4.3	Configuración del sensor de presión (PIT)	105
3.5	INTEGRACIÓN DE LA LÓGICA AL SCADA (FactoryTalk View Studio)	
	108
3.5.1	Integración de las compresoras al SCADA.....	109
3.5.2	Creación de imágenes y desarrollo para el SCADA	109
3.5.3	Pantalla de tendencias	117
3.5.4	Descarga al sistema SCADA	119
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	119
3.6.1	Datos para la hipótesis general:.....	120
3.6.2	Datos para la hipótesis específica 1:	120
3.6.3	Datos para la hipótesis específica 2:	121

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	122
4.1.1	Tendencias del funcionamiento de las compresoras	122
4.1.2	Historial del funcionamiento de las compresoras	127
4.1.3	Funcionamiento de compresoras sin automatización o de forma manual	129
4.1.4	Funcionamiento de compresoras con automatización.....	130
4.2	PRUEBAS DE HIPÓTESIS.....	133
4.2.1	Análisis de las hipótesis específicas.....	133



4.2.1.1	Hipótesis específica 1.....	133
4.2.1.2	Hipótesis específica 2.....	137
4.2.2	Análisis de la hipótesis general	140
4.3	RESULTADOS.....	143
4.4	DISCUSIÓN	144
V.	CONCLUSIONES.....	146
VI.	RECOMENDACIONES.....	147
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
	ANEXOS.....	156

Área: Robótica

Tema: Control y Automatización

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de Mayo del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ventajas y desventajas del sistema automatizado.....	30
Tabla 2 Tipos de construcción de estructura.....	34
Tabla 3 Clases de cableado	35
Tabla 4 Tipos de cableado	35
Tabla 5 Funciones y beneficios del UMC implementados a las compresoras	48
Tabla 6 Selección de tiempo de pérdida y desequilibrio de fase.	78
Tabla 7 Diferencias de un control PID y ON/OFF	82
Tabla 8 Descripción de los FACEPLATES para el SCADA.....	114
Tabla 9 Funcionamiento de las compresoras sin automatización	129
Tabla 10 Funcionamiento de las compresoras con automatización	131
Tabla 11 Prueba de Normalidad.....	134
Tabla 12 Estadística de grupos.....	135
Tabla 13 Prueba T para muestras independientes	136
Tabla 14 Prueba de normalidad	138
Tabla 15 Estadística de grupos.....	139
Tabla 16 Prueba de normalidad	141
Tabla 17 Estadística de grupos.....	142
Tabla 18 Prueba T para muestras independientes	142



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación Satelital de la Unidad Minera San Rafael - Planta B2	52
Figura 2 Planificación del proyecto (1)	56
Figura 3 Planificación del proyecto (2)	57
Figura 4 Controlador lógico programable principal (PLC)	59
Figura 5 Compresoras de aire a automatizar.....	61
Figura 6 Tablero de control de la compresora	62
Figura 7 Placa de datos de la compresora	63
Figura 8 Medición de corriente.....	64
Figura 9 Diagrama unifilar sin automatización	65
Figura 10 Diagrama unifilar con automatización	67
Figura 11 Plano P & ID del cubículo UMC 100.3.....	70
Figura 12 Conexión de fuerza de las compresoras al UMC	73
Figura 13 Diagrama de conexión directa	74
Figura 14 Conexión directa del UMC a la compresora	75
Figura 15 Conexión Ethernet del UMC	76
Figura 16 Selección de clase de disparo	77
Figura 17 Clase de disparo.....	78
Figura 18 Dirección Host de la compresora 1	80
Figura 19 Dirección Host de la compresora 2	80
Figura 20 Dirección Host de la compresora 3	81
Figura 21 Diagrama de bloques del sistema	84
Figura 22 Configuración del PLC y UMC (Compresora 1)	86
Figura 23 Configuración del PLC y UMC (Compresora 2)	87



Figura 24	Configuración del PLC y UMC (Compresora 3)	88
Figura 25	Diagrama de flujo de encendido de las compresoras	89
Figura 26	Diagrama de flujo de secuencia de encendido de las compresoras	90
Figura 27	Configuración para el caso 1 de la compresora 1	93
Figura 28	Configuración para el caso 2 de la compresora 1	94
Figura 29	Configuración para el caso 3 de la compresora 1	95
Figura 30	Código de alarmas de la compresora 1	97
Figura 31	Secuencia de encendido de las compresoras	100
Figura 32	Interlocks del equipo 5331CP001 (Compresora 1)	102
Figura 33	Configuración para el arranque de la compresora 1	104
Figura 34	Configuración del sensor de presión (PIT).....	106
Figura 35	Software de programación FactoryTalk View	108
Figura 36	Librería de objetos	109
Figura 37	Vista general de las compresoras (FACEPLATE 1)	110
Figura 38	Control de la compresora 1 (FACEPLATE 2)	110
Figura 39	Configuración de la compresora 1 (FACEPLATE 3)	111
Figura 40	Tiempo de ejecución acumulado de la compresora 1 (FACEPLATE 4) .	112
Figura 41	Alarmas de la compresora 1 (FACEPLATE 5).....	112
Figura 42	Pantalla de presión del tanque (FACEPLATE 6).....	113
Figura 43	Pantalla de configuración de presión (FACEPLATE 7)	113
Figura 44	Icono de tendencias	117
Figura 45	Pantalla de tendencias.....	118
Figura 46	Fotos del sistema SCADA descargado al PC del operador	119
Figura 47	Funcionamiento de la compresora 1	123
Figura 48	Funcionamiento de la compresora 2.....	124



Figura 49	Funcionamiento de la compresora 3	125
Figura 50	Comportamiento secuencial de las 3 compresoras	126
Figura 51	Historial de las compresoras	128
Figura 52	Grafica de funcionamiento de compresoras sin automatización	130
Figura 53	Grafica de funcionamiento con automatización	132



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Planos P&ID	156
ANEXO 2 Suministro y Distribución de Aire	157
ANEXO 3 Configuración de encendido para la compresora 2	158
ANEXO 4 Configuración de encendido para la compresora 3	159
ANEXO 5 Código de alarmas de la compresora 2	160
ANEXO 6 Código de alarmas de la compresora 3	161
ANEXO 7 Interlock del equipo 5331CP002 (Compresora 2)	162
ANEXO 16 Historial de funcionamiento	168
ANEXO 17 Tiempo de funcionamiento de las compresoras sin automatización	168
ANEXO 18 Tiempo de funcionamiento de las compresoras con automatización	169
ANEXO 19 Recopilación de datos de hipótesis específico 1	169
ANEXO 20 Recopilación de datos de hipótesis específico 2	170
ANEXO 21 Recopilación de datos de hipótesis general	170
ANEXO 22 Valores de confianza	171
ANEXO 23 Materiales	171
ANEXO 24 Operacionalización de variables	173
ANEXO 25 Declaración jurada de autenticidad de tesis	174
ANEXO 26 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	175



ACRÓNIMOS

MCC / CCM:	Motor Control Center / Centro de Control de Motores
PLC:	Programmable logic controller / Controlador Lógico Programable
UMC:	Universal Motor Controler / Controlador de Motor Universal
UMSR:	Unidad Minera San Rafael
SCADA:	Supervisory Control And Data Acquisition / Supervisión, Control y Adquisición de Datos
PIT:	Trasmisor de presión



RESUMEN

Este estudio de investigación tiene como objetivo general demostrar que la automatización contribuye a la protección y el monitoreo de las compresoras con el Control Universal de Motor - Rockwell. En cuanto a los objetivos específicos, se buscó demostrar los beneficios del sistema SCADA utilizando la tecnología Rockwell, su implementación en el funcionamiento de las compresoras y su relación con las Falcon en la Unidad Minera San Rafael, se buscó determinar el impacto económico de la implementación del sistema SCADA en las compresoras en la Unidad Minera San Rafael. Se utilizó un enfoque metodológico cuantitativo y experimental puro, con muestreo deliberado de recolección de datos. Se aplicaron los instrumentos correspondientes, como la hoja de recolección de datos, según Idrobo, donde se reflejan las pérdidas económicas reducidas, el rendimiento y el monitoreo. El procesamiento de los datos se realizó utilizando métodos estadísticos en el programa SPSS, incluyendo la prueba t, U MAN Whitney y Wilcoxon. Los resultados mostraron la aceptación de las hipótesis alternativas, con una mejora del 46% con el sistema automatizado, un 8.12% de mayor productividad en función de los beneficios, y una disminución del 44.5% de la pérdida total en comparación con el año 2022. En conclusión, el diseño del sistema automatizado de protección y monitoreo de compresoras con el Controlador Universal de Motor (UMC) 100.3 - Rockwell en la Unidad Minera San Rafael permite el monitoreo en tiempo real de las compresoras. Esto a su vez permite una capacidad de respuesta inmediata ante situaciones críticas que puedan surgir.

Palabras clave: Compresora, Monitoreo, Protección, Sistema Automatizado, UMC 100.3, Unidad Minera San Rafael.



ABSTRACT

This research study has the general objective of demonstrating that automation contributes to the protection and monitoring of compressors with Universal Motor Control - Rockwell. Regarding the specific objectives, we sought to demonstrate the benefits of the SCADA system using Rockwell technology, its implementation in the operation of the compressors and its relationship with the Falcon in the San Rafael Mining Unit, we sought to determine the economic impact of the implementation of the SCADA system in the compressors at the San Rafael Mining Unit. A pure quantitative and experimental methodological approach was used, with deliberate sampling of data collection. The corresponding instruments were applied, such as the data collection sheet, according to Idrobo, which reflects the reduced economic losses, performance and monitoring. Data processing was carried out using statistical methods in the SPSS program, including the t test, U MAN Whitney and Wilcoxon. The results showed the acceptance of the alternative hypotheses, with a 46% improvement with the automated system, 8.12% greater productivity based on benefits, and a 44.5% decrease in total loss compared to the year 2022. In conclusion, the design of the automated compressor protection and monitoring system with the Universal Motor Controller (UMC) 100.3 - Rockwell at the San Rafael Mining Unit allows real-time monitoring of the compressors. This in turn allows for an immediate response capacity to critical situations that may arise.

Keywords: Compressor, Monitoring, Protection, Automated System, UMC 100.3, San Rafael Mining Unit.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera San Rafael ubicada en Antauta, enfrenta una problemática en su planta B2 de concentradoras de estaño, esto se debe a la carencia de la automatización para el funcionamiento de compresoras que son las encargadas de suministrar aire a las Falcon que son equipos de concentración gravimétrica, esta falta de automatización genera daños en las compresoras, riesgo de fallas operativas que ocasiona pérdidas económicas en cada parada inesperada que se suscita, es así que se plantea como objetivo general de “demostrar que el diseño e implementación de la automatización contribuye a la protección y monitoreo de compresoras con Control Universal de Motor (UMC) 100.3 – Rockwell”, en cuanto a los objetivos específicos de “Demostrar los beneficios del sistema SCADA mediante la tecnología Rockwell, su implementación en el funcionamiento de las compresoras y su relación con las Falcon en la Unidad Minera San Rafael” y “Determinar el impacto económico que tiene la implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras en la Unidad Minera San Rafael”, en cuanto a la parte metodológica de la investigación se utilizó el enfoque cuantitativo, diseño experimental, tipo experimental puro, como técnica de recolección de datos el muestreo deliberado, como instrumentos se aplicó la hoja de recolección de datos que detalla el monitoreo de las compresoras y las pérdidas económicas que se suscitan, el procesamiento de datos se realizó mediante métodos estadísticos en el programa SPSS (prueba t y U MAN Whitney), consiguientemente realizándose la prueba de hipótesis con un margen de error de 0.01%, donde se llegó a los resultados esperados, “el diseño del sistema automatizado de protección y monitoreo de compresoras con el Controlador Universal de Motor (UMC) 100.3 – Rockwell en la Unidad Minera San Rafael, permite el monitoreo en tiempo real de las compresoras lo que a su vez permite la capacidad de



respuesta inmediata ante situaciones críticas que se presentan” obteniéndose 46% de mejora, en “La implementación del SCADA mediante la tecnología Rockwell es beneficiosa; por medio del sistema, las compresoras de aire obtienen los siguientes: a) monitoreo constante de las compresoras, b) patrones de turnos rotativos del funcionamiento de las compresoras y c) historial de trabajo de las compresoras” obteniéndose 8.12% de productividad mayor, y “la implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras de aire y las Falcon tiene un impacto económico positivo. Se espera evitar pérdidas significativas para la Unidad Minera San Rafael. Anteriormente, se registraban pérdidas anuales de aproximadamente 30.000 US\$ dólares americanos, pero con la implementación del SCADA, se espera reducir estas pérdidas a menos de 6.000 US\$ dólares americanos al año. Estas cifras demuestran un cambio considerable antes y después de la puesta en marcha del sistema, lo que refleja los beneficios económicos que se obtienen” alcanzándose un 44.5% de disminución de pérdida total en comparación al año 2022 (ver anexo 12).

Por lo que, se concluye en base a los objetivos tanto generales como específicos donde se logró diseñar e implementar el sistema automatizado mediante el Controlador Universal de Motores (UMC) – Rockwell, las cuales brindan beneficios de protección, monitoreo en tiempo real y reducción de pérdida monetaria a la empresa.

1.1 PLANTEAMIENTO DE LOS PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Problema general

¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado de protección y monitoreo de compresoras con UMC 100.3 – Rockwell en la Unidad Minera San Rafael, Antauta – Región Puno?



1.1.2 Problemas específicos

¿Cuán beneficioso es el sistema SCADA, a través de la tecnología Rockwell implementada al funcionamiento de las compresoras de aire en la Unidad Minera San Rafael?

¿Qué impacto económico tiene la implementación del sistema SCADA en las compresoras y las Falcon en la unidad minera san Rafael - Antauta?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Demostrar que el diseño e implementación de la automatización contribuye a la protección y monitoreo de compresoras con UMC 100.3 – Rockwell en la Unidad Minera San Rafael, Antauta – Región Puno.

1.2.2 Objetivos específicos

Demostrar los beneficios del sistema SCADA mediante la tecnología Rockwell, su implementación en el funcionamiento de las compresoras de aire en la Unidad Minera San Rafael.

Determinar el impacto económico que tiene la implementación del sistema SCADA en relación con las compresoras de aire y las Falcon en la Unidad Minera San Rafael.



1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

El diseño e implementación de un sistema automatizado de protección y monitoreo de compresoras con el UMC – Rockwell en la Unidad Minera San Rafael, permite el monitoreo en tiempo real de las compresoras, lo que a su vez permite la capacidad de respuesta inmediata ante situaciones críticas que se presentan.

1.3.2 Hipótesis específicas

La implementación del SCADA mediante la tecnología Rockwell es beneficiosa; por medio del sistema, las compresoras de aire obtienen los siguientes: a) monitoreo constante de las compresoras, b) patrones de turnos rotativos del funcionamiento de las compresoras y c) historial de trabajo de las compresoras.

La implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras de aire y las Falcon tiene un impacto económico positivo. Se espera evitar pérdidas significativas para la Unidad Minera San Rafael. Anteriormente, se registraban pérdidas anuales de aproximadamente 30.000 US\$, pero con la implementación del SCADA, se espera reducir estas pérdidas a menos de 6000 US\$ al año. Estas cifras demuestran un cambio considerable antes y después de la puesta en marcha del sistema, lo que refleja los beneficios económicos que se obtienen.



1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

1.4.1 Justificación social

La Unidad Minera San Rafael ubicada en Antauta, enfrenta una situación adversa en su planta B2 de concentradoras de estaño, ello debido a la falta de un sistema automatizado para las compresoras. Estas compresoras tienen un rol esencial, ya que son las encargadas de suministrar aire comprimido, necesario para la operatividad de los concentradores Falcon en el área de gravimetría.

En relación a ello el problema se presenta en la necesidad de implementar un sistema automatizado de control y monitoreo, controlado por 01 Controlador Lógico Programable con su redundancia para las compresoras utilizando el Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3, ello con el fin de mejorar la operatividad de las compresoras de manera que tengan un trabajo continuo, seguro y monitoreado en tiempo real.

1.4.2 Justificación tecnológica

El diseño del presente sistema automatizado contribuye a la protección y monitoreo de las compresoras, se desarrollan con el Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3 de la muy útil tecnología Rockwell; es así, que se reduce fallas imprevistas y pérdidas económicas.

1.4.3 Justificación económica

La implementación del sistema SCADA, mejora la operatividad de la maquinaria, y a su vez la producción de los concentradores de estaño, por lo que los ingresos de la planta B2 no se verán afectadas, ya que no habrá fallas y /o pérdidas, tanto en horas hombre como en economía.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Internacionales

Hincapie & Garavito (2019) en su trabajo de investigación tienen como objetivo principal la “caracterización de un CMM para arranque con relé inteligente UMC (Universal motor Controller) considerando niveles de seguridad Sil para el sector oil and gas”, su finalidad es dar a conocer los beneficios de un relé inteligente, es así que llega a la siguiente conclusión en cuanto a la funcionalidad se obtiene un mejor resultado, en monitoreo, diseño, seguridad y confiabilidad, ello se hace notable en cuando se hace una comparación con el sistema de arranque tradicional que cuenta con un diseño básico y con la implementación del relé se logró nuevas funciones con data en tiempo real.

Por otro lado, Gesser et. al (2022) en la investigación que realiza tiene como objetivo principal “el aumentar los márgenes de estabilidad y disponibilidad del sistema de compresión de gas de una plataforma marina”, donde tiene como finalidad tener el control de ésta, por medio de un control predictivo, es así que se arribó a la siguiente conclusión en un inicio se hizo una comparación sobre qué control es el más adecuado para la planta, él de antes de la implementación del MPC (con intervención humana) y el después que va de la mano con la intervención humana donde se hace evidente con el después hubo notables mejoras en el manejo de la planta ya se logró prevenir los fallos de los sistemas de las compresoras.



Asimismo, Muñoz (2022) en su trabajo traza como objetivo principal “desarrollar un sistema de adquisición de datos y control de un sistema de aire acondicionado mediante una interfaz hombre-máquina que funcione desde una plataforma virtual”, sistema con el que busca minimizar la intervención humana y reemplazarla por la automática, es así que concluye que al realizar diversos ensayos el sistema no tiene el impacto de control que espera ya que el motor al ser apagado pasa a un estado de alarma y queda inoperativo por completo. De la investigación se resalta que si bien el sistema no fue efectivo queda como precedente para futuras mejoras.

2.1.2 Nacionales

Para Rodríguez (2019) su investigación tiene como objetivo principal “diseñar y simular un SCADA para el control y monitoreo de reservorios de agua potable mediante un algoritmo FLC usando lógica difusa para su aplicación y utilizando una red inalámbrica 2.4”, donde concluye que la mejor forma para tener los datos en tiempo real tanto monitoreo como control es por medio del SCADA, ya que registra datos de manera ordenada lo que a su vez genera una mejor distribución de agua en los reservorios, evitando pérdidas de agua y otros daños que se generan a falta de control. Básicamente se da solución a una serie de problemas que no se pueden controlar de forma manual.

Seguido de ello García (2022) dentro de sus objetivos busca “determinar cómo afecta el desarrollo de un sistema de control adaptativo en el funcionamiento de los motores DC de 3 hp en las estaciones de trabajo de lavado y secado, de una empresa agroindustrial de cítricos”, donde busca tener una alternativa de control ante las pérdidas de materia prima por medio de la implementación de control



automatizado, donde llega a la conclusión que el presente sistema ayuda al control y regulación de los controles propios del proceso ya que recopila información en tiempo real lo que a su vez estabiliza el proceso de producción y teniendo formas de solucionar ciertos inconvenientes en caso las alarmas lo detecten.

Para concluir Castillo (2022) en su tesis tiene como objetivo principal “automatizar un sistema de control y diseñar un sistema de supervisión para un sistema de limpieza de gases de hornos afinos”, donde busca controlar, monitorear y reducir la emisión de gases contaminantes es así que se llega a la siguiente conclusión al aplicar el SCADA ha disminuido las etapas manuales de programación y surgió la toma rápida de decisiones gracias a los datos brindados por el sistema, datos como alarmas e indicadores de funcionamiento, los son siendo cotejados en la sala de control operacional. Es así que se considera relevante el uso y aplicación del presente sistema ya que en sus diversos ámbitos de aplicación genera buenos resultados o acorde a las necesidades del programador.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Origen del sistema automatizado

Según ROCKETBOT (2022) se hace un recuento en el tiempo, cuando el hombre era el motor de todo y en su desarrollo dio paso a la modernidad creando maquinas que ayuden a reducir el esfuerzo que realiza, es así como se logró utilizar una combinación de ambos elementos con el fin de acortar los tiempos de producción, los métodos y las técnicas.



2.2.2 Evolución del sistema automatizado

Para Dickson (2023) tuvo sus inicios en el año de 1947 con la invención del primer transistor hasta el 2004 donde se descubrió el Controlador Lógico Programable (PLC) y, en el siglo XX es donde básicamente; se tuvo un nuevo inicio para la evolución y revolución industrial ya que se conoció la automatización electrónica y programable; creando robots con ligeras tareas como mover piezas, que traten de reemplazar la intervención humana.

2.2.3 Sistema automatizado

Según Melendez (2022) son las técnicas cuyos mecanismos o estrategias permiten tener el control de las variables industriales en cierto proceso industrial, de manera que se minimice errores, se aumente la seguridad y se reduzca la participación del ser humano.

Para RED HAT (2023) es la aplicación de la tecnología con el fin de realizar actividades o tareas, con la mínima intervención del hombre, ello se busca implementar en diversos sectores empresariales y de productividad, fábricas de autos, alimentos, zonas arqueológicas, zonas mineras.

Asimismo, Fárfan (2020) dice que la automatización tiene como fin el monitoreo de los procedimientos, sus interacciones, conexiones, y resultados de los diversos procesos que se relacionan con el sistema en función. Básicamente se busca realizar un mapeo de procesos en función es todos sus aspectos.

Para culminar MECALUX (2021) dice que son soluciones que diversas empresas vienen implementando, ya que buscan mejorar su practicidad operativa. Básicamente en esta era de tecnología las empresas no quieren quedarse atrás, más



por el contrario buscan sobresalir en el comercio y ello lo lograrán por medio de la producción que logren, producción que si bien con la intervención humana se logra anualmente en un aproximado de 60% con la automatización se logra un aproximado de 90%, y a ello se le suma que no hay fallas y/o perdidas.

2.2.4 Tipos de sistemas automatizados

Se tiene diversos sistemas de automatización, cada uno de ellos responde al área en que el usuario lo desea aplicar; es así como se da a conocer los siguientes tipos:

- **Fija:** Su diseño es una secuencia fija, para fabricar piezas o modelos idénticos, se tiene como ejemplo a los talleres de pintura o a la industria de gaseosas.
- **Programable:** Fabrica piezas personalizadas, en ciertas cantidades como ejemplo se tiene a fabricar robots, alimentos.
- **Flexible:** Es aquí donde hay una mezcla de situaciones ya que se encuentra la automatización fija y la programable que permite la configuración de equipos, automatización que se viene usando en el desarrollo de la presente investigación.
- **Integrada:** Sistema que trabaja con ciertos sistemas como CAD o CAM.

2.2.5 Ventajas y desventajas de la automatización

Dentro de la automatización se tiene pro y contras, aspectos que deben conocerse a fin de conocer que ventajas y desventajas trae consigo la nueva era de automatización, para más detalles se muestra la tabla 1.

Tabla 1

Ventajas y desventajas del sistema automatizado

N°	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Productividad: Con ello se busca mejorar el producto, tanto en su producción como en la calidad; se busca tener menos productos defectuosos de tal forma que estos sean de calidad y cumplan con la perspectiva y expectativa de la empresa que los produce.	Contaminación: Las diferentes maquinas que se usan pueden liberar gases tóxicos para el medio ambiente, lo cual se puede regular con un correcto tratamiento. (aula21, 2021).
2	Reducción de intervención del hombre: Al reducir la intervención del hombre disminuye los costos de mano de obra, lo que es sustituido por maquinaria automatizada que trabaja 24/7 sin percances ni retrasos; es decir, no solo se mejora la producción sino también se ahorra el sueldo de las personas y con ello se mantiene la automatización en una escala eficaz.	Pérdida de empleo de la mano humana: Si bien es cierto la intervención humana va a cesar y ello va a generar falta de trabajo, pero no es desventaja del todo ya que ello va ayudar a que se tenga más interés por la tecnología y se busque aprender ello para no perder el trabajo.
3	Disminución de tareas manuales: Estas tareas las suelen realizar cada cierta hora el personal encargado de ello, tareas como control de temperatura, operatividad, averías, entre otras, y con el sistema automatizado todo ello se puede saber con una alerta de automatización y ser solucionadas con programas como por ejemplo la tecnología Rockwell.	Inversión elevada: Si queremos contar con un buen sistema automatizado claramente debemos realizar una inversión bastante considerable que un inicio puede ser chocante, pero se debe considerar las ganancias a futuro.
4	Obtención de informes: Reportes de producción, funcionamiento y/o averías de manera inmediata.	

Elaboración propia



2.2.6 Aplicación de la automatización en el sector minero

Primeramente, en el sector minero se ve diversas amenazas para el personal que labora en interior mina, lavaderos, socavones, ya que como se sabe las excavaciones que se realiza en este sector para la extracción de minerales son en zonas profundas y muchas veces arriesgadas; es así, que el personal se arriesga cuando realiza esta labor porque hace una excavación sin saber a dónde se dirige o prever posibles complicaciones.

Es así que Minera (2019) precisa lo siguiente: es ahí donde interviene la automatización, dentro de sus innumerables funciones la principal se da en las maquinarias, mejora el entorno laboral y detecta posibles situaciones peligrosas, por ejemplo, realiza excavaciones que son peligrosas para el hombre, purifica mineral extraído en menos tiempo, lo transporta de manera segura. Todo ello se viene realizando sin la intervención del hombre o en su defecto la mínima intervención; al implementar la automatización se puede realizar diversos trabajos a la vez como tener el control de operatividad de las maquinarias a distancia ello se podrá lograr trabajando de la mano con las redes como el internet.

Por otro lado, para Internacional (2019) las mineras en nuestro país vienen optando por volverse 100% digitales y operar de manera automática, claro que ello no es de la noche a la mañana, pero se viene trabajando y teniendo gran progreso; en cuanto a ello las compañías que resaltan con esa idea de modernizarse son Quellaveco, La Bambas, Antamina, Hudbay; es así que la Unidad Minera San Rafael al tomar conocimiento de ello busca no quedarse atrás, de manera que opta seguir los pasos de las empresas colegas en cuanto a optar por la automatización.



2.2.7 Centro de Control de Motores (CCM)

Según Gonzáles (2011) señala que es un cuadro eléctrico que alimenta, regula y protege los circuitos cuyas cargas son principalmente motores, que se compone de una o varias secciones verticales metálicas de frente muerto que son autoportantes y pueden ensamblarse para formar una estructura rígida.

Es por ello que el centro de control de motores es utilizado hasta la actualidad para mejorar el tema de protección, así como la manipulación de motores que deben de cumplir con exigencias técnicas dependiendo del tipo de industrial al cual este destinado. Dejando como resultado una mayor seguridad, versatilidad y un diseño compacto, dichos resultados pueden ser exteriorizados en un control de los motores desde un lugar seguro y asequible para las personas encargadas.

2.2.8 Beneficios del Centro de Control de Motores (CCM)

El Centro de Control de Motores es fundamental en cualquier industria que cuente con instalaciones de seguridad, esto para proporcionar protección, así como el control o manipulación sobre los motores que están ligados, es por ello que se detalla 3 de sus características más relevantes:

- **Mayor eficiencia:** Coadyuba a reducir el tiempo necesario para completar las tareas de mantenimiento y reparación, centralizando el control y la protección, lo que aumenta la eficiencia global del sistema eléctrico. Además, los Centro de Control de Motores pueden alojar numerosas funciones de control y protección de motores, lo que reduce la cantidad de equipos eléctricos necesarios y libera un importante espacio de suelo.



- **Seguridad:** Los Centros de Control de Motores están equipados con sistemas de paro de emergencia, que permiten detener rápidamente los motores en caso de situaciones peligrosas, como el sobrecalentamiento o fallas críticas.
- **Confiabilidad:** Al mejorarse la seguridad los Centros de Control, estos ayudan a minimizar el tiempo de inactividad causado por problemas con los motores eléctricos al proporcionar control y protección centralizados, preservando así el funcionamiento suave y eficiente de los motores. Además, los centros de control de motores pueden construirse con sistemas de reserva y piezas redundantes para añadir seguridad adicional contra fallos de los equipos y cortes de energía.

2.2.9 Ventajas del Centro de Control de Motores o (CCM)

Las ventajas de utilizar un Centro de Control de Motores (CCM) dependen de la marca que se adquiera, siendo que algunos pueden estar diseñados con mejores materiales, las cuales le brindarán a este centro de control mayor calidad, teniendo una mejor resistencia y durabilidad.

Independientemente de los materiales de fabricación del Centro de Control de Motores, se tiene las siguientes ventajas:

- La reducción de costos, esto debido a la línea de alimentación que se conectará en un único sitio.
- Organización del sistema de arrancadores y motores, centralizando los arrancadores y pudiendo modificar las funciones de los motores.
- Protección, esto gracias al diseño el cual está cubierto de carcasas para no entrar en contacto directo.

2.2.10 Tipos de construcción de estructura del Centro de Control de Motores

El centro de control de motores puede tener una construcción de estructura de dos maneras, siendo la primera de un solo frente y la segunda de dos frentes, para más detalles se puede observar la tabla 2.

Tabla 2

Tipos de construcción de estructura

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES	
Construcción de estructura de una frente	La construcción de estructura de una sola frente, como menciona su mismo nombre es una estructurada de un solo frente con bandejas las cuales tienen la característica de ser la parte activa que se acceden desde el frente.
Construcción de estructura de dos frentes	<p>La construcción de estructura de dos frentes o conocida también como back to back, son aquellos que tienen en su estructura las bandejas en los dos frentes (posterior y anterior), así como la parte activa.</p> <p>La diferencia más grande en comparación a la de un frente es que el cableado y las barras solo pueden accederse a estas desmontando soportes como tabiques, este último desde cualquiera de los dos frentes.</p>

Elaboración propia

2.2.11 Cableado del Centro de Control de Motores

El cableado de la estructura tiene dos subdivisiones de las cuales son: a) por la clase y b) por el tipo, cada una independiente de sus propias dimensiones, como se detalla en las tablas 3 y 4.



Tabla 3

Clases de cableado

Clase	Uso y característica
I.	Exclusividad de uso individual para cada bandeja, es decir no deben de usarse para conectar con otros componentes tanto externos como internos del centro de control de motores.
II.	Al igual que la clase I, tiene exclusividad de uso individual para cada bandeja, pero la clase II tiene la característica adicional de poder conectarse con otros componentes externos o internos del centro de control de motores.

Elaboración propia

Tabla 4

Tipos de cableado

Tipo	Característica
A	Su principal característica del tipo de cableado A es la carencia de clemas terminales para los circuitos de control y fuerza en un Centro de Control de Motores.
B	La principal característica del tipo B es su cableado con clemas terminales ubicado anexo o entre bandejas integradas de un Centro de Control de Motores.
C	La principal característica del tipo C es que cuenta con clemas individuales destinados a los circuitos de fuerza como de control para las bandejas integradas de un Centro de Control de Motores.

Elaboración propia



2.2.12 Relé inteligente

Un relé inteligente puede ser definido como un sistema con tecnología avanzada y capacidad de comunicación en red que controla motores eléctricos de baja tensión. El relé al ser modular, sus funciones pueden ampliarse, lo que lo convierte en un producto flexible preparado para una gran variedad de usos, por ello los relés inteligentes son utilizados para realizar automatizaciones.

Según Álvarez (2021) los relés inteligentes realizan tareas secuenciales de tamaño pequeño o mediano, podrían considerarse autómatas de gama baja.

Para Gonzales (2019) el relé inteligente es la herramienta perfecta para aplicaciones pequeñas y medianas en las áreas de operaciones matemáticas, registro, temporización y problemas internos, teniendo también ventajas que minimizan el espacio necesario, facilitando enormemente las tareas de mantenimiento.

Sin dejar de lado Hincapié & Garavito (2019) señalan que es un dispositivo electrónico con memoria y operaciones especializadas que puede supervisar, controlar y salvaguardar un proceso de producción; con el desarrollo de las redes y los nuevos avances tecnológicos, su uso no ha dejado de crecer.

Para concluir, entendemos que el relé inteligente viene a ser un sistema que viene de años atrás, sistema que no deja de crecer en la actualidad; siendo utilizado mayormente para la micro automatización con lo cual se puede tener un mayor control y monitoreo sobre un determinado motor, teniendo múltiples controladores para cada motor y consecuentemente mucha más seguridad para el personal.



2.2.13 Invención del Controlador Universal de Motor (UMC 100)

Para hablar sobre el Controlador Universal de Motor (UMC), debemos de retroceder aproximadamente diez años atrás, exactamente al dieciséis de abril del dos mil diez, fecha en donde la empresa ABB Group lanzó y mostró a la empresa especializada de la Explomin 2010 (Chile) dos grandes avances de la tecnología relacionados a la minería, siendo uno de ellos un relé el cual fue denominado Controlador Universal de Motor (UMC 100), con la finalidad de brindar protección y control sobre los motores. Con la presentación hecha del controlador, se señaló también algunas características de éste, siendo la más importante su “capacidad lógica programable”, es decir, que con este controlador se podría personalizar las funciones acorde a las necesidades y actividades del proceso del motor, así también se indicó que el Controlador Universal de Motor (UMC 100) estaba destinado al uso conjunto con el Centro de Control de Motores, con estos dos componentes trabajando en conjunto se tenía la finalidad de asistencia al personal encargado de los motores, brindándoles facilidad de diagnóstico y supervisión de los motores en tiempo real sin tener que exponerse a un peligro latente.

2.2.14 Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3

Para abarcar ampliamente este tema debemos tener en cuenta su definición, por ello, para Hincapié & Garavito (2019) el Controlador Universal de Motores es un controlador de motor inteligente para motores de inducción de corriente trifásica que combina las dos funciones tradicionales de gestión y protección del motor en una sola unidad.



Así también el italiano Basili (2018) menciona que el Controlador Universal de Motores es una plataforma de hardware y software construida sobre Arduino diseñada para operar motores de cepillados universales.

2.2.15 Características y componentes del Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3

Dentro de las diversas características que posee el controlador universal de motores (UMC 100) se tiene las siguientes:

- Accesibilidad a cualquier sistema automatizado.
- Operaciones en tiempo real.
- Alertamiento de fallas del motor de manera interna.
- Protección y control del motor enlazado.
- Control remoto y seguro para el personal.
- Función de inicio remoto y detenimiento del motor seguro.
- Interfaz de conexión diverso.

El centro de control de motores tiene componentes principales, así como accesorios modulares, los cuales cumplen en conjunto la tarea de proporcionar la protección necesaria al motor; es así que se pasa a detallar sus componentes:

2.2.15.1 Módulo relé Controlador Universal de Motor (UMC) 100.3

Permite múltiples tareas referentes al motor, dentro de ellas tenemos la protección del motor, control del motor, comunicación por bus de campo y diagnóstico para el mantenimiento si lo requiriese. El módulo relé al ser un terminal inteligente se le puede complementar con accesorios para perfeccionar



su funcionamiento y con ello su versatilidad se incrementa para las diversas y exigentes tareas de las diferentes industrias.

2.2.15.2 Interfases de comunicación

Se operan a través de los diferentes buses de campo, estos buses de campo propiamente dichos que gestiona el controlador universal de motores (UMC) 100.3 son el PROFIBUS (PDP32 O PDQ22), DeviceNet (DNR31). Modbus (MRP31); mientras que los buses de campo a través del Ethernet son el: ModbusTCP y PROFINET IO.

2.2.15.3 Módulos de tensión

Al ser un módulo principal, es de suma importancia debido a que gestiona y diagnostica; la potencia activa y aparente, el factor de potencia, un desbalance de tensión, las señales de tensión para acoplar las variables y la distorsión armónica total, que requieren medición. Los módulos de tensión aumentan tres entradas de tensión las que soportan desde 150-690 VAC, con el uso de estos, se consigue una mayor seguridad y protección debido a que evitan la sobrecarga, sobretensión y pérdida de fase.

2.2.15.4 Módulos digitales de expansión:

Es un módulo principal significativo debido a que amplían las funciones bases del Controlador universal de motores (UMC) 100.3, dotándole de ocho entradas digitales junto a una salida analógica; dentro de estos se tiene dos tipos: DX 111 Y DX 122, las cuales trabajan de 24VAC Y 110/230 VAC, respectivamente.



2.2.15.5 Módulo de temperatura:

Es un componente accesorio, pero eso no le resta importancia, debido a que con sus tres entradas del módulo analógico de temperatura AI111 son utilizables para señales normales o transductores de temperatura, sensores de temperatura y señales convencionales; ofreciendo inclusive mayor lectura de temperatura, que en conjunto brindan mayor protección al motor.

2.2.15.6 Panel de control:

Componente accesorio de suma importancia, permitiendo un manejo remoto para la supervisión, el diagnóstico y la ordenanza de funciones como el arranque, reinicio y/o parada del motor. Este accesorio está compuesto con un puerto USB con la finalidad de establecer conexión con un aparato electrónico inteligente como un celular, PC, portátil; esta conexión permite la subida o bajada de información, así también tiene la función de establecerse una contraseña para el uso exclusivo del personal encargado.

2.2.16 Funciones del Controlador de Motor Universal (UMC) 100.3

El controlador está dirigido especialmente a la función de brindar una protección avanzada a los motores trifásicos como monofásicos que estén bajo funcionamiento de este. Por ello es importante señalar cual es el significado de protección, para Fingermann (2013) la protección que alguien o algo utiliza para preservar un objeto o sujeto; es decir que es aquel acto de preservar en óptimas condiciones, en este caso, los motores por parte del controlador.

Una segunda función del controlador universal de motores (UMC) 100.3, es la de poder controlar el motor; es decir, que se puede realizar una programación



desde el mismo controlador, así como con una lógica distinta dependiendo de las necesidades de la industria.

Una tercera función del controlador es el monitoreo junto relacionado al mantenimiento, debido a que en el panel de control recibe información, sucesos del estado de los motores en tiempo real, pudiéndose realizar el monitoreo constante y operaciones si lo requiriese, todo esto gracias al bus de campo que conecta directamente con el panel de control permitiendo esta función.

Por último, tenemos la función de conexión diversa, es decir que el controlador puede conectarse a través de distintos tipos de buses de campos, así como de red, haciendo al controlador universal de motores flexible para el uso en diferentes áreas de las industrias que laboran constantemente con motores.

2.2.17 Beneficios del Controlador Universal de Motores (UMC)

Si bien parágrafos anteriores se mencionan las ventajas, así como las desventajas del controlador, en este punto se da a conocer los beneficios que el controlador universal de motores trae consigo, beneficios que se detallan a continuación:

2.2.17.1 Eficacia

Para rizo (2019) la eficacia es completar las actividades con la mejor manera, adoptando las medidas necesarias para obtener los resultados

deseados, es decir, alcanzar los objetivos fijados.

Así también George et. al (2021, p.5) mencionan que eficacia es la relación entre los objetivos y los resultados, indicando que el objetivo previsto puede



alcanzarse en las mejores circunstancias posibles y, que las tareas deben realizarse de forma organizada y priorizada para que se lleven a cabo con mayor éxito.

Relacionando todo ello a la eficacia del controlador, éste busca obtener resultados de una manera organizada, sin desgaste excesivo y cumpliendo el objetivo, que es el resultado deseado y rápido.

2.2.17.2 Protección y seguridad

La protección se puede definir como aquellos actos que conllevan una finalidad de garantizar el cuidado de un objeto o persona, manteniendo con este cuidado en un estado conservado a pesar del tiempo.

Desde otra perspectiva, para Pérez & Merino (2021) la protección es el proceso, resultado de salvaguardar o defender a alguien o algo; es decir, la atención preventiva ante un riesgo o problema potencial.

Teniendo en cuenta dichas definiciones el controlador brinda protección a los motores, la protección contra sobre potencia, contra desbalance de tensión, contra sub-tensión; contra fallas a tierra; contra bloqueos de rotor, pérdida de fases y, contra sobre corriente o sub corriente, debido a que el controlador diagnostica y alerta de dichos problemas que ocurren con el motor.

Consecuentemente al tener el beneficio protector de los motores gracias al controlador, se adhiere una ventaja más, la seguridad, que para Benedetti & Renoldi (2020) la seguridad puede definirse como la ausencia de riesgos y circunstancias que puedan poner en peligro a las personas individualmente o en su conjunto, evitándose peligros tanto físicos como psicológicos. Con la adquisición y uso del controlador también se tiene un centro de control de motores



que está derivado a una zona segura, debido a esto no se pone en riesgo el bienestar físico del personal, ya que al contar con él se obvia funciones que puedan ser peligrosas a la intervención humana.

2.2.17.3 Compatibilidad universal

Para poder señalar con más precisión que es la compatibilidad universal debemos de conocer el significado de cada una de estas palabras, empezando por compatibilidad en el contexto del presente trabajo de investigación; siendo aquella comprensión entre dos elementos que pueden ser un software o hardware.

Por otro lado, para Pérez & Gardey (2022) la palabra universal incluye todo lo que se ha producido o cierto grupo de componentes que tienen características esenciales para su uso constante. Siendo así que, la compatibilidad universal se puede señalar como aquella característica de un objeto tecnológico que cuenta con una implementación de software y/o hardware para un uso exclusivo (motores industriales) que requieren un funcionamiento permanente.

Por ello el Controlador Universal de Motores (UMC) tiene el gran beneficio de compatibilidad universal; es decir, con las redes de comunicación que se utilizan en las diversas áreas industriales, ello debido a uno de sus componentes siendo este el interfaz de comunicación, la cual se desarrolla a través de buses de campo, sin dejar de lado la configuración del controlador, ya que se da convencionalmente o por algún programa externo neto de especialidad.

2.2.17.4 Monitoreo remoto

Para Pérez & Gardey (2022) el monitoreo proviene de la palabra monitor, el cual es un aparato que recibe información que se puede interpretar, por ello el



monitoreo es la acción de supervisar de parte de un encargado sobre cierta actividad de una persona u objetivo. Por ello, se concluye que el monitoreo se debe comprender como el proceso metódico y continuo mediante el cual se confirman la eficacia y la eficiencia de un propósito, identificando sus puntos fuertes, así como defectos, aplicando medidas correctivas para maximizar los resultados previstos del proyecto en desarrollo.

En tanto remoto (en el contexto tecnológico) entendemos que es aquella facilidad de conectar con algún dispositivo o aparato que se encuentra en un lugar distinto al dónde está la persona física. Por ello el monitoreo remoto es un beneficio ligado a la protección y seguridad, debido a que el personal encargado de los motores tiene la facilidad de utilizar los motores a través del controlador, así como alertar de posibles daños de motores, todo esto desde un centro de control de motores, el cual es un lugar seguro y alejado de los posibles peligros.

2.2.17.5 Análisis eficiente de datos

El análisis de datos como ciencia consiste en observar un conjunto de datos y hacer deducciones sobre la información para ayudar en la toma de decisiones o aprender más sobre el tema. El análisis de datos como tal se puede definir como aquel proceso donde se realizan operaciones con los datos para obtener conclusiones precisas que nos permitan alcanzar nuestros objetivos.

Por otro lado, para Westreicher (2020) señala que el análisis eficiente de datos es aquel examen minucioso de un conjunto de datos con el objetivo de extraer resultados que permitan a una organización o entidad tomar una decisión anticipada. Aplicando ello se puede tomar decisiones acordes a los datos recopilados del sistema.



2.2.18 Red de comunicación del UMC con las compresoras

Dentro de las redes de comunicación se tiene dos categorías: a) buses de campo y b) redes (ethernet) cada uno de ellos con sus diversas categorías; dentro de ello la red de comunicación que se usa para el controlador y las compresoras es la de ethernet, la cual se detalla de manera más precisa en el siguiente párrafo.

2.2.18.1 Conexión mediante ethernet

La conexión ethernet es uno de los varios tipos de comunicación que se puede utilizar a través del Controlador Universal de Motores (UMC), el ethernet convencional viene a ser aquel cableado que permite la conexión entre dispositivos y así crear una red local donde pueden compartir información entre estos.

Para Romero (2022) el ethernet convencional es un conjunto de procesos de transporte que se utilizan con frecuencia en redes de área local o LAN, para conectar diversos dispositivos electrónicos.

Dentro del tema de cable ethernet existen diversos tipos de categorías en el mercado, el usado tradicionalmente en el área industrial o de fábricas, es el ethernet industrial. El ethernet industrial es la versión mejorada con IEEE 802.3, teniendo como finalidad cumplir con las exigencias demandadas de las industrias y dentro de sus características se pueden encontrar la comunicación en tiempo real de los dispositivos conectados, resistencia al ambiente exterior cambiante, resistencia a las vibraciones, así como a las altas temperaturas, haciéndolos mucho más adecuado para el ámbito industrial.



2.2.19 Compresoras de aire

Las compresoras de aire funcionan con su motor eléctrico que utiliza energía para producir aire comprimido, el compresor de aire más utilizado de la marca es el que tiene motor trifásico de inducción.

Como componentes principales tiene un estator fijo y un rotor giratorio, el primero tiene la función de crear un campo magnético el cual provoca corriente en el rotor, ambos produciendo campos magnéticos, lo que produce que el segundo gire, es decir produzca giros en el eje del rotor.

2.2.20 Características de las compresoras

Dentro las múltiples características de las compresoras se tiene la potencia y rendimiento, siendo que para entender estas características debemos de tener una definición de estas.

2.2.20.1 Potencia

Por otro lado, se puede abarcar también lo que es la potencia mecánica, siendo que Fernández (2023) señala a esta como el término utilizado para describir una cantidad específica de trabajo completado en un periodo de tiempo concreto, dicho de otro modo, es la diferencia entre la cantidad de trabajo completado y el tiempo total requerido.

En conclusión, la potencia se puede definirse concluyentemente como aquella fuerza energética que tiene un objeto o maquinaria (compresor de aire), dicha fuerza puede ser medida específicamente, brindando así un control mayor sobre el objetivo que se quiere lograr con esta.



2.2.20.2 Rendimiento

En términos generales para Hernández (2023) el rendimiento es utilizado para describir lo útil o beneficioso que es algo en relación con lo que cuesta o lo que se invierte.

Con relación al motor de la compresora, se puede señalar el rendimiento con que trabaja, tiempo y energía que consume, es decir que entre esta relación debe de existir un beneficio como cuanta energía y tiempo requiere para realizar un trabajo en específico.

2.2.21 Operatividad de la compresora de aire en relación con los concentradores Falcon

La operatividad del concentrador continuo Falcon (impulsado por el compresor de aire) perteneciente a la serie C de los Falcon tiene como objetivo principal la de incrementar la recuperación de concentrados y minimizar el peso para que el barrido sea realizado con mucha más facilidad.

El Falcon de concentrador continuo (CC) al ser diseñado con la funcionalidad para no detenerse y estar en constante función, se basa en la fuerza de gravedad que alcanza los 300 G (Gravedad) de fuerza, lo cual separa el concentrado (mineral en bruto) del resto de masa total, gracias a su funcionalidad que trabaja con las fuerzas G, el Falcon CC facilita la recuperación eficaz de partículas homogéneas Ultra Finas (menores a 10 micras). Una de las características relevantes que tiene el concentrador continuo Falcon es la de no requerir agua, a comparación del Falcon Ultra-Fino (UF) la cual si requiere y necesita el uso de agua para cumplir con sus funciones.

Respecto, a la funcionalidad en específico con relación a las compresoras de aire, en referencia del manual instructivo de los concentradores continuos (CC) Falcon modelo C1000B y C2000B ambos de la marca Sepro.

2.2.22 Funciones y beneficios del Controlador Universal de Motores (UMC) implementados a las compresoras

Si bien es cierto que el controlador tiene una diversidad de funciones y beneficios, se hace énfasis en los siguientes, como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5

Funciones y beneficios del UMC implementados a las compresoras

Nº	FUNCIONES	BENEFICIOS
1	Monitoreo y diagnóstico El controlador UMC100.3 proporciona ventajas en cuanto al seguimiento y verificación en tiempo real. Puede detectar y registrar datos sobre el estado operativo de la compresora, como niveles de vibración, temperatura anormal.	Mayor eficiencia energética Con el controlador UMC100.3, las compresoras LT20 pueden funcionar de manera más eficiente energéticamente.
2	Comunicación y conectividad El UMC100.3 está equipado con capacidades de comunicación y conectividad avanzadas. Puede integrarse fácilmente con sistemas de control y monitoreo más amplios, como un sistema SCADA, permitiendo la supervisión y el control.	Mayor confiabilidad y disponibilidad: Seguimiento en tiempo real y actual, acerca del diagnóstico del UMC 100.3, detecta posibles fallas, averías y demás.
3	Registro y análisis de datos: El UMC100.3 puede recopilar y registrar datos operativos de las compresoras, como presiones, temperaturas y consumos de energía. Estos datos pueden ser analizados y utilizados para identificar tendencias.	Mejor gestión y mantenimiento El UMC100.3 proporciona datos y registros detallados sobre el rendimiento y el estado operativo de las compresoras.

Elaboración propia



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Diseño de investigación

Según Hernández et. al (2014, p.4) la presente investigación es de “enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, de las preguntas se establecen las hipótesis y se determinan variables, se traza un plan o estrategia con el fin de obtener la información que se requiere para probarlas (diseño), se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y de ello se tiene las conclusiones”. Básicamente, se busca confirmar la certeza de la presente investigación.

De igual forma para Hernández et. al (2014, p.129) “Se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes)”.

3.1.2 Tipo de la investigación

Asimismo para Hernández et. al (2014 p.141) “los experimentos puros son aquellos que reúnen los dos requisitos para lograr el control y la validez interna:

1. Grupos de comparación (manipulación de la variable independiente).
2. Equivalencia de los grupos”.



3.1.3 Nivel de investigación

Según Hernández (2014 p.95) el nivel de investigación es explicativo ...” están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales, se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables”.

3.1.4 Población y muestra

Población

Conforme a (Sucasaire, 2022 p.90) “señala que algunas poblaciones son lo suficientemente grandes para considerarlas infinitas y en otros casos las poblaciones son conceptualmente infinitas. Para aclarar la noción de conceptualmente infinito se toma como ejemplo los estudios experimentales donde la población se compone del conjunto de resultados del experimento. Luego, se sabe que ciertos experimentos pueden efectuarse una infinidad de veces, con esto se llega a la noción de una población conceptualmente infinita”. Asimismo, se va a considerar como muestra las tomas de lecturas que toma la automatización.

Muestra

Sucasaire (2022 p.92) señala que “Existe una condición importante para el uso de muestras: la muestra debe ser representativa. La muestra tiene que ser un reflejo de la población” (pág. 16), por ello en conformidad con la población, al ser infinita y por medio de la estadística, para hallar la muestra con un nivel de confianza del 99% con un margen de error de 1% se aplicó la siguiente fórmula (1) para población infinita:



$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2} \dots\dots(1)$$

Donde:

p : Proporción poblacional que presenta cierta característica.

q : Proporción poblacional que no presenta la característica.

e : Máximo error de estimación de p .

Z : Valor relacionado al nivel de confianza.

n : Población

Remplazamos los datos:

D. normal = 99%	Z	2.58
Proporción favorable	p	0.5
Proporción no favorable	q	0.5
Error de muestreo	e	0.1

Se tiene el siguiente resultado:

$$n = 17 \text{ (tamaño de población infinita)}$$

3.1.5 Ubicación

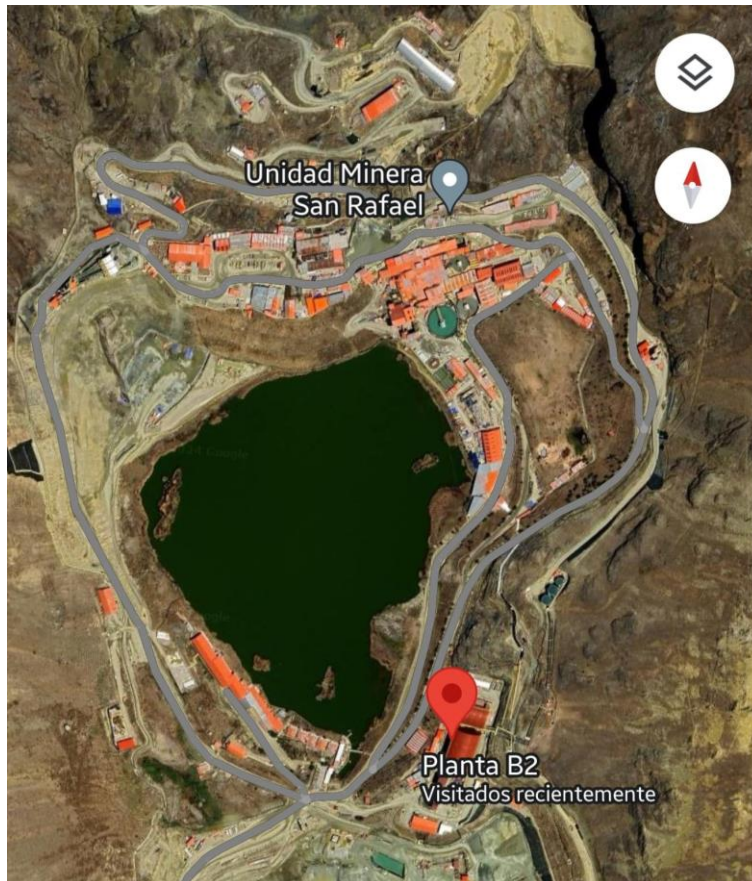
La unidad minera San Rafael se encuentra ubicado en el Distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno.

En cuanto a la altitud, esta oscila entre los 4.500 y 5.2000 m.s.n.m., las coordenadas geográficas indican una longitud oeste de 70° 19' 19" y una latitud

sur de $14^{\circ} 13' 45''$. Las coordenadas UTM son 357,730 E y $8^{\circ} 42' 6570$ N. En la figura 1 se muestra la ubicación satelital donde se realiza el proyecto.

Figura 1

Ubicación Satelital de la Unidad Minera San Rafael - Planta B2



Fuente: Google Maps

3.1.6 Materiales

Hardware

- Compresora de aire
- Cubículo de sala eléctrica
- Fuente de alimentación ControlLogix
- Laptop
- Módulos de PLC (entrada analógica)



- Procesador 1756 – L75 Control Logix 5570 Allen Bradley
- Switch de red de 4 puertos
- Controlador Universal de Motor UMC 100.3 ABB

Software

- Studio 5000
- Factory Talk View
- Plant PAX

Se exhibe el inventario de materiales empleados en la ejecución del proyecto detalladamente, en el Anexo 15

3.1.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Para Sánchez-Martínez (2022 p.1), comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación.

3.1.7.1 Técnica

El método que se puso en marcha fue el muestreo deliberado o también conocido como muestreo por juicio, que para Muguira (2017) “es aquel que se selecciona con base en el conocimiento de una población o propósito del estudio.

En este caso, los investigadores pueden utilizar una muestra intencional porque los entrevistados cumplen con una descripción o propósito específico que es necesario para realizar la investigación”.



3.1.7.2 Instrumento

Se utilizo la hoja de recolección de datos, que según Idrobo (2015) “es... un formato de tabla que sirve para recoger, organizar, archivar y clasificar de un modo sencillo y organizado toda la información que se genera en las actividades diarias, semanales, mensuales o anuales dependiendo del formato que se emplee”.

3.2 DISEÑO Y DESARROLLO PARA LA AUTOMACIÓN DE LAS COMPRESORAS

Para el diseño y desarrollo del sistema automatizado en función a las compresoras, se llevó a cabo diversos procesos, iniciando con la planificación, pruebas y puesta en marcha del sistema, es así que en los párrafos siguientes se describe cada parte del trabajo realizado.

3.2.1 Planificación

El presente proyecto inició con la propuesta de parte de mi persona hacia la Unidad Minera San Rafael, propuesta de mejora que se revisó y en su posterior se aprobó. Fue así que se inició con la revisión bibliográfica, así como de los componentes como en sistemas acordes a la necesidad de la minera, los cuales serán el control y monitoreo de las compresoras que brindan aire a los concentradores Falcon que estos operen de manera continua y sin fallas, ya que al operar sin retrasos se evitan pérdidas monetarias a la Unidad Minera.

En primer lugar, se realizó el inventario de equipos a utilizar, con el fin de adquirir los implementos para la realización del sistema en mención, se pasó a verificar los datos de las compresoras para de esa manera crear el sistema acorde a los datos y requerimientos.



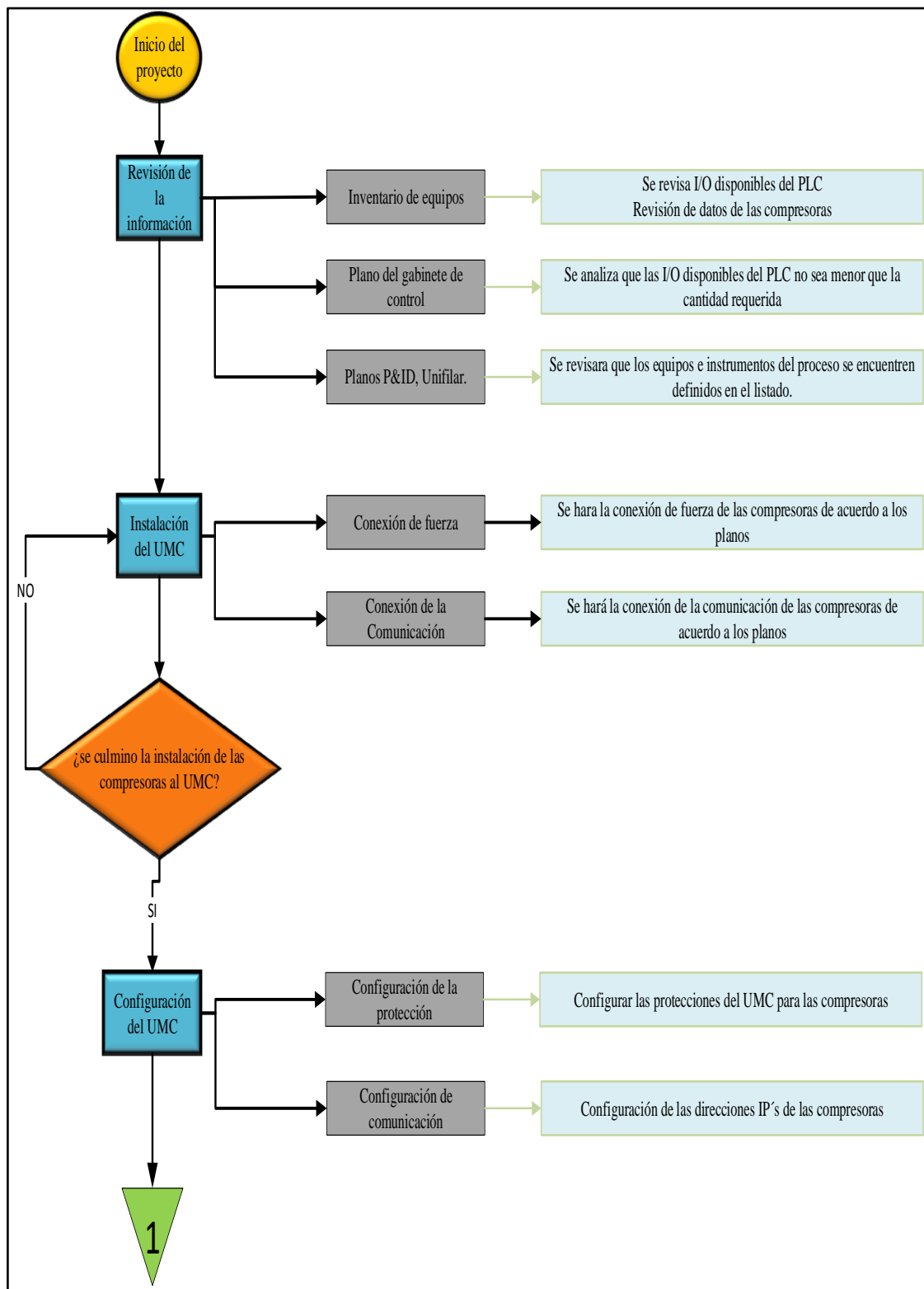
A continuación, se evaluó el plano del gabinete de control, con el fin de que cumpla los requisitos necesarios para la implementación del proyecto.

Seguido de ello, se realizaron los planos unifilares necesarios. Una vez que se realizó la primera etapa de planificación, revisión de bibliografía y de componentes, se prosiguió con la instalación de los controladores universales de motor (UMC), realizando conexiones de fuerza, que tienen como fin suministrar energía eléctrica a las compresoras y la conexión de comunicación, que tiene como fin monitorear a las mismas.

Una vez terminada la instalación de los controladores universales de motor (UMC), se procedió a la configuración básica; es decir, se insertaron datos de las compresoras. Luego de ello, se elaboró la lógica de control en el controlador lógico programable (PLC), se desarrollaron las pantallas en el SCADA y se capacitó al personal a cargo, a fin de que puedan operar y mantener el sistema con idoneidad, ver detalles en la figura 2 y 3.

Figura 2

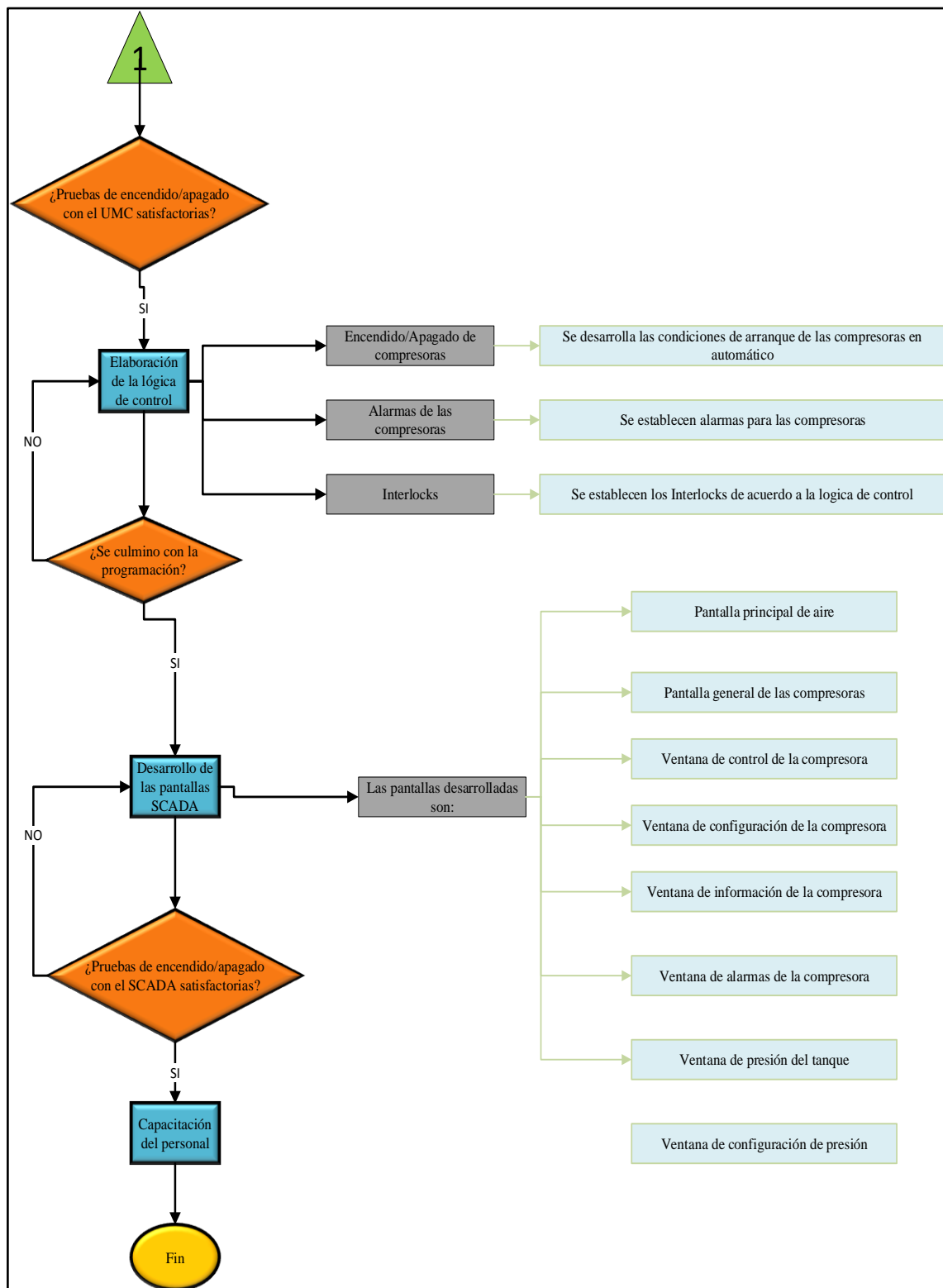
Planificación del proyecto (1)



Elaboración propia

Figura 3

Planificación del proyecto (2)



Elaboración propia



Seguido de ello se estimó el tiempo de entrega del sistema, una vez terminado el diseño se puso en marcha simulaciones, pruebas de funcionamiento con el sistema SCADA, concluyendo con la integración y operatividad del sistema de control y monitoreo en la Unidad Minera.

3.2.2 Revisión del tablero de control

Previamente al desarrollo de la puesta en marcha del sistema automatizado para compresoras, se prosiguió con analizar el estado y la distribución del tablero de control, donde su principal función es controlar el proceso conjunto de las compresoras.

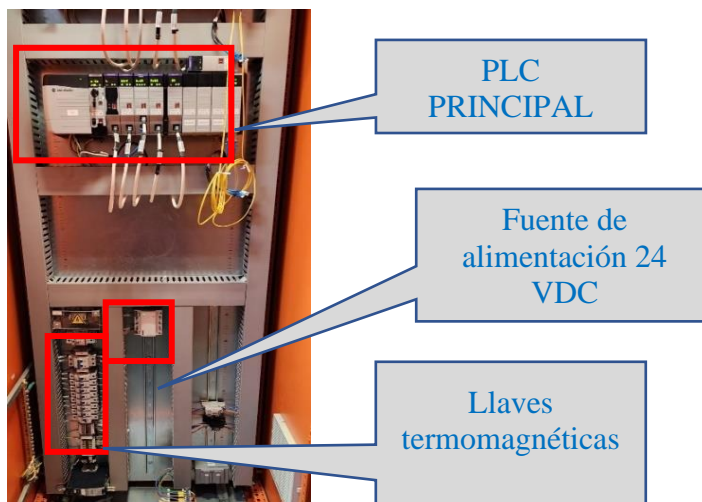
El tablero de control del proyecto está constituido principalmente por los siguientes equipos:

- Fuentes de alimentación para el PLC.
- PLC Principal Control Logix 1756.
- Tarjetas de comunicación Ethernet/IP.
- Tarjetas de entradas y salidas digitales.
- Switch de comunicación para el acceso a la red industrial.
- Llaves de protección termomagnéticas tipo switch.

Para una mejor comprensión se muestra la figura 4.

Figura 4

Controlador lógico programable principal (PLC)



Elaboración propia

3.2.3 Identificación del Controlador lógico programable (PLC), módulos

I/O módulos de comunicaciones

Una vez tomado en conocimiento los requerimientos de la Unidad Minera San Rafael, se procedió a trabajar con un controlador de la familia Rockwell, es así que se utilizó el controlador Control Logix 5000, cuyas principales características son:

- La plataforma Control Logix permite la reutilización de diseños, lo que conduce a la reducción del tiempo de desarrollo y los costos asociados. Esto posibilita una respuesta ágil a las demandas del mercado o del cliente, reduciendo los gastos de mantenimiento y permitiendo un acceso más eficiente a la información de la planta, lo que a su vez mejora la toma de decisiones administrativas (Allen-Bradley, 2021).
- Ofrece la opción de memoria de hasta 32MB, lo que proporciona una capacidad considerable para almacenar datos y programas (Allen-Bradley, 2021).



- La integración con las redes de planta existentes es sencilla y eficaz, facilitando la implementación del Control Logix en entornos industriales ya establecidos (Allen-Bradley, 2021).
- La capacidad para admitir múltiples controladores en un solo chasis amplía las posibilidades de configuración y control en sistemas complejos (Allen-Bradley, 2021).
- Se pueden establecer y gestionar redes de comunicaciones independientes de manera simultánea, lo que permite una mayor flexibilidad en la configuración y optimización del rendimiento (Allen-Bradley, 2021).
- La posibilidad de quitar o insertar tarjetas y unidades con el sistema energizado agiliza los procesos de mantenimiento y actualización sin interrumpir la operación (Allen-Bradley, 2021).
- En cuanto a las entradas y salidas, la plataforma Control Logix ofrece una amplia gama de opciones, incluyendo Entradas/Salidas digitales con capacidad de diagnóstico, Entradas/Salidas analógicas, Entradas/Salidas para control de movimiento y Entradas/Salidas especiales, lo que garantiza una compatibilidad versátil con diversas aplicaciones industriales (Allen-Bradley, 2021).
- La presencia de un módulo de almacenamiento de energía elimina la necesidad de utilizar baterías externas, lo que simplifica la gestión y reduce los costos asociados con el mantenimiento de la alimentación de respaldo (Allen-Bradley, 2021).

3.2.4 Revisión de las compresoras

Se procedió a evaluar las 3 compresoras para el proyecto, lo que implica una revisión para asegurar su rendimiento, eficiencia y confiabilidad por ello se realizó las siguientes evaluaciones.

3.2.4.1 Inspección Visual

Se realizó una inspección visual y detallada de las compresoras. Se buscó signos de desgaste, corrosión, fugas de aceite o aire y cualquier otro indicador visual de problemas potenciales; como se muestra en la figura 5, mi persona verificó las 3 compresoras a automatizar, no encontrando anomalías.

Figura 5

Compresoras de aire a automatizar



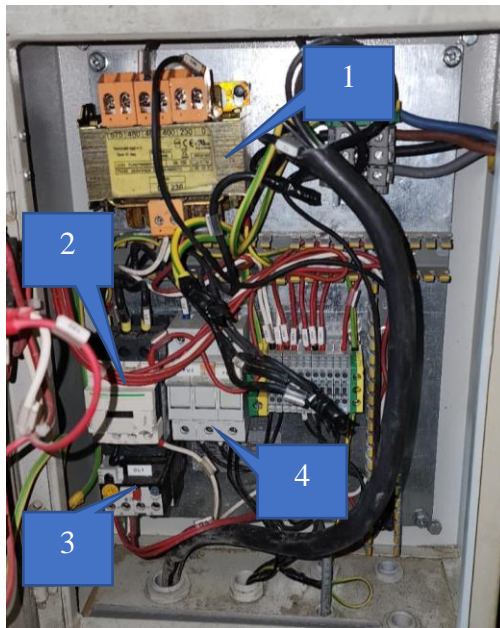
Elaboración propia

3.2.4.2 Revisión de Sistema de Control

Tal como se muestra en la figura 6 el tablero de control de la compresora 1 se ve descuidado; es decir sin el mantenimiento adecuado, expuesto al polvo y agua. Esta situación se repitió con los tableros de las compresoras 2 y 3.

Figura 6

Tablero de control de la compresora



Elaboración propia

Con la automatización se realiza una conexión directa a la compresora descartando el uso de los componentes eléctricos, como los siguientes:

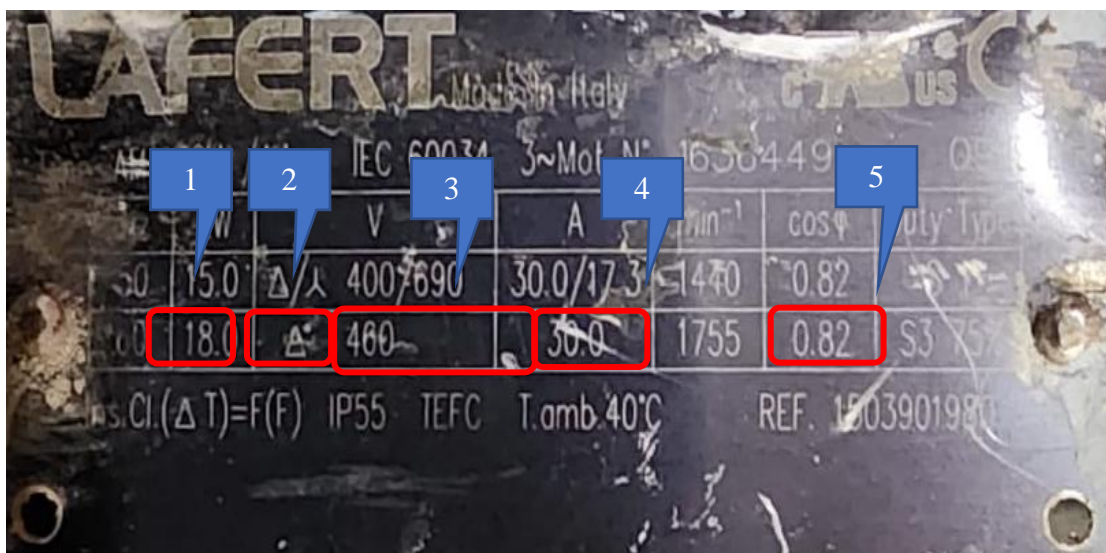
1. **Transformador (440-220Vac):** Dispositivo que adapta el voltaje de la corriente eléctrica a niveles adecuados para el funcionamiento de la compresora.
2. **Contactor (220Vac):** Dispositivo eléctrico que se encarga de apagar/encender la compresora.
3. **Relé termino (220Vac):** Dispositivo eléctrico que se encarga de proteger la compresora contra sobrecargas térmicas.
4. **Porta fusible (32A):** Componente eléctrico que aloja y protege un fusible del circuito eléctrico.

3.2.4.3 Revisión de placa de datos de las compresoras

La placa de datos de las compresoras o placa metálica se encuentran adherida a las compresoras de acuerdo con la norma IEC 60034-30: 2008 y proporciona información crucial sobre sus características y especificaciones. Esta placa será esencial para la realización del proyecto, detalles que se muestran en la figura 7.

Figura 7

Placa de datos de la compresora (la placa de datos es la misma para las otras compresoras).



Elaboración propia

La placa nos proporciona dos tipos de conexiones para 690 VAC y 460 VAC. En este caso, se utiliza la información correspondiente a 460 VAC, ya que es el voltaje que se emplea en la planta.

1. Hercios de la compresora (60Hz)
2. Potencia de la compresora (18KW).
3. Voltaje de la compresora (460VAC).

4. Corriente Nominal de la compresora (30 A)
5. Coseno de la compresora (0.82)

3.2.4.4 Mediciones de consumo de energía

Se utilizo instrumentos de medición (multímetro) para evaluar la corriente de las compresoras. En la figura 8 se ve un consumo de 17.75 Amperios y en la figura 7 se ve que la nominal de la compresora que es de 30 Amperios lo cual quiere decir que la compresora está trabajando en condiciones normales.

Figura 8

Medición de corriente



Elaboración propia

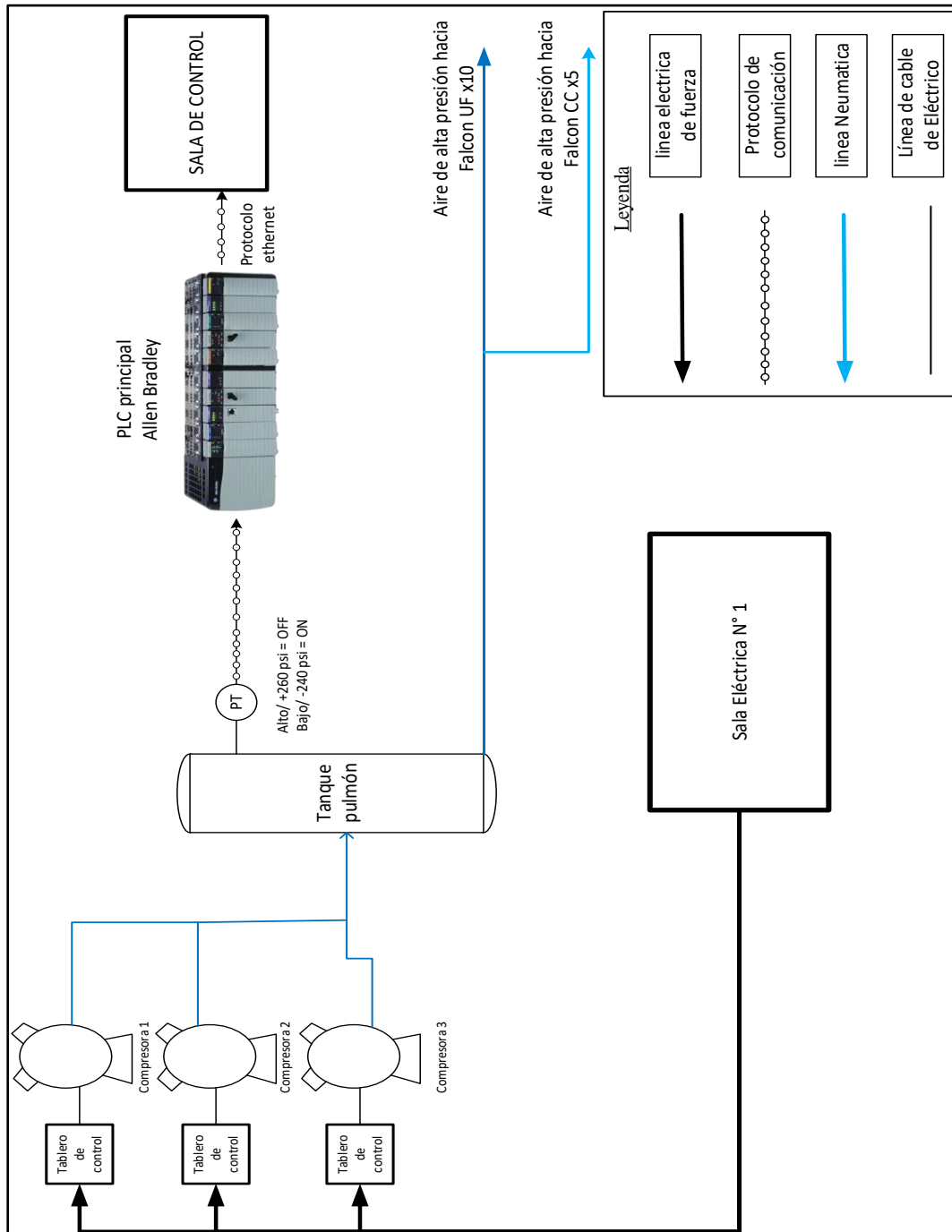
3.2.4.5 Análisis de Datos Históricos

No se tiene registro de datos históricos del funcionamiento de la compresora.

Una vez realizada la evaluación de la situación de las compresoras, se realizó un diagrama unifilar para así tener una visión general del funcionamiento de las compresoras, diagrama que se aprecia en la figura 9.

Figura 9

Diagrama unifilar sin automatización



Elaboración propia



Descripción del diagrama unifilar

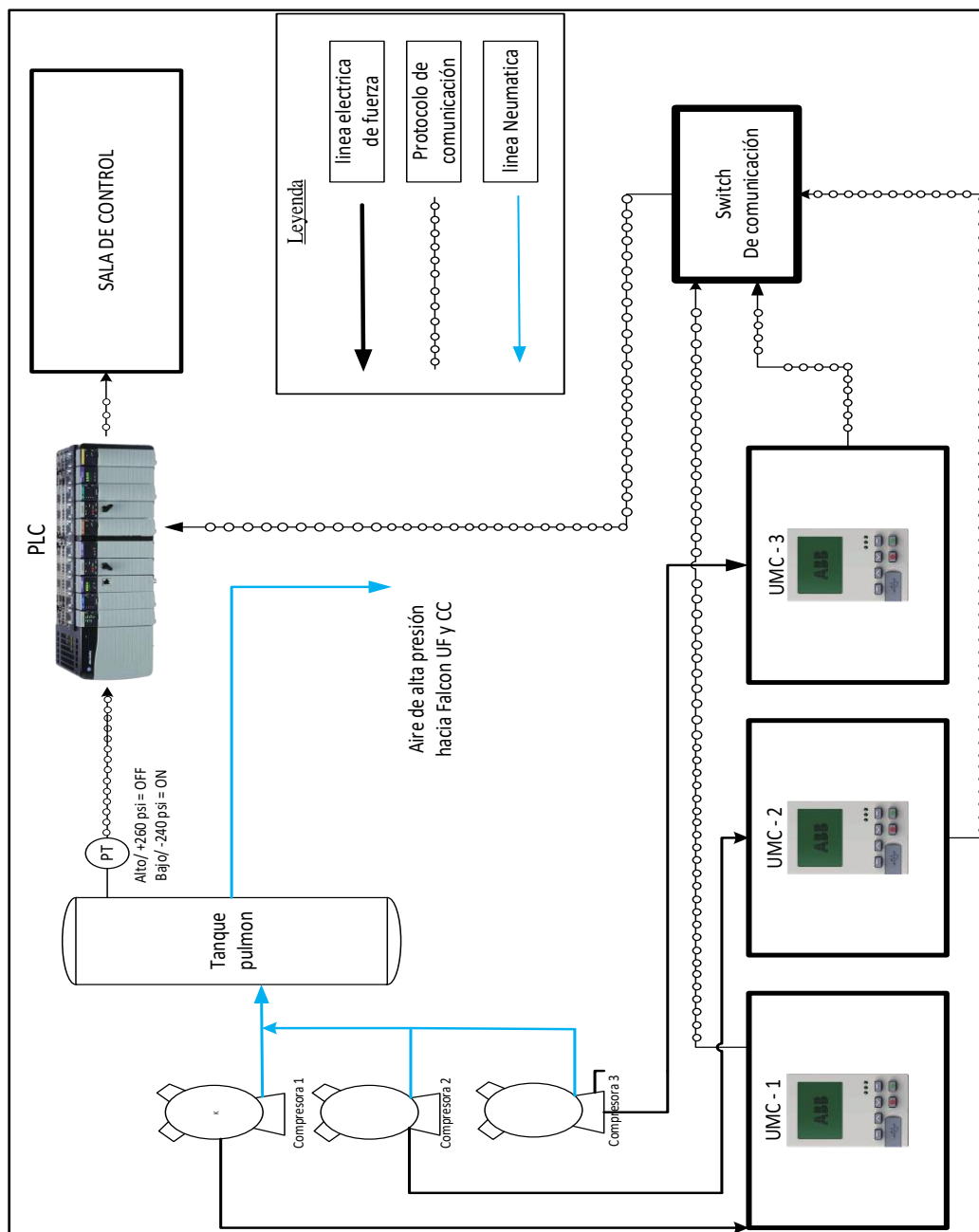
- Compresoras: Se tiene 3 compresoras en el campo, de los cuales se observó que la compresora 1 y 2 están en funcionamiento y la compresora 3 está en modo espera (Stand by) por lo tanto, solo dos compresoras suministran aire comprimido al tanque pulmón.
- Tablero de control: El tablero de control de la compresora está equipado por componentes eléctricos, incluyendo el presostato que se encarga del apagado/encendido. Con la implementación del controlador de motor universal (UMC) se descarta el tablero de control de cada compresora.
- Transmisor de presión (PT): Es un dispositivo utilizado para medir y transmitir señales de presión del tanque pulmón.
- Controlador Lógico Programable (PLC): El PLC informa al operador únicamente la presión del tanque pulmón; sin embargo, el operador no puede visualizar el funcionamiento de las compresoras.
- Sala eléctrica: Son las estructuras metálicas que tienen la finalidad de albergar equipos eléctricos de fuerza, la conexión principal de las compresoras viene de la sala eléctrica donde solo se tiene un interruptor manual.
- Sala de control: La sala de control de la Unidad Minera San Rafael es un espacio físico dentro de su planta, diseñado específicamente para monitorear, controlar y gestionar diversos procesos.

3.2.5 Instalación y configuración del Controlador Universal de Motores (UMC) para las compresoras

Para la instalación del Controlador de Universal de Motores (UMC) en las compresoras se analizó el diagrama unifilar que se muestra en la figura 10.

Figura 10

Diagrama unifilar con automatización



Elaboración propia



Descripción del diagrama unifilar

- Compresora: Se realiza una conexión directa con el cable vulcanizado NPT 4x8 AWG a las compresoras, descartando por completo los tableros de control de cada compresora.
- Tanque pulmón: Este tanque actúa como un reservorio para almacenar temporalmente el aire comprimido para luego suministrar a la planta, pero sobre todo a los concentradores Falcon.
- Transmisor de presión (PT): El transmisor de presión en el tanque pulmón cumple la función de medir y transmitir la presión interna del tanque hacia el PLC se realizó el uso del transmisor para poder controlar el comportamiento de las compresoras.
- Controlador Universal de Motor UMC: El UMC es un relé inteligente que controla y protege a las compresoras que están en la sala eléctrica donde se encuentran seguras y libre de polvo, agua y golpes.
- Controlador Lógico Programable (PLC): El PLC controla el encendido y apagado de las compresoras, ello en función de la demanda de aire comprimido. Utilizando la información del transmisor de presión en el tanque pulmón y con el controlador que se encarga de activar o desactivar las compresoras para mantener la presión en el rango deseado.
- Switch de comunicación: Es un dispositivo que facilita la conectividad y la comunicación entre el Controlador Lógico Programable y Controlador Universal de Motores que provienen de las compresoras y se dirigen hacia la red industrial de la empresa.
- Sala de control: La sala de control de la Unidad Minera San Rafael es un espacio físico dentro de su planta, diseñado e implementado



específicamente para monitorear, controlar y gestionar diversos procesos tanto de las compresoras.

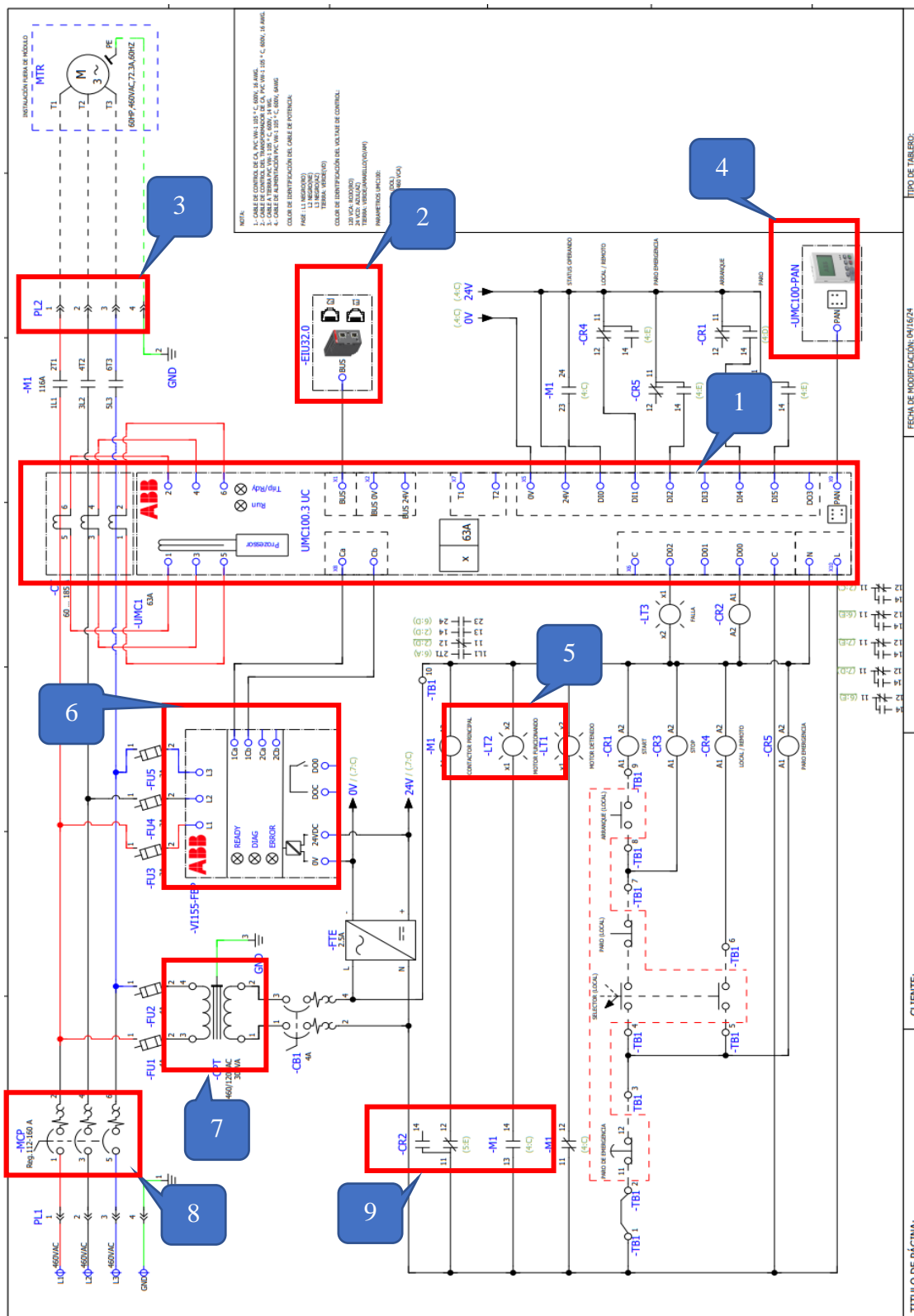
3.2.6 Plano P &ID del cubículo del Controlador Universal de Motores (UMC) 100.3

El plano P&ID que nos facilitó la empresa, muestra de manera clara y concisa la disposición y la relación entre los componentes del cubículo, como el Controlador Universal de Motores (UMC), relés, contactores, interruptores y transformadores. Esto facilita la conexión de fuerza y comunicación para las compresoras.

Para una mejor comprensión del cubículo se puede observar la figura 11 donde se muestra su elaboración.

Figura 11

Plano P & ID del cubículo UMC 100.3



Elaboración propia



Descripción del plano P&ID del Controlador Universal de Motores UMC

1. Controlador Universal de Motores (UMC): Es un dispositivo que trabaja en base a la configuración insertada por parte del operador, configuración que tiene como fin la protección y el monitoreo de las compresoras.
2. Puerto ethernet: Este puerto Ethernet permite la comunicación del Controlador Universal de Motores con otros dispositivos en una red Ethernet, en este puerto se conecta un cable de ethernet FTP cat 6 según la norma IEEE 802.3.
3. Bornes de alimentación del UMC: Un borne de alimentación es un tipo de terminal utilizado en sistemas eléctricos para conectar y asegurar los cables que transportan energía eléctrica. En este punto se conecta el cable vulcanizado NPT 4X8 AWG proveniente de la compresora hacia las borneras de alimentación del Controlador Universal de Motores.
4. Panel del UMC: Es la pantalla LCD que muestra información relevante, acerca del estado y el funcionamiento de las compresoras, así como diagnóstico, alarmas, voltaje, corriente.
5. Luz Piloto: Luces indicadores de funcionamiento, que nos indican el estado de la compresora; es decir, la marcha = verde, paro = rojo, falla = amarillo.
6. Fuente de voltaje de 460 VAC a 24 VDC: Es un componente que convierte la tensión de alimentación de la red eléctrica alterna de 460 voltios (VAC), a una tensión de corriente continua de 24 voltios (VDC). Además de alimentar al UMC como se muestra en el plano, también suministra energía a los dispositivos auxiliares conectados al cubículo de Controlador Universal de Motores UMC.



7. Transformador de voltaje 460VAC a 120 VAC: El transformador de 460 VAC a 120 VAC es un componente eléctrico que se utiliza para convertir la tensión de alimentación. Este dispositivo alimenta a los componentes eléctricos de 120 VAC.
8. Interruptor termomagnético: Es un dispositivo que interrumpe y/o conecta el flujo de corriente eléctrica del cubículo del controlador.
9. Contactor: Es un componente utilizado para controlar la alimentación de corriente eléctrica hacia la compresora.

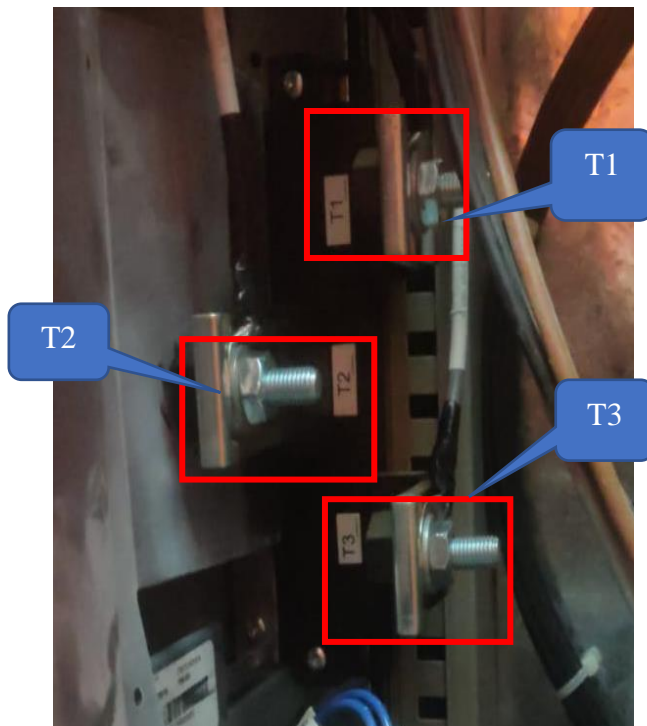
Una vez analizado el plano del Controlador Universal de Motor (UMC) se procede a realizar las siguientes conexiones:

3.2.6.1 Conexión de fuerza de las compresoras al Controlador Universal de Motor (UMC).

La alimentación principal de la planta San Rafael es de 440 VAC, la cual se conecta a las tres compresoras y a su vez a las borneras del controlador. De esta manera, el circuito está protegido por los tres controladores que mencionamos anteriormente. Estos dispositivos no solo protegen el circuito de las compresoras, sino que también pueden interrumpir el flujo de electricidad en caso de discrepancia de corriente. En la Figura 12 se muestra la conexión directa de la alimentación eléctrica de la compresora a los bornes T1, T2 y T3 del Controlador Universal de Motor (UMC), siguiendo el diagrama P&ID.

Figura 12

Conexión de fuerza de las compresoras al UMC



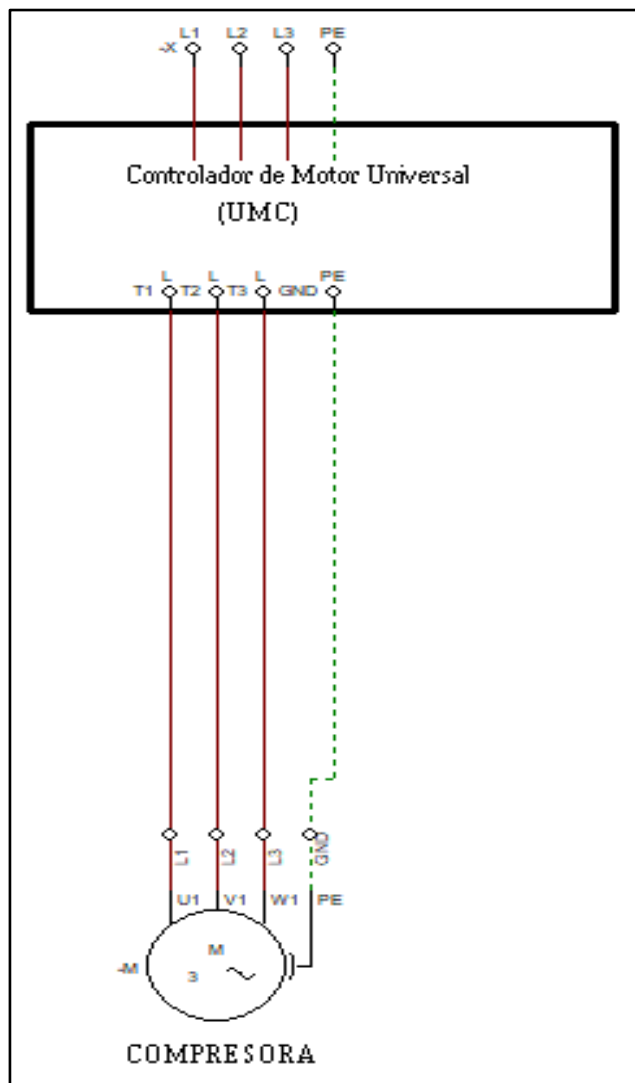
Elaboración propia

3.2.6.2 Conexión de fuerza del Controlador Universal a las compresoras en el campo.

En la figura 13 se muestra el diagrama de conexión directa de la salida del Controlador Universal de motor (T1, T2, T3) hacia los bornes de la compresora (L1, L2, L3).

Figura 13

Diagrama de conexión directa

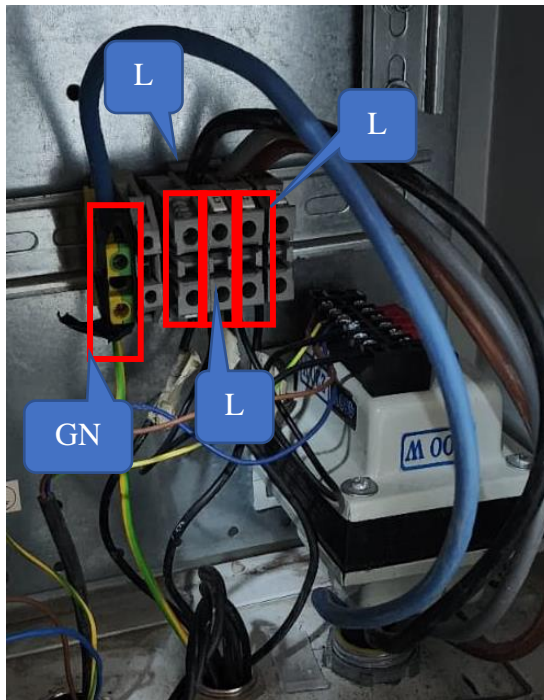


Elaboración propia

En la figura 14 se muestra la conexión directa a las compresoras (L1, L2 y L3), siguiendo el plano de la figura 13 y quitando todos los componentes eléctricos que anteriormente encontramos en los tableros de control de las compresoras.

Figura 14

Conexión directa del UMC a la compresora



Elaboración propia

3.2.6.3 Conexión de comunicación

Una vez que se realizó la conexión de fuerza de las tres compresoras, estas fueron conectadas a la red industrial, cada Controlador Universal de Motor está equipado con puertos Ethernet; esto permite la comunicación a través de redes, el cable de red que se usa es UTP Cat. 6 según la norma IEC 61034-2 que es el estándar de la planta San Rafael, es así que en la figura 15 se observa la conexión del cable de red al Controlador Universal de Motor.

Figura 15

Conexión Ethernet del UMC



Elaboración propia

3.2.7 Configuración de protección de la compresora

Para garantizar una protección adecuada de la compresora, es esencial comprender tanto la categorización de eventos que activan la protección (conocida como la 'clase de disparo') y como el proceso para calcularla correctamente.

3.2.7.1 Clase de disparo para la compresora

La selección de la clase de disparo permite establecer límites de tiempo como: advertencia de desequilibrio, disparo de desequilibrio y tiempo de disparo, estos valores nos ayudan a proteger las compresoras de posibles fallas. Cuando estos valores superan los límites establecidos, el Controlador Universal de Motor genera una señal de disparo que indica una condición anormal o peligrosa, la cual debe ser verificada por el personal a cargo del área.

3.2.7.2 Cálculo de la clase de disparo

Para calcular la clase de disparo, se usó la curva de disparo, según la norma IEC60947-4-1. Esto implica que la curva de disparo de un motor en condiciones

normales debe estar por debajo del punto de coordinación I_a/I_e y T_E , en este contexto I_e representa la corriente nominal, I_a representa la corriente real, y t_E es el tiempo máximo de calentamiento establecido por el fabricante de la compresora.

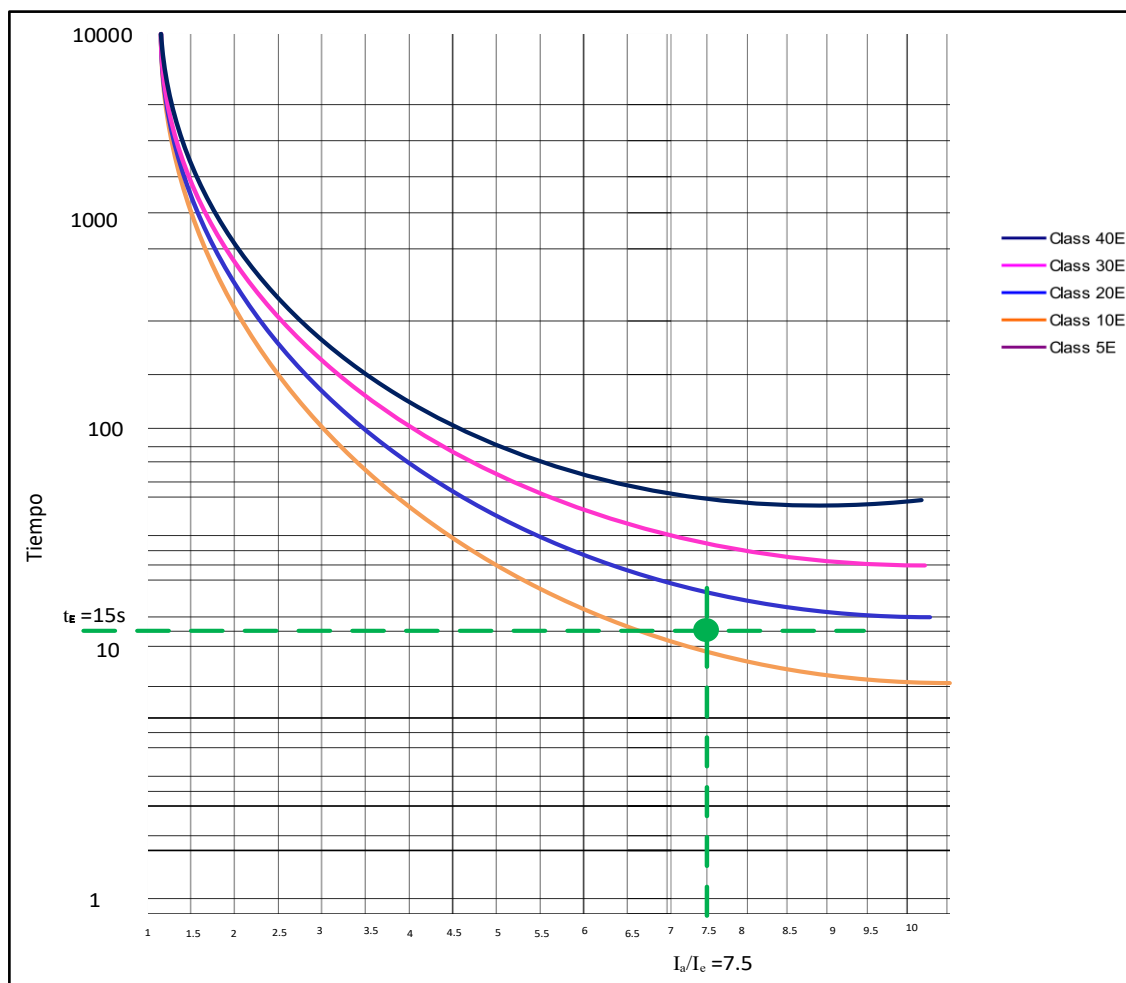
Datos de la compresora:

- Potencia = 18 Kw
- Relación $I_a/I_e = 7.5$
- Tiempo de calentamiento $t_E = 11$ s

A continuación, la figura 16 muestra la selección de la clase de disparo:

Figura 16

Selección de clase de disparo



Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura 17 en relación con el tiempo y la corriente la clase de disparo que se coloca al Controlador Universal de Motor para la compresora es 10E, donde 10E significa que el dispositivo opera dentro de 10 segundos cuando se expone a una corriente de sobrecarga.

Figura 17

Clase de disparo



Elaboración propia

Una vez obtenido la clase de disparo se configura el tiempo de protección de pérdida de fase, tiempo de protección de desequilibrio de fase, tomando como guía el manual del Controlador Universal de Motor, detalles que muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Selección de tiempo de pérdida y desequilibrio de fase

PERDIDA Y DESEQUILIBRIO DE FASE					
Clase de disparo	5	10	20	30	40
Tiempo de protección de pérdida de fase (s)	1.5	3	6	9	12
Tiempo de protección de desequilibrio de fase (s)	2	3.5	6.5	9.5	12.5

Elaboración propia



El tiempo de protección de pérdida de fase y de desequilibrio para las compresoras es 3s y 3.5s.

3.2.8 Configuración de las interfaces de comunicación

A continuación, se muestra la configuración de direcciones IP para las compresoras.

3.2.8.1 Ajuste de la dirección IP

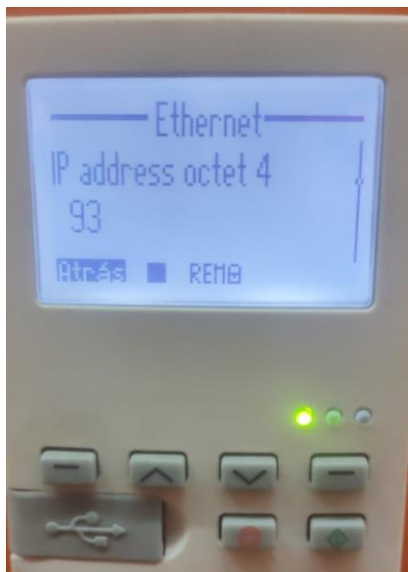
La dirección IP se puede ajustar con el panel LCD del Controlador Universal de Motor, para poder saber qué dirección poner a los Controladores, se solicitó información al técnico de redes de la Unidad Minera San Rafael, en cuanto a que direcciones se encuentran libres.

La Unidad Minera San Rafael utiliza la versión IPv4 que está compuesta por cuatro grupos de números decimales separados por puntos.

- "192" identifica la red privada de la Unidad Minera San Rafael.
- "168" especifica la sub-red dentro de la misma red privada de la Unidad Minera.
- "206" indica un grupo de dispositivos específicos (motores) dentro de la subred.
- "93, 119, 120" identifica los dispositivos específicos (compresoras 1, 2 y 3).

Figura 18

Dirección Host de la compresora 1



Elaboración propia

En la figura 18 se puede observar la configuración del número del dispositivo (compresora 1)

Figura 19

Dirección Host de la compresora 2



Elaboración propia

En la figura 19 se puede observar la configuración del número del dispositivo (compresora 2)

Figura 20

Dirección Host de la compresora 3



Elaboración propia

En la figura 20 se puede observar la configuración del número del dispositivo (compresora 3)

3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS COMPRESORAS

El desarrollo del programa se elabora en los siguientes pasos:

- Determinación del tipo de control del sistema
- Configuración y comunicación del Controlador lógico Programable (PLC)
- Integración de la lógica al SCADA

3.3.1 Determinación del tipo de control del sistema

Primeramente, se identifica el sistema de control, lo que implica considerar tanto las ventajas como las desventajas de los enfoques principales: el control PID y el control ON-OFF. La Tabla 7 proporciona un resumen de esta información, permitiendo una comparación directa entre ambos métodos.

Tabla 7

Diferencias de un control PID y ON/OFF

Características	Control PID	Control ON/OFF
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">- Logra una regulación exacta en procesos que operan de manera continua- Incrementa la eficiencia operativa y optimiza el consumo de energía.- Ajuste automático a condiciones cambiantes.	<ul style="list-style-type: none">- Fácil implementación y comprensión.- Rentable y accesible no requiere un elevado presupuesto.- Resistente y confiable minimiza el desgaste y prolonga la vida útil del equipo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">- Requiere una inversión elevada y una dedicación de recursos humanos mayores- El control PID no es adecuado para todos los sistemas y procesos- Sensibilidad al ruido y perturbaciones.	<ul style="list-style-type: none">- El control ON/OFF puede generar oscilaciones en la respuesta.- No recomendable para equipos sensibles.- Precisión mínima de control

Elaboración propia

Después de estudiar las diferencias entre los dos tipos de sistemas de control, se decidió optar por el sistema de control ON/OFF, con el fin de



implementar su funcionamiento en las compresoras. Esto se debe a que el sistema ON/OFF se ajusta perfectamente al proceso de funcionamiento de las compresoras, permitiendo una respuesta directa y binaria en la activación y desactivación de las compresoras según las necesidades de presión requeridas.

3.3.2 Establecimiento de los criterios necesarios

Para definir los requisitos del proyecto de automatización de las compresoras, primeramente, se identifica la variable principal que es el monitoreo y control de las compresoras, seguido de ello nos aseguramos de que el monitoreo en tiempo real de la presión de aire vaya a garantizar el funcionamiento en la Unidad Minera San Rafael. Además, se busca establecer una relación sencilla entre el proceso de control automatizado y la interacción del operador.

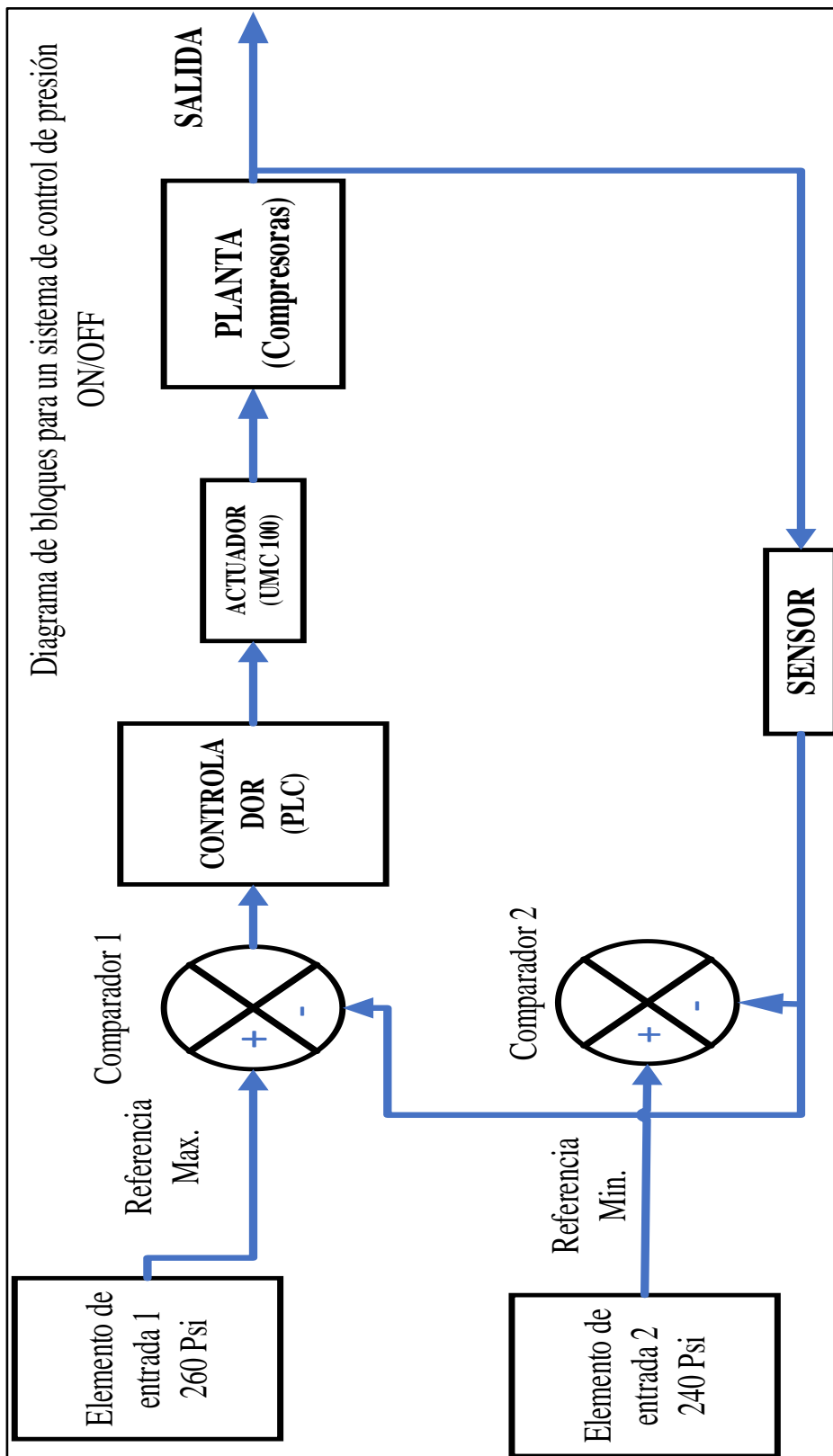
Otro requisito importante, es la capacidad de visualizar la presión en tiempo real y la posibilidad de cambiar entre los modos automático y manual para permitir la intervención del hombre en caso sea necesario.

3.3.3 Diseño del control

El diseño nos facilita el desarrollo del diagrama de bloques, este diagrama representa un sistema con una entrada y una salida, donde el controlador actúa en cascada con la planta, como se ilustra en la figura 21.

Figura 21

Diagrama de bloques del sistema



Elaboración propia



Descripción del diagrama de bloques

- **Elementos de entrada:** En este contexto específico, los dispositivos de entrada permiten al usuario establecer los límites de presión deseados para el control de las compresoras, para este proyecto se va a definir que la referencia mínima será 240 Psi y la máxima 260 Psi, estos límites actúan como umbrales que determinan cuándo se debe activar o desactivar el sistema de control; es así, que al fijar una presión máxima (260 Psi) y una presión mínima (240 Psi).
- **Comparadores:** En el contexto específico, cuando la señal de entrada del sensor de presión es menor que el valor 240 Psi, el comparador produce una señal de salida equivalente al voltaje de alimentación, que se interpreta como un 1 lógico. Por otro lado, cuando la señal de entrada del sensor de presión es mayor que el valor 260 Psi, el comparador produce una señal de salida equivalente al voltaje de alimentación, que se interpreta como un 0 lógico. Estas señales del comparador son utilizadas por el sistema automatizado para determinar si la presión del sistema está dentro del rango deseado establecido por el operador. Dependiendo de estas señales, el sistema tomará decisiones y activará o desactivará las compresoras según corresponda.
- **Controlador:** El Controlador Lógico Programable (PLC) recibe las señales del sensor, los comparadores, y toma decisiones para activar o desactivar el actuador en función de las condiciones del sistema.
- **Actuador:** El Controlador Universal de Motor (UMC) recibe información del sensor de presión, los comparadores y el controlador, y la toma de decisiones se realiza en función de estas señales; cuando se

detecta que la presión del sistema está por encima o por debajo de los valores establecidos por el operador, el controlador universal (UMC) activará o desactivará las compresoras según corresponda.

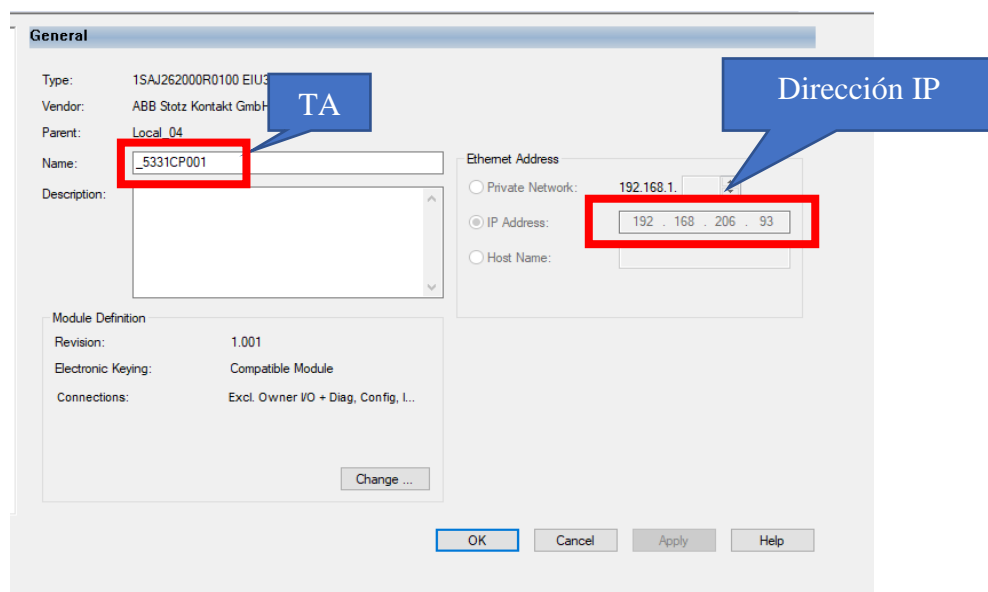
- **Planta:** Es la parte física que se va a controlar, en este caso vienen a ser 3 compresoras.
- **Sensor:** El transmisor de presión recopila datos y los envía al controlador para su procesamiento y toma de decisiones.
- **Salida:** La salida de aire va distribuido hacia las concentradoras Falcon.

3.3.4 Configuración y comunicación entre Controlador Universal de Motor (UMC) y Controlador Lógico Programable (PLC)

Seguidamente se realiza la conexión entre el Controlador Lógico Programable y el Controlador Universal de Motor a través del software Studio 5000, como se ilustra en las figuras 22, 23 y 24.

Figura 22

Configuración del PLC y UMC (Compresora 1)

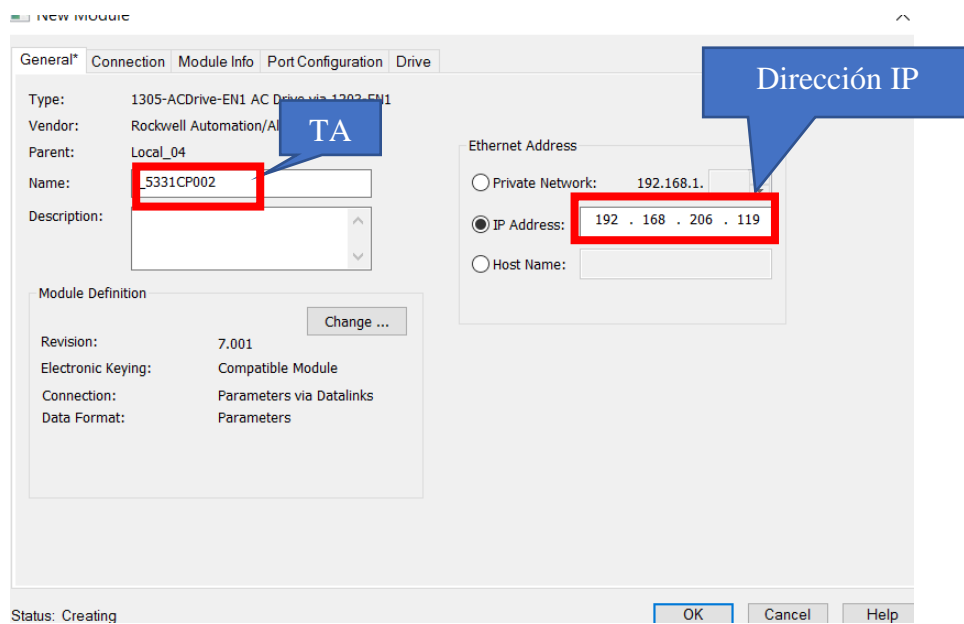


Elaboración propia

- **TAG:** Es en una etiqueta o nombre que se le asigna a la compresora 1 (_5331CP001).
- **Dirección IP:** Se usa la dirección IP (192.168.206.93) que se configuro en el UMC.

Figura 23

Configuración del PLC y UMC (Compresora 2)

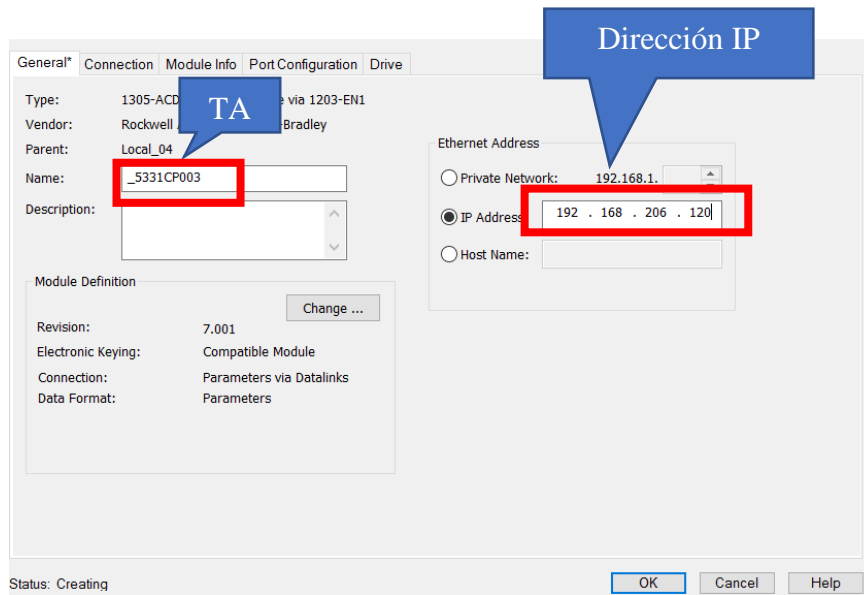


Elaboración propia

- **TAG:** Etiqueta o nombre que se le asigna a la compresora 2 (_5331CP002).
- **Dirección IP:** se usa la dirección IP (192.168.206.119) que se configuro en el UMC.

Figura 24

Configuración del PLC y UMC (Compresora 3)



Elaboración propia

- **TAG:** Etiqueta o nombre que se le asigna a la compresora 3 (_5331CP003).
- **Dirección IP:** se usa la dirección IP (192.168.206.120) que se configuró en el UMC.

3.3.5 Desarrollo del sistema automatizado

A continuación, se desarrolla el sistema automatizado para las compresoras:

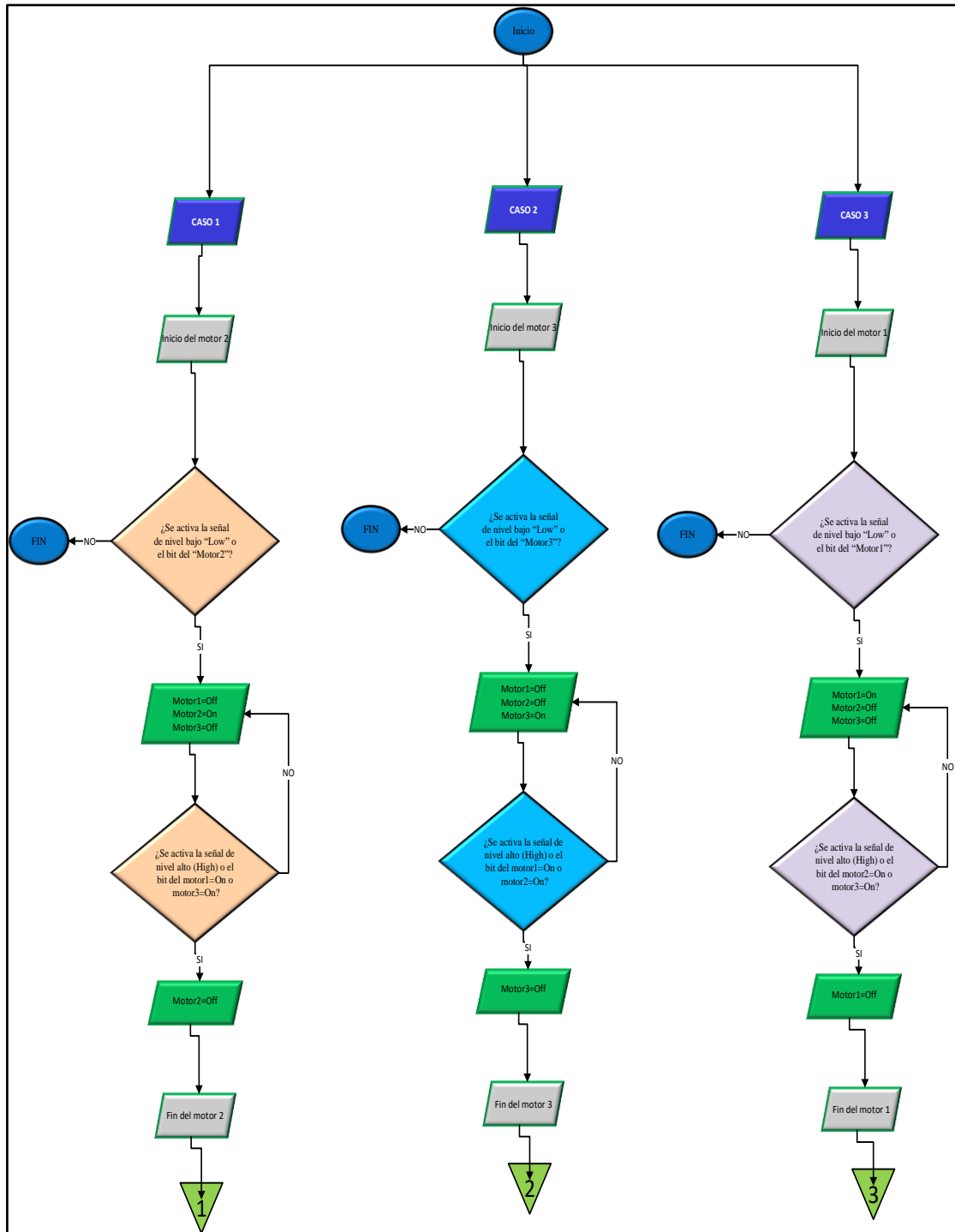
3.3.5.1 Representación gráfica de la programación de encendido de las 3 compresoras

Primeramente, el programa evalúa las condiciones del sensor de presión para determinar si se debe activar o apagar, donde: Compresora1=Motor1, Compresora 2=Motor2, Compresora3=Motor3; todo ello en un patrón de turnos

rotativos, pero no encenderán más de dos motores al mismo tiempo, se puede verificar los detalles de encendido en la figura 25.

Figura 25

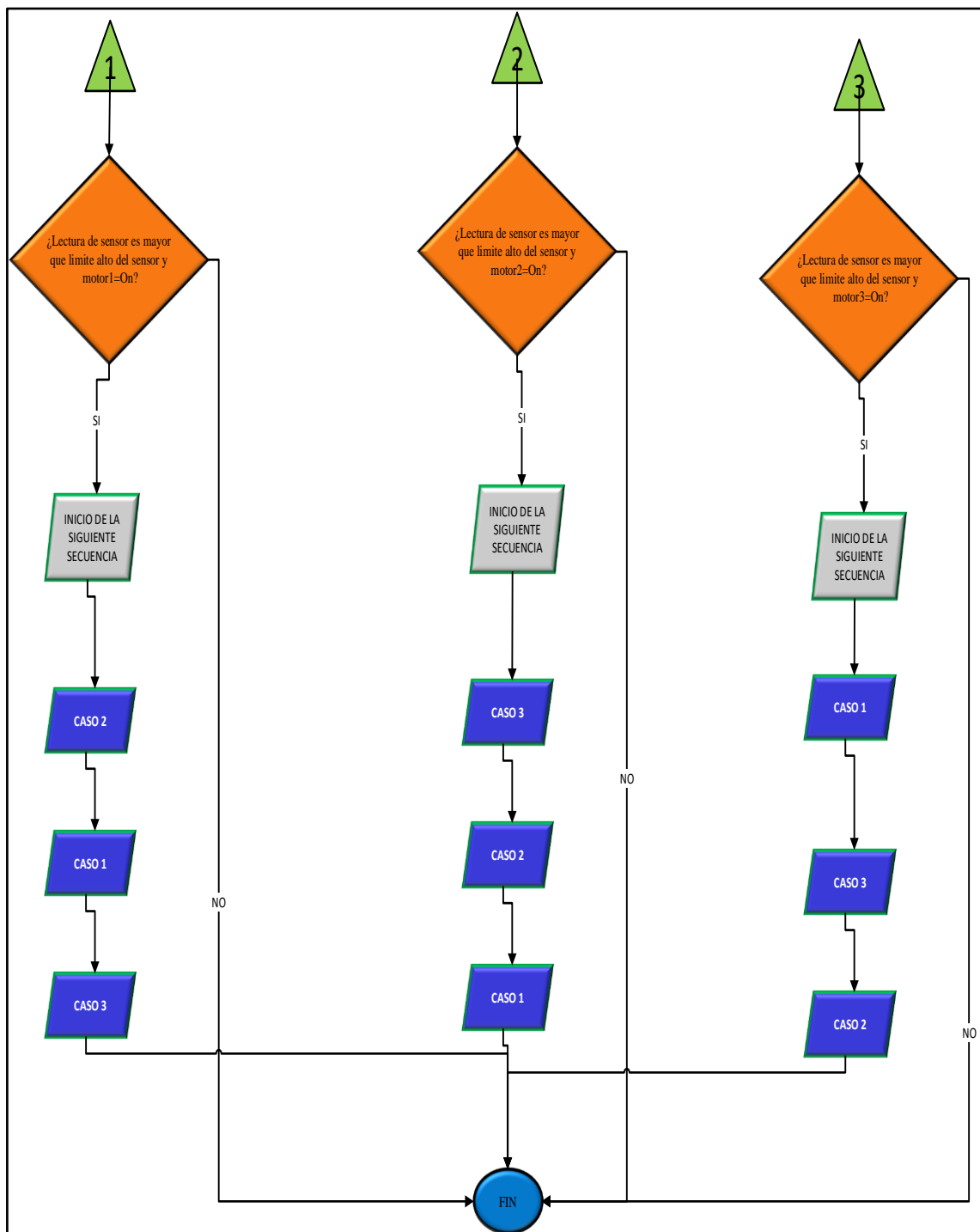
Diagrama de flujo de encendido de las compresoras



Elaboración propia

Figura 26

Diagrama de flujo de secuencia de encendido de las compresoras



Elaboración propia

En la figura 26 se observa la continuación de la figura 25 y la secuencia de funcionamiento y encendido de las compresoras



Descripción del flujograma

Al iniciar el programa, el comportamiento del encendido de las compresoras depende del sensor de presión (PIT) y también se usa las siguientes palabras “Compresora1=Motor1, Compresora2=Motor2, Compresora3=Motor3”.

- **Caso 1:** Si el sensor de presión (PIT) indica nivel “bajo”, entonces se activa Motor1 y los otros motores (2 y 3) se mantienen desactivadas tal como se muestra en la figura 25. Seguidamente cuando el sensor de presión indica nivel “alto” el motor 1 se desactiva. y entran en una secuencia de encendido de las compresoras en el siguiente orden: 2, 1 y 3 como se ve en la figura 26.
- **Caso 2:** Es similar al caso 1 cuando el sensor de presión indica nivel “bajo”, entonces se activa Motor2 y los otros motores (1 y 3) se mantienen desactivadas como se aprecia en la figura 25. Seguidamente cuando el sensor de presión indica nivel “alto” el Motor2 se desactiva, para luego iniciar una secuencia de encendido de compresoras 3, 2 y 1 como se muestra en figura 26.
- **Caso 3:** Se sigue la misma lógica que el caso 1 y 2. Si el sensor de presión indica nivel “bajo”, entonces se activa Motor3 y los otros motores (1 y 2) se mantienen desactivadas como se ve en la figura 25. Seguidamente cuando el sensor de presión indica nivel “alto” el motor3 se desactiva, luego inicia la secuencia de encendido de compresoras 1, 3 y 2 como se muestra en figura 26.



3.3.6 Desarrollo del texto estructurado en RSLogix 5000

El RSLogix 5000 es una destacada plataforma de ingeniería diseñada por Rockwell Automation, empresa líder en el ámbito industrial. Este software proporciona herramientas esenciales para la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC), cuenta con soporte para diversos lenguajes de programación, como LADDER, FBD (Diagrama de Bloques de Funciones), y STL (Texto Estructurado), el RSLogix 5000 ofrece gran versatilidad para adaptarse a las necesidades específicas de la automatización.

3.3.7 Encendido/Apagado de compresoras

A continuación, se muestra el código para el encendido/apagado de las compresoras como se muestra en las siguientes figuras 27, 28 y 29.

- Señales creadas para la compresora 1:

5331PIT052_Principal.Sts_Hi: Indicador de señal alto para la compresora

5331PIT052_Principal.Sts_Lo: Indicador de señal bajo para la compresora

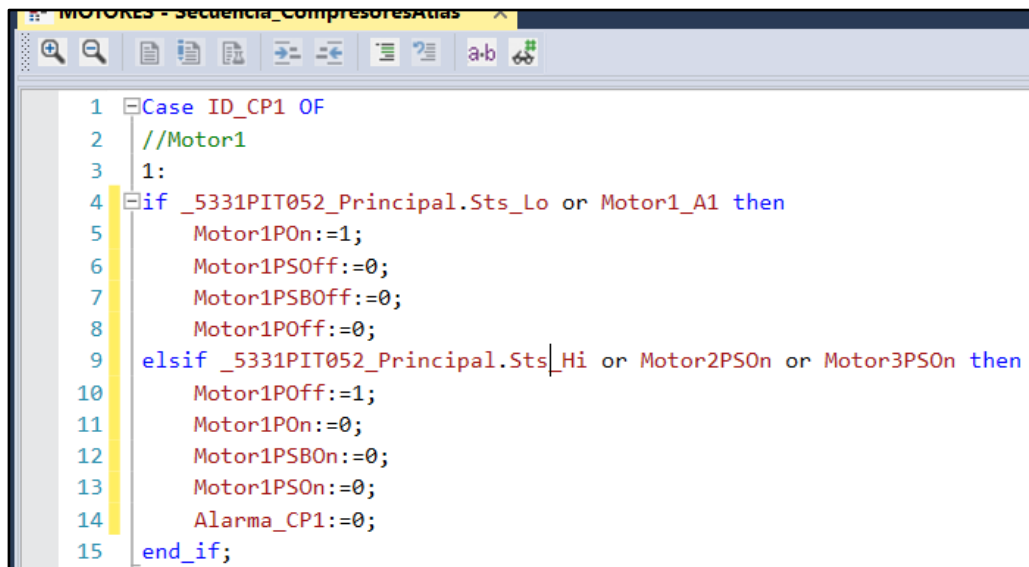
Motor1_A1: Bit booleano de la compresora 1

Motor1On: Bit booleano para encendido de la compresora 1

Motor1POff: Bit booleano para apagado de la compresora 1

Figura 27

Configuración para el caso 1 de la compresora 1



```
1 Case ID_CP1 OF
2 //Motor1
3 1:
4 if _5331PIT052_Principal.Sts_Lo or Motor1_A1 then
5     Motor1POn:=1;
6     Motor1PSOff:=0;
7     Motor1PSBOff:=0;
8     Motor1POff:=0;
9 elsif _5331PIT052_Principal.Sts_Hi or Motor2PSOn or Motor3PSOn then
10    Motor1POff:=1;
11    Motor1POn:=0;
12    Motor1PSBOn:=0;
13    Motor1PSOn:=0;
14    Alarma_CP1:=0;
15 end_if;
```

Elaboración propia

Explicación del caso 1

Si **ID_CP1** es igual a 1:

- Se comprueba si el sensor principal “**5331PIT052_Principal.Sts_Lo**” está en estado bajo o si “**Motor1_A1**” es verdadero, entonces se activará el “**Motor1POn**”.
- La segunda línea comprueba si el sensor principal está en estado alto “**_5331PIT052_Principal.Sts_Hi**” o el motor 2 este encendido “**Motor2PSOn**” o el motor 3 este encendido “**Motor3PSOn**” entonces se desactivará el motor 1.

Figura 28

Configuración para el caso 2 de la compresora 1

```
MOTORES - Secuencia_CompresoresAtlas* X
15 end_if;
16 2:
17 if _5331PIT052_StandBy.Sts_Lo or Motor1_A1 then
18     Motor1PSBOn:=1;
19     Motor1PSOff:=0;
20     Motor1PSBOff:=0;
21     Motor1POff:=0;
22 elseif _5331PIT052_StandBy.Sts_Hi or Motor2PSOn or Motor3PSOn and not Motor1_A1 then
23     Motor1PSBOff:=1;
24     Motor1POn:=0;
25     Motor1PSBOn:=0;
26     Motor1PSOn:=0;
27     Alarma_CP1:=0;
28 end_if;
29 3:
```

Elaboración propia

Explicación del caso 2

Si **ID_CP1** es igual a 2:

- Se comprueba si el sensor principal “**5331PIT052_StandBy.Sts_Lo**” está en estado bajo o si “**Motor1_A1**” es verdadero, entonces se activará el “**Motor1POn**”.
- La segunda línea comprueba si el sensor está en estado alto “**_5331PIT052_StandBy_Hi**” o el motor 2 este encendido “**Motor2PSOn**” o el motor 3 este encendido “**Motor3PSOn**” entonces se desactivará el motor 1.

Figura 29

Configuración para el caso 3 de la compresora 1

```
29 3:  
30 if _5331PIT052_Secundario.Sts_Lo or Motor1_A1 then  
31     Motor1PSOn:=1;  
32     Motor1PSOff:=0;  
33     Motor1PSBOff:=0;  
34     Motor1POff:=0;  
35 elseif _5331PIT052_Secundario.Sts_Hi or Motor2PSOn or Motor3PSOn then  
36     Motor1PSOff:=1;  
37     Motor1POn:=0;  
38     Motor1PSBOn:=0;  
39     Motor1PSOn:=0;  
40     Alarma_CP1:=0;  
41 end_if;
```

Elaboración propia

Explicación del caso 3

Si **ID_CP1** es igual a 3:

- Se evalúa si el sensor secundario **_5331PIT052_Secundario** está en estado bajo o si **Motor1_A1** es verdadero, entonces el motor 1 se activa.
- La segunda línea comprueba si el sensor está en estado alto “**_5331PIT052_Secundario_Hi**” o el motor 2 este encendido “**Motor2PSOn**” o el motor 3 este encendido “**Motor3PSOn**” entonces se desactivará el motor 1.

Para la compresora 2 y 3 es similar al código de la compresora 1, pero está relacionado con el motor 2 (compresora 2) y motor 3 (compresora 3) ver el anexo 3 y 4.



3.3.8 Desarrollo de alarmas por tiempo excedido de las compresoras

El código se desarrolló con el fin de proteger a las compresoras, por el exceso de tiempo encendido; asimismo, el código tiene la opción de controlar el temporizador, el contador ascendente en función del estado de las compresoras y la señal de reinicio. De manera que cuando el temporizador alcance su límite, éste active una advertencia y de esta forma se active la señal de reinicio, para que el temporizador reinicie su cuenta; otra opción a considerar es cuando el temporizador alcanza su límite por segunda vez éste ya envía una señal de alerta al operador.

- Señales de tiempo creadas para las compresoras:

Time_CP1=contador de la compresora 1

Time_CP2= contador de la compresora 2

Time_CP3= contador de la compresora 3

- Señales de alarmas creadas para las compresoras:

CTU_ALM_CP1: Alarma para la compresora 1

CTU_ALM_CP2: Alarma para la compresora 2

CTU_ALM_CP3: Alarma para la compresora 3

A continuación, en la figura 30 se muestra el código para alarmas por tiempo excedido de la compresora 1.

Figura 30

Código de alarmas de la compresora 1

```
219  [*/
220  //Timer de Alarma por tiempo excedido de encendido Motor CP101
221
222  TONR (Time_CP1);
223  Time_CP1.PRE:=1500000;
224
225  if _5331CP001.Sts_Running then
226  | Time_CP1.TimerEnable:=1;
227  | else
228  | Time_CP1.TimerEnable:=0;
229  | end_if;
230
231  if Time_CP1.DN then
232  | Alarma_CP1:=1;
233  | end_if;
234
235  CTUD(CTU_ALM_CP1);
236  if Time_CP1.DN then
237  | CTU_ALM_CP1.CUEnable:=1;
238  | else
239  | CTU_ALM_CP1.CUEnable:=0;
240  | end_if;
241  if Reset_TurnoA then
242  | CTU_ALM_CP1.Reset:=1;
243  | else
244  | CTU_ALM_CP1.Reset:=0;
245  | end_if;
246  if CTU_ALM_CP1.DN then
247  | Test_Dave[9].1:=1;
248  | end_if;
249
```

Elaboración propia

Descripción del lenguaje

En este sistema de control, monitorea el tiempo de funcionamiento de la compresora 1 “CP101” para asegurar un uso seguro y eficiente. El proceso se lleva a cabo mediante un programa que utiliza un temporizador, una alarma y un contador.



1. Temporizador de tiempo de funcionamiento:
 - Se establece un temporizador llamado “**Time_CP1**” para medir cuánto tiempo ha estado en funcionamiento la compresora 1 “**CP101**”.
 - El temporizador se configura para contar hasta 25 minutos (equivalente a 1500000 milisegundos).
2. Verificación del estado de la compresora:
 - Se verifica si la compresora 1 “**CP101**” está en funcionamiento.
 - Si la compresora 1 está activa, se inicia el temporizador para comenzar a contar el tiempo.
3. Alarma por tiempo excedido:
 - Cuando el temporizador alcanza los 25 minutos, se activa una alarma llamada “**Alarma_CP1**”.
 - Esta alarma indica que la compresora 1 ha estado funcionando durante un período prolongado y puede requerir atención.
4. Contador de tiempo total:
 - Se utiliza un contador ascendente llamado “**CTU_ALM_CP1**” para llevar un registro del tiempo total de funcionamiento de la compresora 1.
 - Este contador se activa cuando el temporizador alcanza su límite, permitiendo seguir registrando el tiempo.



5. Reinicio del contador:
 - Si se recibe una señal de “**RESET**” del turno, el contador ascendente se reinicia para comenzar a contar desde cero.
 - Esto proporciona un seguimiento preciso del tiempo de funcionamiento de la compresora 1 en cada ciclo operativo.
6. Alerta al operador:
 - Si el contador ascendente alcanza su valor máximo, se envía una alerta al operador.
 - Esta alerta sirve como un recordatorio para el operador de que la compresora ha estado funcionando durante un período prolongado y puede necesitar mantenimiento o supervisión adicional.
7. Este proceso se repite para las compresoras 2 y 3 ver el anexo 5 y 6.

3.3.9 Desarrollo de la secuencia de encendido de las compresoras

Este código define una secuencia de encendido específica para las compresoras donde: Compresora1=CP1, Compresora2=CP2 y Compresora3=CP3; basándose en condiciones específicas relacionadas con los valores que envía el sensor de presión donde:

- **LC002_LC001_4.REAL[1]** = Lectura del sensor de presión
- **LC002_LC001_4.REAL[2]** = Limite alto del sensor de presión
- **5331CP001.Sts_Running** = bit booleano de compresora 1 funcionando.
- **5331CP002.Sts_Running** = bit booleano de compresora 2 funcionando
- **5331CP003.Sts_Running** = bit booleano de compresora 3 funcionando

- **ID_CP1** = Caso de compresora 1
- **ID_CP2** = Caso de compresora 2
- **ID_CP3** = Caso de compresora 3

A continuación, en la figura 31 se muestra la secuencia de encendido de las compresoras:

Figura 31

Secuencia de encendido de las compresoras

```
331 // Secuencia de de encendido de Motores CP
332
333 if LC002_LC001_4.REAL[1] > LC002_LC001_4.REAL[2] and _5331CP001.Sts_Running then
334     ID_CP1:=2;
335     ID_CP2:=1;
336     ID_CP3:=3;
337
338 elsif LC002_LC001_4.REAL[1] > LC002_LC001_4.REAL[2] and _5331CP002.Sts_Running then
339     ID_CP1:=3;
340     ID_CP2:=2;
341     ID_CP3:=1;
342
343 elsif LC002_LC001_4.REAL[1] > LC002_LC001_4.REAL[2] and _5331CP003.Sts_Running then
344     ID_CP1:=1;
345     ID_CP2:=3;
346     ID_CP3:=2;
347 end_if;
```

Elaboración propia

Descripción del lenguaje

- Si el valor del indicador de presión “LC002_LC001_4.REAL[1]” es mayor que el valor del límite “LC002_LC001_4.REAL[2]” y si el motor CP1 “**compresora 1**” está en funcionamiento “_5331CP001.Sts_Running”, entonces se ejecuta la secuencia de encendido de las compresoras de la siguiente manera:

- CP1 se establece en segundo lugar (**CP1:=2**)



- CP2 se establece en primer lugar (**CP2:=1**)
- CP3 se establece en tercer lugar (**CP3:=3**)
- Ahora si el valor del indicador de presión “**LC002_LC001_4.REAL[1]**” es mayor que el valor del límite “**LC002_LC001_4.REAL[2]**” y si el motor CP2 “**compresora 2**” está en funcionamiento “**_5331CP002.Sts_Running**”, entonces se ejecuta la secuencia de encendido de los compresoras de la siguiente manera:
 - CP1 se establece en tercer lugar (**CP1:=3**)
 - CP2 se establece en segundo lugar (**CP2:=2**)
 - CP3 se establece en primer lugar (**CP3:=1**)
- Seguidamente si el valor del indicador de presión “**LC002_LC001_4.REAL[1]**” es mayor que el valor del límite “**LC002_LC001_4.REAL[2]**” y si el motor CP3 “**compresora 3**” está en funcionamiento “**_5331CP003.Sts_Running**”, entonces se ejecuta la secuencia de encendido de los compresoras de la siguiente manera:
 - CP1 se establece en primer lugar (**CP1:=1**)
 - CP2 se establece en tercer lugar (**CP2:=3**)
 - CP3 se establece en segundo lugar (**CP3:=2**)

3.4 ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES EN RSLOGIX 5000

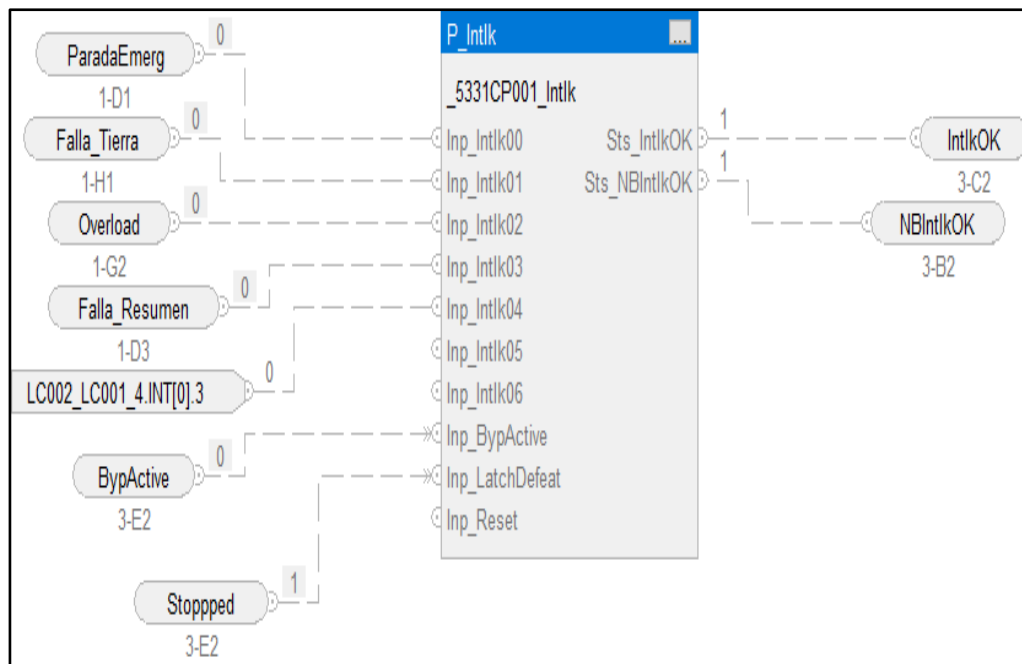
En esta sección se proporciona una representación visual de la lógica del programa, donde se observa diferentes bloques de funciones o módulos interactuando entre sí.

3.4.1 Creación del bloque Interlock

En la figura 32 se muestra la configuración de los INTERLOCKS de la compresora 1 “5331CP001”, este bloque permite establecer condiciones de seguridad para el equipo y para el operador.

Figura 32

Interlocks del equipo 5331CP001 (Compresora 1)



Elaboración propia



La configuración mencionada se establece bajo las siguientes condiciones:

- **Señales de entradas del Interlock**

Las entradas de interlock se utilizan para monitorear y verificar las condiciones que deben cumplirse antes de permitir el funcionamiento de la compresora 1.

- **Inp_Intlk00:** Señal de la parada de emergencia (Botonera física del UMC).
- **Inp_Intlk01:** Señal de falla a tierra (Señales del UMC).
- **Inp_Intlk02:** Señal de falla de sobrecarga (Señal del UMC).
- **Inp_Intlk04:** Señal indicador de la presión ALTO (señal del sensor).
- **Inp_BypActive:** Señal de estado del Bypass (Señal virtual de Bypass para pruebas).
- **Inp_LatchDefeat:** Señal de STATUS (señal de estado de la compresora).

- **Señales de salidas del Interlock**

Estas salidas indican si los interlocks principales o generales del equipo están en estado "OK" o desactivados. Si una señal de entrada esta con "1" significa que el bloque de interlocks no dará el pase para que la compresora arranque.

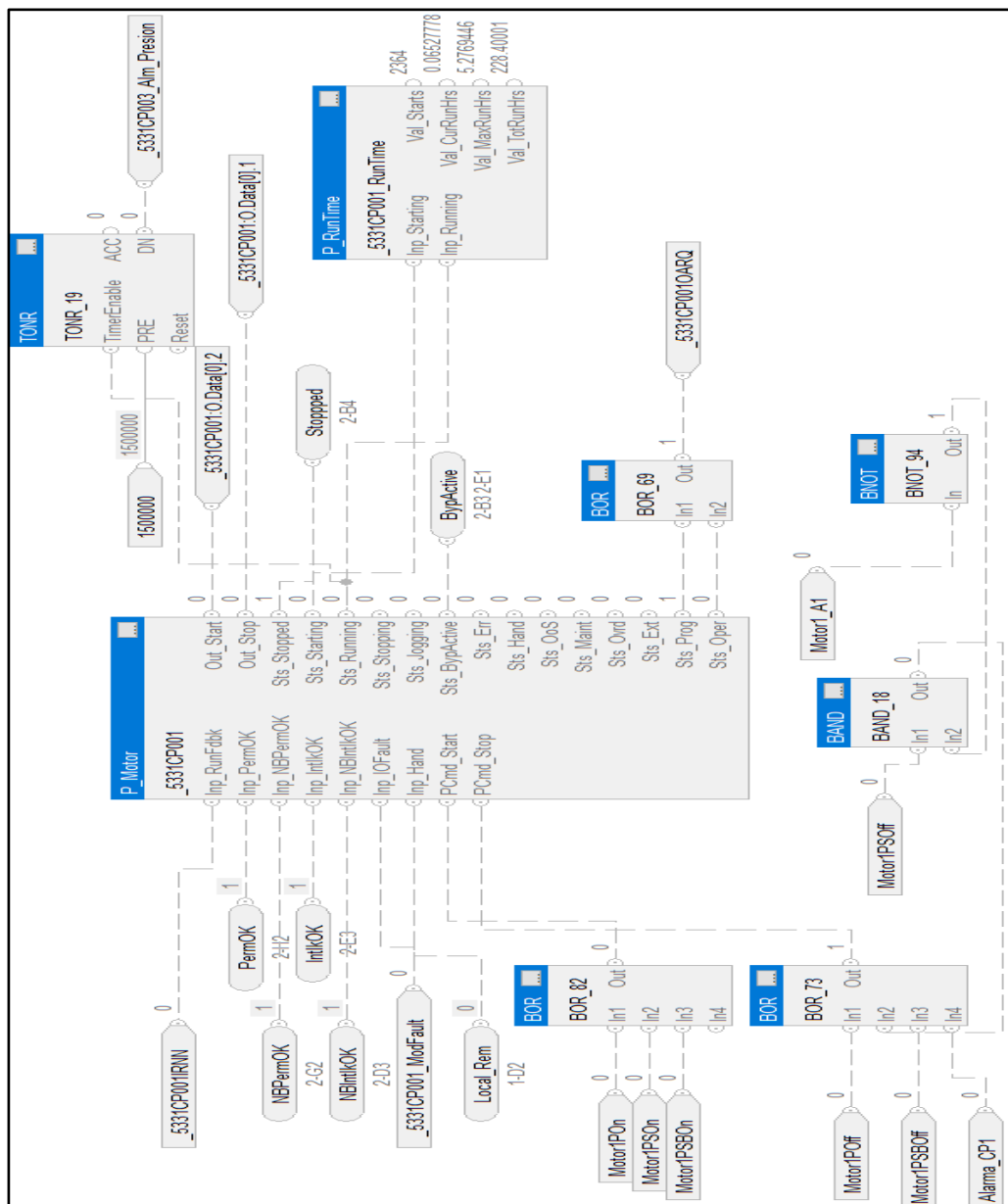
- **Sts_IntlkOK:** interlocks principales
- **Sts_NBIntlkOK:** interlocks de seguridad
- Para la compresora 2 y 3 se configura de la misma manera ver anexo 7 y 8.

3.4.2 Integración del bloque para el control de la compresora

En la figura 33 se muestra el desarrollo del diagrama de bloques para la compresora 1 lo cual se hará uso del bloque “P_motor” que se refiere a un bloque específico utilizado para controlar el encendido, apagado e interlock’s de la compresora 1.

Figura 33

Configuración para el arranque de la compresora 1



Elaboración propia



Descripción del programa

Entradas del bloque P_motor (Compresora 1):

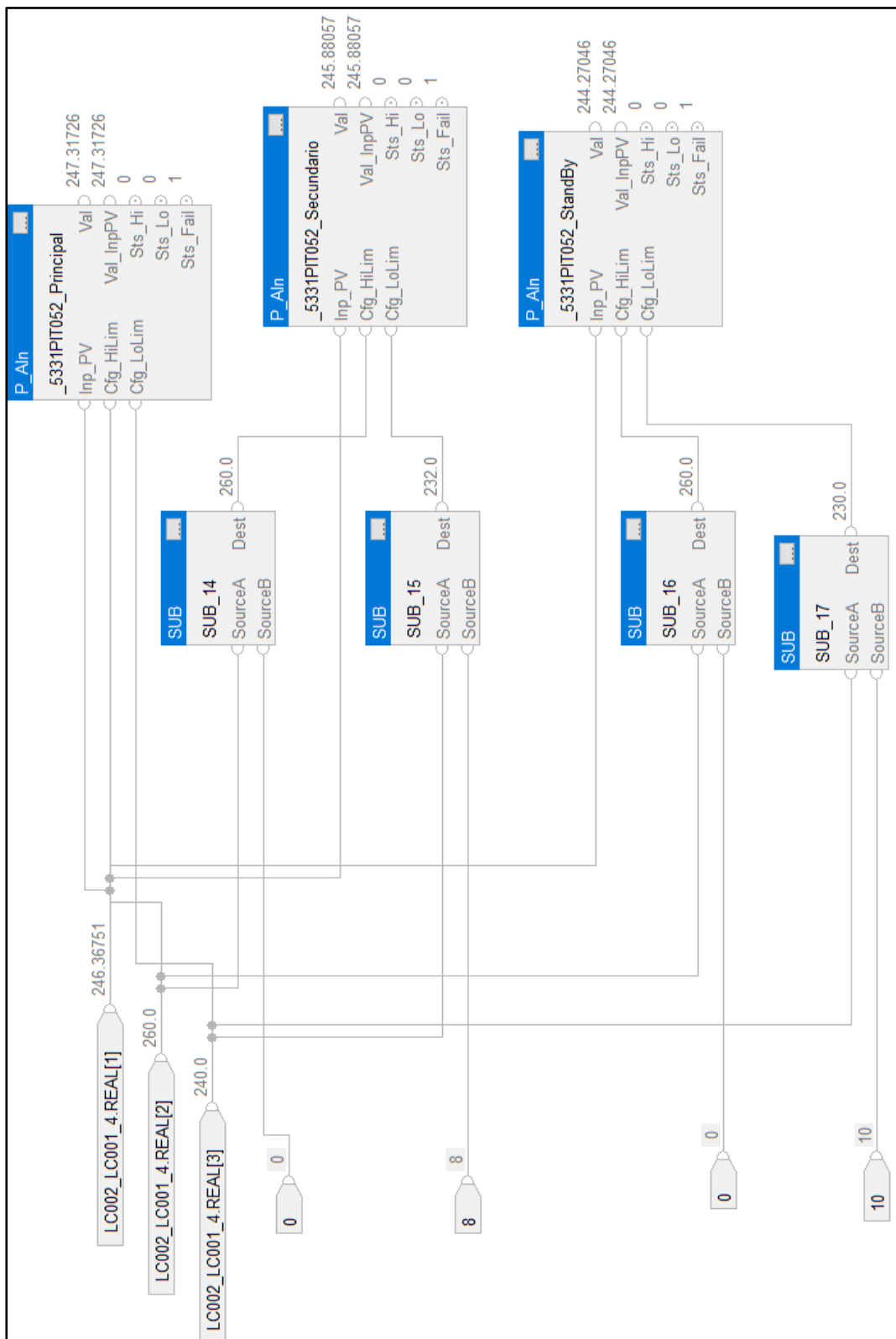
- **Inp_RunFdbk:** Se le agrega el “5331CP001IRNN” para cuando la compresora 1 este prendido nos mandara un feedback
- **Inp_IntlkOK:** se le agrega el **IntlkOK** lo cual nos indicara que todo los interlocks principales de la compresora 1 están listos.
- **Inp_NBIntlkOK:** se le agrega el **NBIntlkOK** lo cual nos indicara que todo los interlock de seguridad de la compresora 1 están listos.
- **Inp_IOFault:** se le agrega el **5331CP001_ModFault** cuando se pierde comunicación con la compresora 1.
- **Inp_Hand:** Se le agrega el **Local_Rem** para cambiar el modo de LOCAL o REMOTO de la compresora 1.
- **PCmd_Start:** Para arranque automático y bajo la secuencia de lenguaje de encendido de la compresora 1 que se diseñó en el texto estructurado.
- Para la compresora 2 y 3 se configura de la misma manera, ver anexo 9 y 10.

3.4.3 Configuración del sensor de presión (PIT)

En la figura 34 se describe la configuración y funcionamiento de las señales analógicas de los bloques de control, específicamente en relación con el sensor de presión (PIT) de campo, de esta forma se detalla cómo se envían diferentes señales a diferentes bloques para monitorear y establecer límites para la señal analógica. Además de ello se ajusta los límites para evitar que varias compresoras se enciendan de manera simultánea.

Figura 34

Configuración del sensor de presión (PIT)



Elaboración propia



Descripción del programa

- La señal de lectura del sensor de presión “**LC002_LC001_4.REAL[1]**” se manda a “**inp_PV**” de los bloques “**_5331PIT052_Principal, _5331PIT052_Secundario y _5331PIT052_StandBy**” estas entradas analógicas están diseñadas para recibir y procesar la señal analógica proveniente del sensor presión de campo.
- La señal de limite alto del sensor de presión “**LC002_LC001_4.REAL[2]**” se manda a “**Cfg_HiLim**” de los bloques “**_5331PIT052_Principal, _5331PIT052_Secundario y _5331PIT052_StandBy**” los cuales se refieren a la configuración del límite superior “**High Limit**” para la entrada analógica. Este parámetro se utiliza para establecer el valor máximo permitido para la señal analógica que se va a monitorear.
- La señal de limite bajo “**LC002_LC001_4.REAL[3]**” se manda a “**Cfg_LoLim**” de los bloques “**_5331PIT052_Principal, _5331PIT052_Secundario y _5331PIT052_StandBy**” los cuales se refieren a la configuración del límite inferior “**High Limit**” para la entrada analógica. Este parámetro se utiliza para establecer el valor mínimo permitido para la señal analógica que se va a monitorear.
- Salidas del bloque **_5331PIT052_Principal**
Val y **Val_InpPV**: representa la conversión de la señal analógica como resultante es 247.31726 tal como se muestra en la imagen.
- Salidas del bloque **_5331PIT052_Secundario**
Val y **Val_InpPV**: representa la conversión de la señal analógica como resultante es 245.88057 tal como se muestra en la imagen.

- Salidas del bloque **_5331PIT052_StandBy**

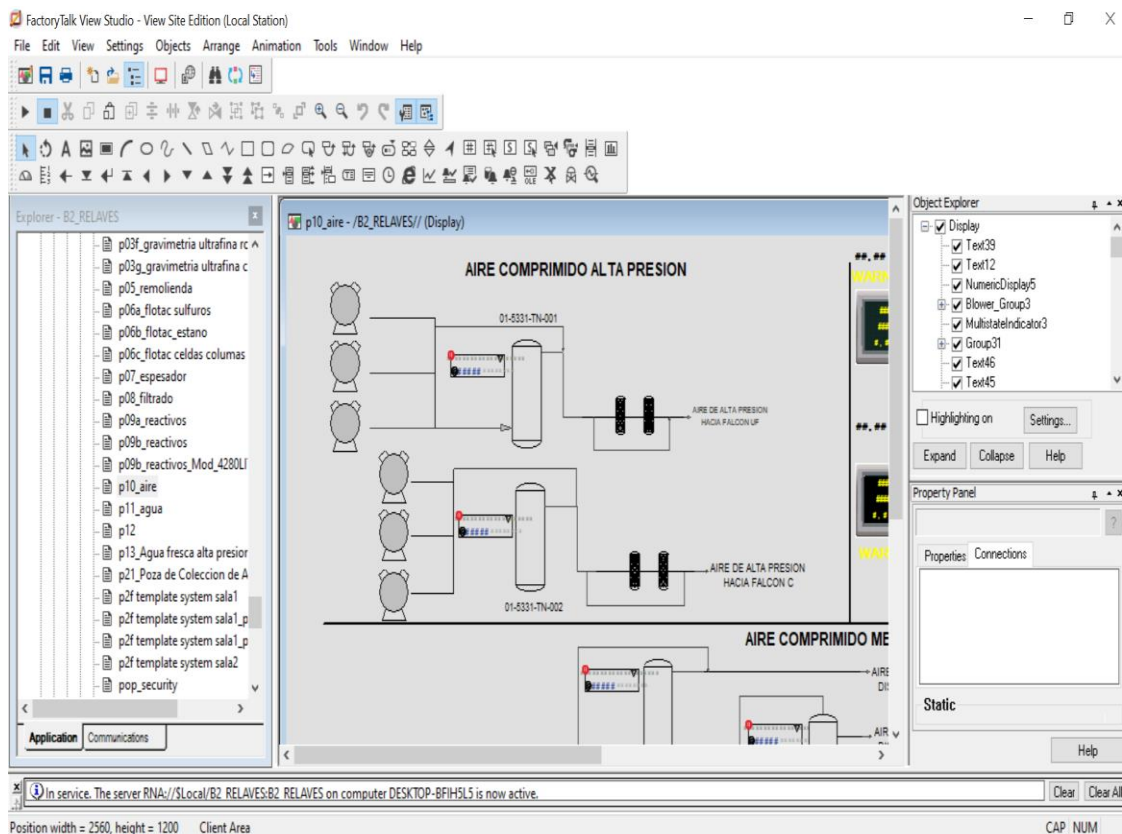
Val y **Val_InpPV**: representa la conversión de la señal analógica como resultante es 244.27046 tal como se muestra en la imagen.

3.5 INTEGRACIÓN DE LA LÓGICA AL SCADA (FactoryTalk View Studio)

El Software FactoryTalk View es una plataforma que se puede utilizar tanto para Interfaz Hombre-Máquina (HMI) como para Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Por lo que se opta hacer uso del SCADA, ya que proporciona capacidades de supervisión y control a nivel de planta, permitiendo la visualización de procesos, la recopilación de datos en tiempo real, la gestión de alarmas, eventos y la interconexión con sistemas de control, parte de la programación se observa en la figura 35.

Figura 35

Software de programación FactoryTalk View



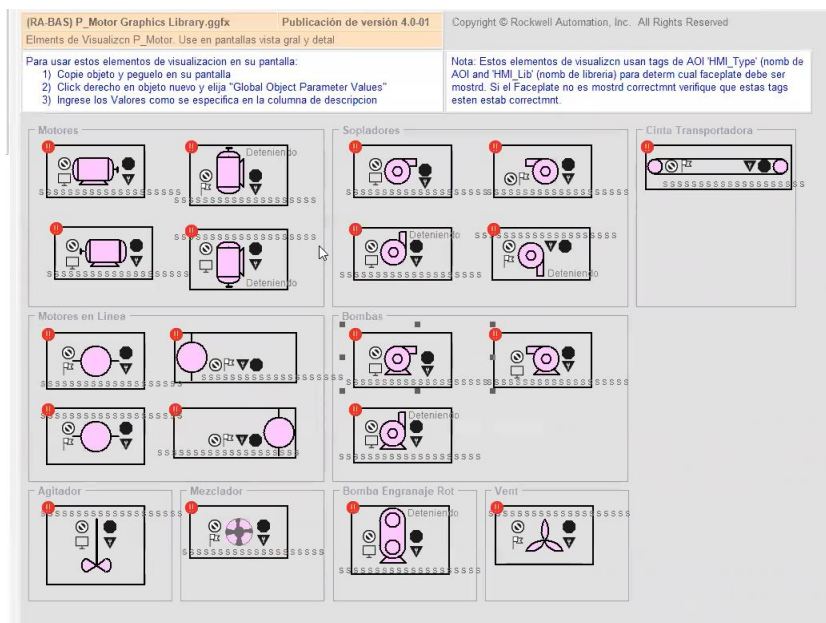
Elaboración propia

3.5.1 Integración de las compresoras al SCADA

En la figura 36 se aprecia la librería de FactoryTalk View donde proporciona una amplia gama de gráficos predefinidos que facilitan el diseño y la implementación de las compresoras en el SCADA.

Figura 36

Librería de objetos



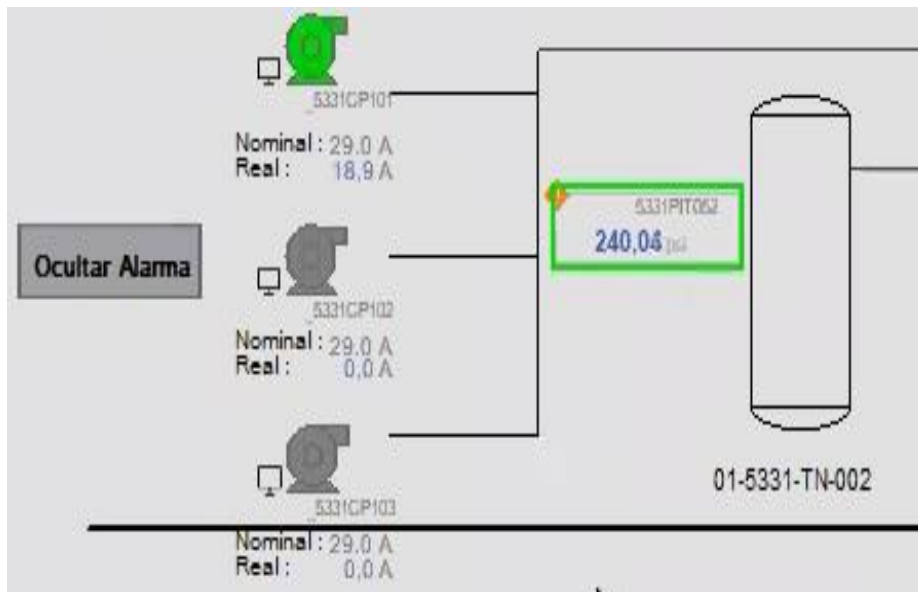
Elaboración propia

3.5.2 Creación de imágenes y desarrollo para el SCADA

En el contexto del monitoreo y supervisión de compresoras, se ha llevado a cabo la programación y vinculación en gráficas (Faceplates), estos Faceplates están diseñados para ofrecer una representación visual integral de los diversos aspectos del funcionamiento de las compresoras, proporcionando información crucial para el monitoreo efectivo de su rendimiento. A continuación, para ver detalles de la creación del SCADA, se muestra de las figuras 37 al 43.

Figura 37

Vista general de las compresoras (FACEPLATE 1)

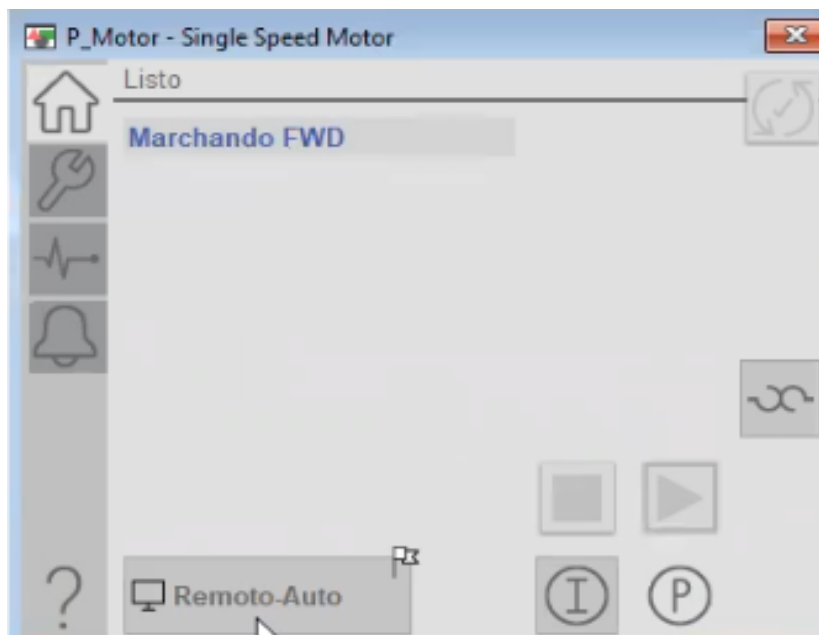


Elaboración propia

En la figura 37 se muestra el comportamiento de las compresoras en tiempo real así como la presión del tanque pulmon.

Figura 38

Control de la compresora 1 (FACEPLATE 2)

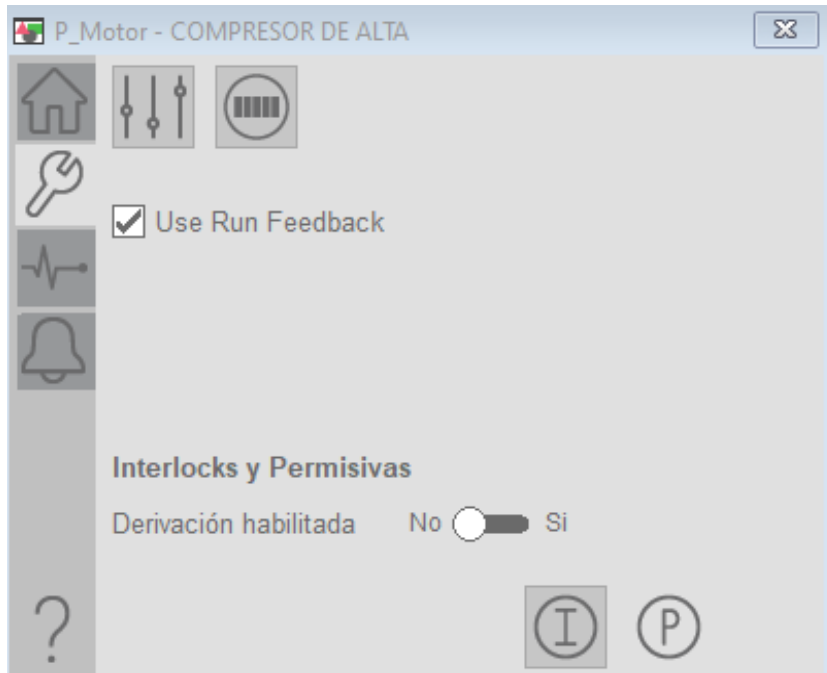


Elaboración propia

En la figura 38 se puede cambiar de modo automático o manual, en modo manual el operador puede arrancar desde el UMC o desde el faceplate haciendo click en el símbolo de play.

Figura 39

Configuración de la compresora 1 (FACEPLATE 3)

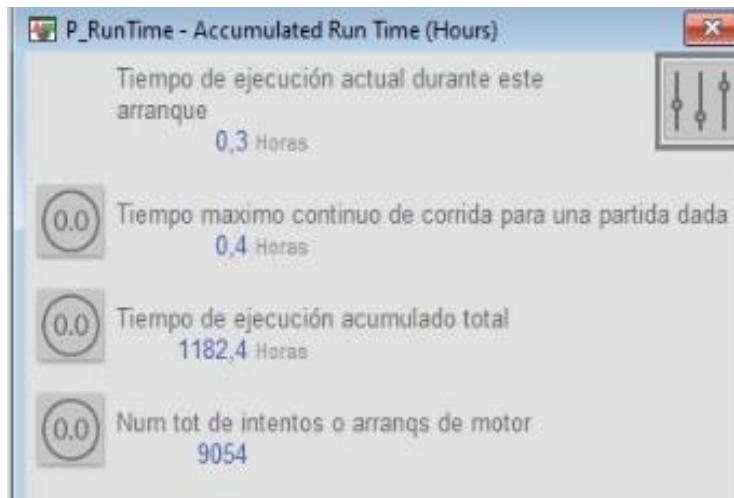


Elaboración propia

En la figura 39 se puede activar un sistema (Bypass) en caso de falla o para facilitar el mantenimiento de la compresora 1.

Figura 40

Tiempo de ejecución acumulado de la compresora 1 (FACEPLATE 4)

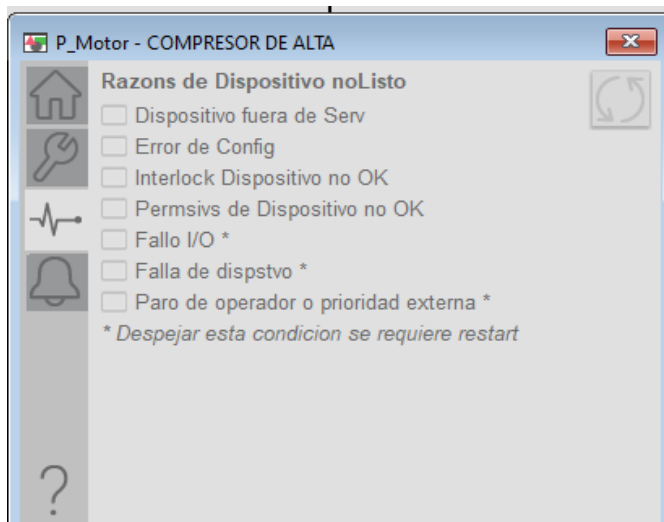


Elaboración propia

En la figura 40 se puede ver la información del tiempo actual, tiempo máximo, total y numero de arranques de la compresora 1.

Figura 41

Alarmas de la compresora 1 (FACEPLATE 5)

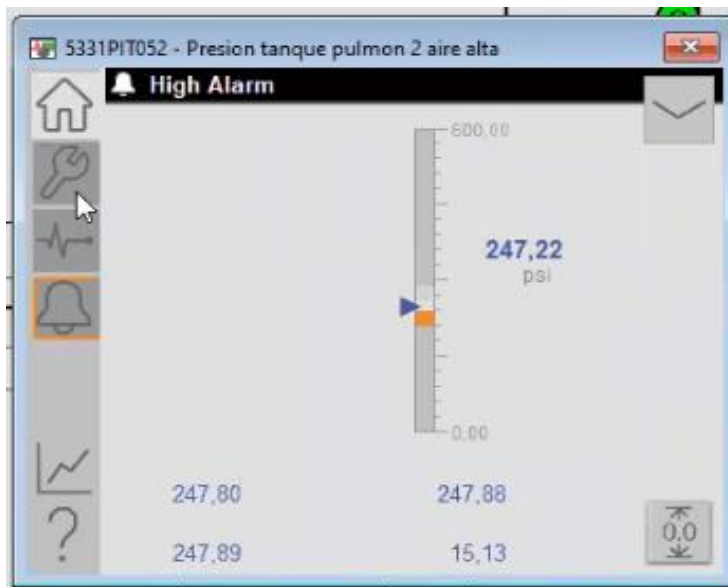


Elaboración propia

En la figura 41 se puede ver las alarmas de la compresora 1 cuando haya una anomalía.

Figura 42

Pantalla de presión del tanque (FACEPLATE 6)

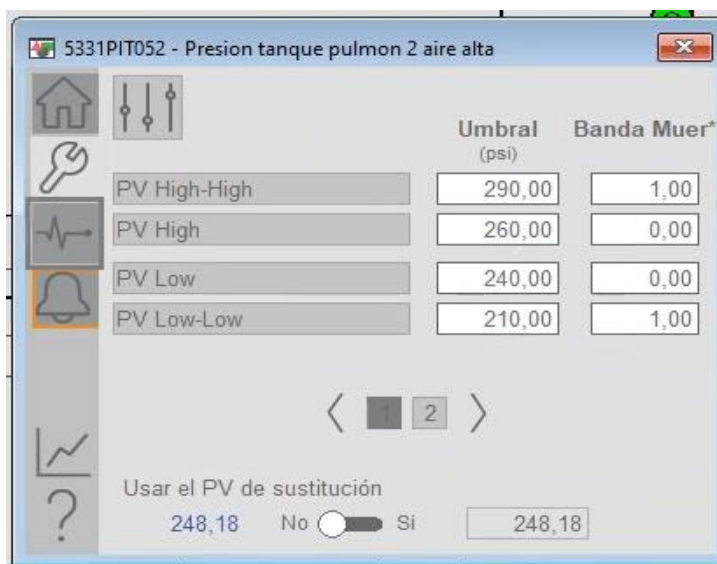


Elaboración propia

En la figura 42 se puede ver a más detalle la presión del tanque.

Figura 43

Pantalla de configuración de presión (FACEPLATE 7)



Elaboración propia

En la figura 43 se puede configurar los límites de presión para el tanque para este proyecto se configura que el límite alto será de “260Psi” y el límite bajo “240Psi”.

Descripción del programa SCADA

En la tabla 8 se muestra a detalle los estados y funciones de las imágenes de SCADA.

Tabla 8

Descripción de los FACEPLATES para el SCADA

GRAFICO	DESCRIPCIÓN
FACEPLATE 1	
	Estado color verde: la compresora está operando o en marcha.
	Estado color gris: la compresora está detenido
	Indicador que nos permite ver la presión del tanque pulmón.
	Este botón nos permite ocultar las alarmas.
	Este indicador nos muestra la corriente: Real: corriente que está operando la compresora. Nominal: corriente nominal de la compresora.

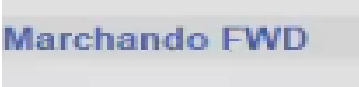
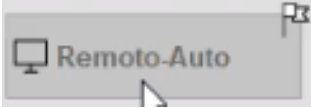
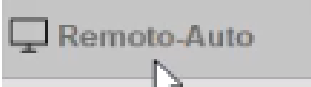


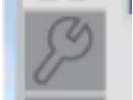


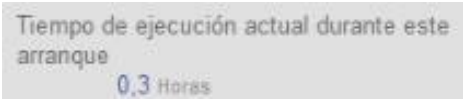



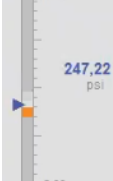
GRAFICO	DESCRIPCIÓN
FACEPLATE 2	
	Indicador de la compresora que esté operando.
	Cuando esta con el símbolo de la bandera está en modo programador, es decir (AUTOMÁTICO).
	Cuando esta sin el símbolo de la bandera está en modo operador, es decir (Manual).
	Botonera para el arranque de la compresora en modo MANUAL.
	Botonera para la parada de la compresora en modo MANUAL.
FACEPLATE 3	
	Botonera para abrir la configuración de la compresora.
	Esta opción permite habilitar el estado “STANDBY”.
	Esta botonera nos permite acceder al tiempo de operación del motor.
FACEPLATE 4	
	Este indicador nos dirá el tiempo actual que está trabajando la compresora.
	Este indicador nos dirá el tiempo máximo que se quedó prendido la compresora.

GRAFICO	DESCRIPCIÓN			
	<p>Este indicador nos dirá el tiempo acumulado que ha trabajado la compresora.</p>			
	<p>Este indicador nos dirá el número de veces que encendió la compresora.</p>			
FACEPLATE 5				
<input type="checkbox"/> Dispositivo fuera de Serv	<p>Esta alarma se activa cuando el equipo está fuera de servicio.</p>			
<input type="checkbox"/> Error de Config	<p>Esta alarma se activa cuando hay un error en la configuración del UMC.</p>			
<input type="checkbox"/> Interlock Dispositivo no OK	<p>Se activa esta alarma cuando un INTERLOCK esta activado.</p>			
<input type="checkbox"/> Fallo I/O *	<p>Se activa esta alarma cuando no hay comunicación.</p>			
FACEPLATE 6				
	<p>Indicador de la presión.</p>			
FACEPLATE 7				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">PV High-High</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">290,00</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">1,00</td> </tr> </table>	PV High-High	290,00	1,00	<p>Configuración para presión muy alto.</p>
PV High-High	290,00	1,00		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">PV High</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">260,00</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>	PV High	260,00	0,00	<p>Configuración para presión alto.</p>
PV High	260,00	0,00		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">PV Low</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">240,00</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>	PV Low	240,00	0,00	<p>Configuración para presión bajo.</p>
PV Low	240,00	0,00		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">PV Low-Low</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">210,00</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">1,00</td> </tr> </table>	PV Low-Low	210,00	1,00	<p>Configuración para presión muy bajo.</p>
PV Low-Low	210,00	1,00		

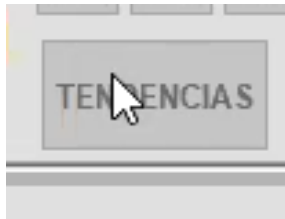
Elaboración propia

3.5.3 Pantalla de tendencias

En la pantalla de tendencias los operadores encargados tienen la posibilidad de ver el registro de datos de las variables de proceso, esto les permite observar el comportamiento histórico de las compresoras de campo a través de las tendencias. Para acceder a la pantalla de tendencias, el operador solo necesita hacer click en el icono como se aprecia en la figura 44, el cual corresponde a la barra superior de la aplicación SCADA, lo que posteriormente abrirá la siguiente pantalla.

Figura 44

Icono de tendencias



Elaboración propia

Funciones de la pantalla de tendencias

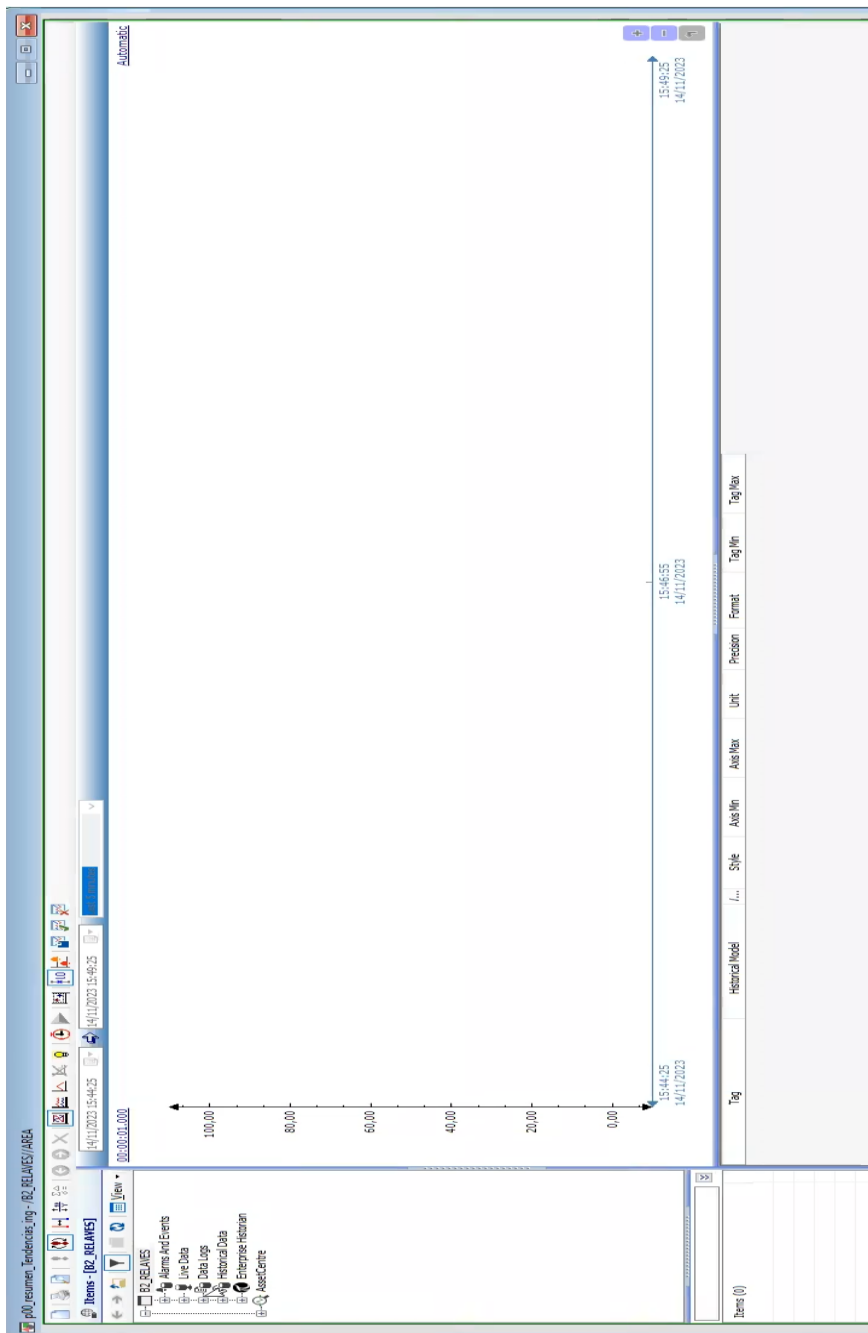
- **Monitoreo histórico:** Las tendencias permiten visualizar el comportamiento histórico de las compresoras a lo largo del tiempo.
- **Análisis de datos:** Las tendencias proporcionan una representación gráfica del funcionamiento del proceso, lo que facilita el análisis y la interpretación de los datos.
- **Detección de eventos anómalos:** Al observar las tendencias, los operadores pueden identificar eventos anómalos o comportamientos inusuales en las variables de proceso.

- Seguimiento de alarmas y eventos: Las tendencias pueden mostrar las alarmas y eventos que se han activado en el sistema.

En la figura 45 se muestra la interfaz de la pantalla de tendencias.

Figura 45

Pantalla de tendencias



Elaboración propia

3.5.4 Descarga al sistema SCADA

Durante esta etapa, se pone en funcionamiento el sistema SCADA, para permitir que el personal de operaciones asuma el control de la planta, es así que desde la planta se visualiza el estado de los equipos, las alarmas de proceso y los diagnósticos de fallas. Además, se puede realizar cualquier operación manual en los equipos integrados, en la figura 46 se muestra la descarga del sistema SCADA.

Figura 46

Fotos del sistema SCADA descargado al PC del operador



Elaboración propia

La figura 46 muestran la pantalla del sistema SCADA, listo y operativo para el control y monitoreo del proceso.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el correcto análisis estadístico de los resultados, se realizó por medio de la prueba de normalidad: La cual se usa para determinar si los datos tienen una distribución normal, en una investigación determinar la normalidad es fundamental, ya que de su



resultado depende si la prueba de hipótesis se hace con una estadística paramétrica o no paramétrica; con dicha información, consiguientemente se logró determinar que, la hipótesis específica 1 y la hipótesis general con el análisis de normalidad por medio de la prueba de Shapiro Wilk se demostró que la distribución es normal, es así que es una prueba paramétrica, por lo que se procede a usar la prueba T para muestras independientes de los resultados. Con respecto a la hipótesis específica 2 se aplicó la prueba de normalidad por medio de la prueba Shapiro Wilk, donde se demostró que sus datos no siguen una distribución normal, por lo que se procede a usar pruebas no paramétricas como la prueba U-man, y Wilcoxon.

Datos que se usaron para la interpretación de resultados son los siguientes:

3.6.1 Datos para la hipótesis general:

De 10 pruebas con sistema automatizado se obtuvo 1 prueba de 0 a 25% (20%) de aumento de monitoreo y seguridad, de 3 pruebas de 25 a 50% (23%, 37%, 43%) de aumento de monitoreo y seguridad, de 6 pruebas se obtuvo de 50 a 100% (55%, 55%, 56%, 55%, 58% y 58%) de aumento de monitoreo y seguridad, en comparación al sistema automatizado que de 10 pruebas se obtuvieron todas de entre 0 a 25% (10%, 11%, 10%, 13%, 12%, 13%, 11%, 11%, 11%, 12%) de aumento de monitoreo y seguridad.

3.6.2 Datos para la hipótesis específica 1:

Desde junio a diciembre de 2023 (junio = 7.3%, julio = 7.5%, agosto = 7.5%, setiembre = 8%, octubre = 8.5%, noviembre = 8.6%, diciembre = 8.6%) con la implementación del sistema automatizado se aumentó en un 56% la productividad gracias a los beneficios (monitoreo constante de las compresoras, patrones de turno rotativo de funcionamiento de las compresoras e historial de



trabajo de las compresoras), en comparación a los meses de enero a junio (enero = 1.8%, febrero = 1.9%, marzo = 1.9%, abril = 2.1%, mayo = 1.9%, junio = 1.8%), en donde sin la implementación del sistema automatizado solo se lograba un 11.4%

3.6.3 Datos para la hipótesis específica 2:

Desde el mes de enero del 2021 hasta mayo del 2022 sin un sistema automatizado se tenía pérdidas de \$30,688, pero con la implementación del sistema automatizado en el resto del año (junio = 1,443.58, julio = 0, agosto = 0, setiembre = 1,443.58, octubre = 0, noviembre = \$2,884.49, diciembre = \$0) se logró disminuir la pérdida a \$5,771.65, es decir un 33.5%



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

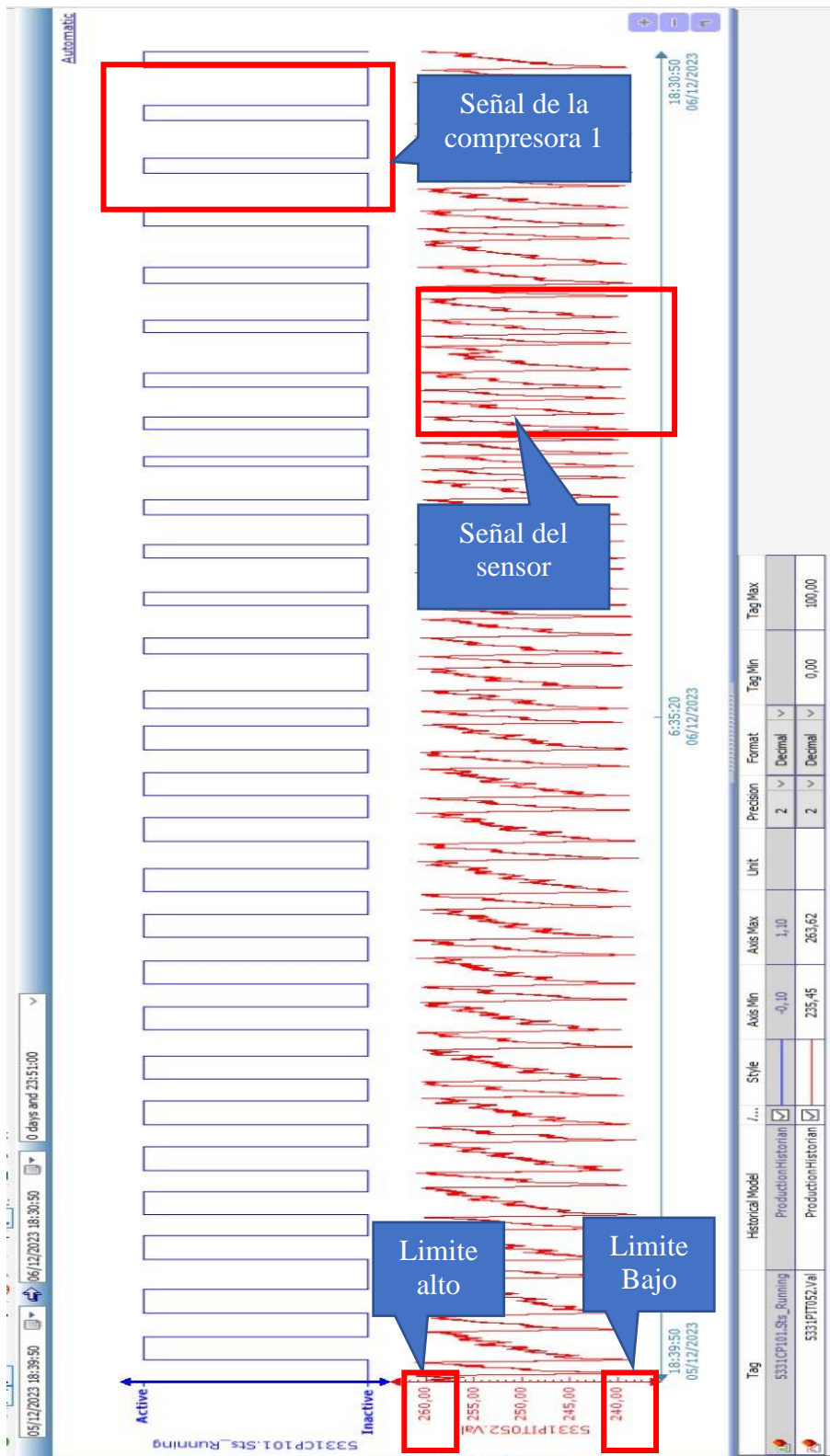
En este capítulo se muestra los resultados del sistema automatizado de protección y monitoreo de las compresoras.

4.1.1 Tendencias del funcionamiento de las compresoras

En la figura 47 se observa la tendencia del funcionamiento de la Compresora 1, la cual está vinculada al sensor de presión (PIT). Cuando el sensor de presión alcanza el límite bajo, la compresora cambia de un estado "0" a un estado "1", y cuando el sensor presión alcanza el límite alto, la compresora retorna de un estado "1" a un estado "0". Esta representación gráfica ofrece una visualización clara de cómo la compresora responde a los cambios de estado del sensor, lo que facilita la comprensión de su funcionamiento y comportamiento.

Figura 47

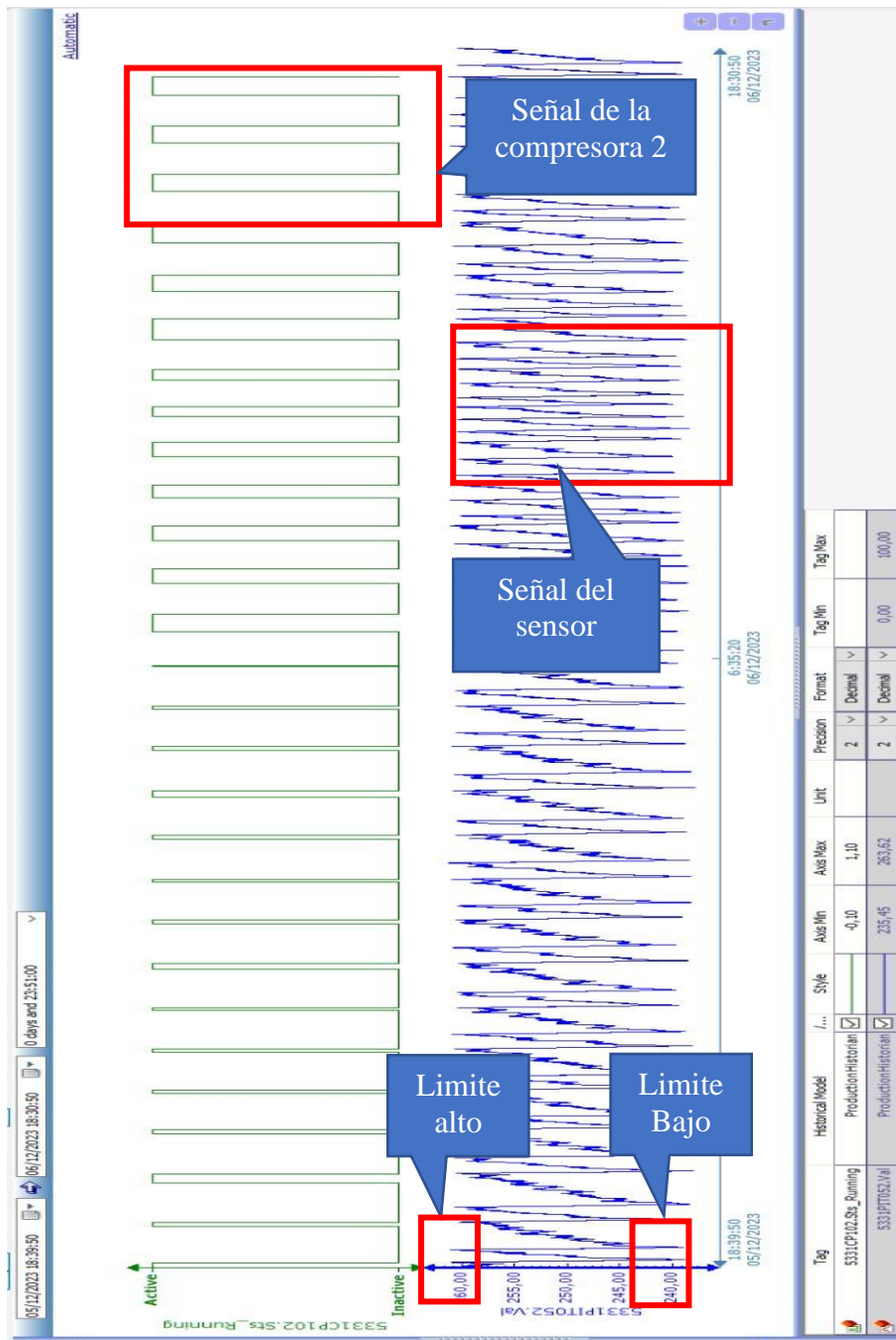
Funcionamiento de la compresora 1



Elaboración propia

Figura 48

Funcionamiento de la compresora 2



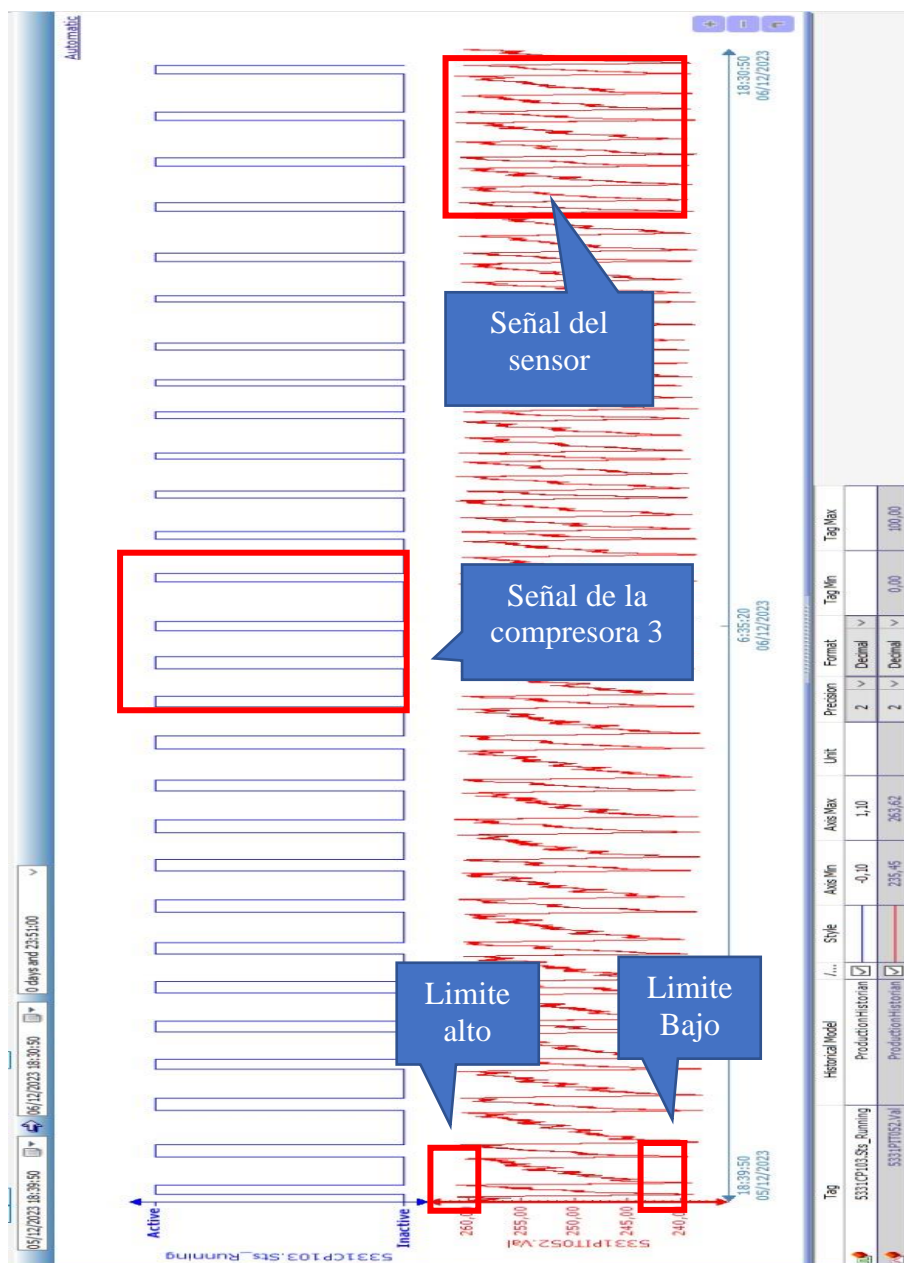
Elaboración propia

En la figura 48 se observa el funcionamiento de la Compresora 2, que opera con el mismo sensor de presión que la Compresora 1; sin embargo, se enciende en un momento diferente debido a una limitación que impide que más de dos compresoras se activen simultáneamente. Similar al caso anterior, cuando

el sensor de presión alcanza el límite bajo, la compresora pasa del estado "0" al estado "1", y al llegar al límite alto, vuelve del estado "1" al estado "0", esta visualización complementa la información mencionada anteriormente, destacando cómo las compresoras responden a los cambios del sensor y cómo se gestionan las activaciones para cumplir con las restricciones del sistema.

Figura 49

Funcionamiento de la compresora 3

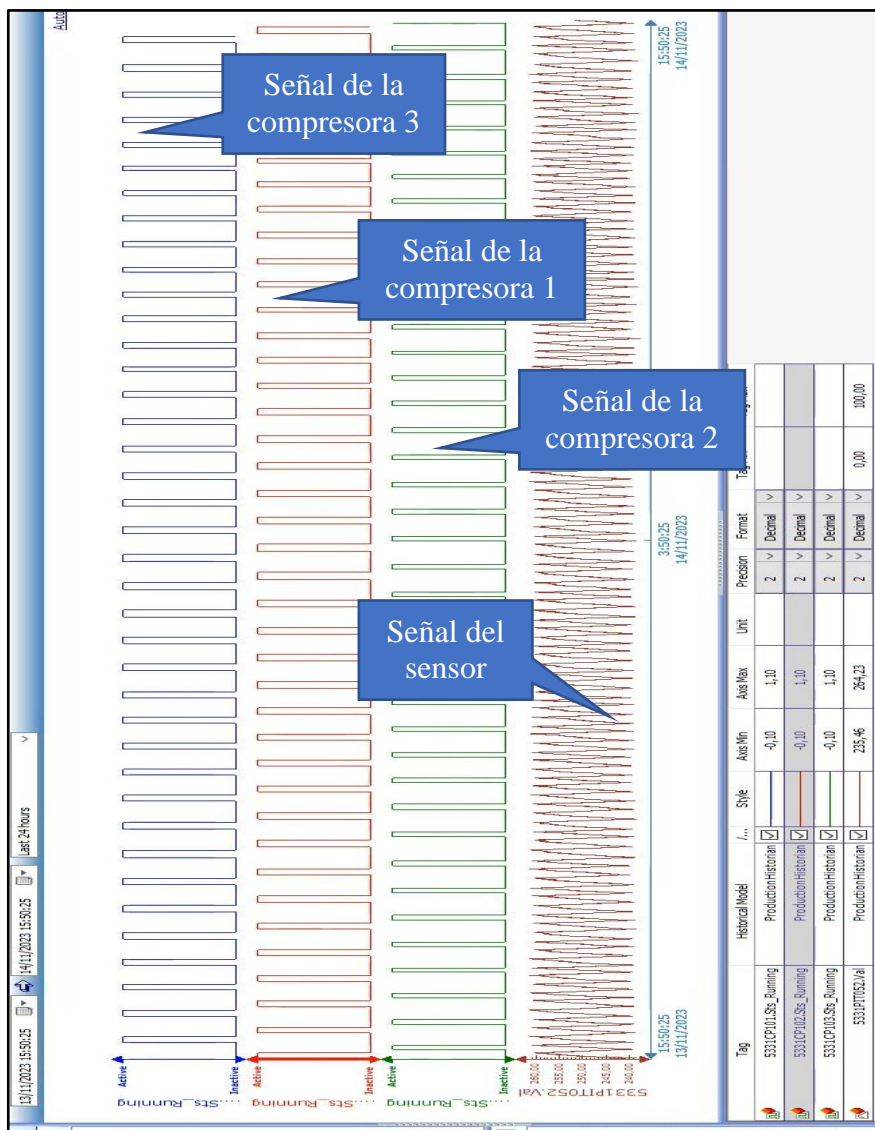


Elaboración propia

En la figura 49 se puede observar el funcionamiento de la compresora 3 que trabaja con el mismo sensor de presión, pero prende en un tiempo diferente a la compresora 1 y 2 ya que está condicionado de no prender más de 2 compresoras al mismo tiempo, cuando el sensor de presión llega al “límite bajo” la compresora pasa de estado “0” a “1” y cuando llega al “límite alto”, la compresora cambia de estado de “1” a “0”.

Figura 50

Comportamiento secuencial de las 3 compresoras



Elaboración propia



En la figura 50 se muestra el funcionamiento secuencial de las tres compresoras. La Compresora 1, al igual que las Compresoras 2 y 3, opera con el mismo sensor de presión la activación de cada compresora ocurre en un momento diferente. Este esquema de funcionamiento rotativo garantiza su equilibrio en la carga y evita sobrecargas.

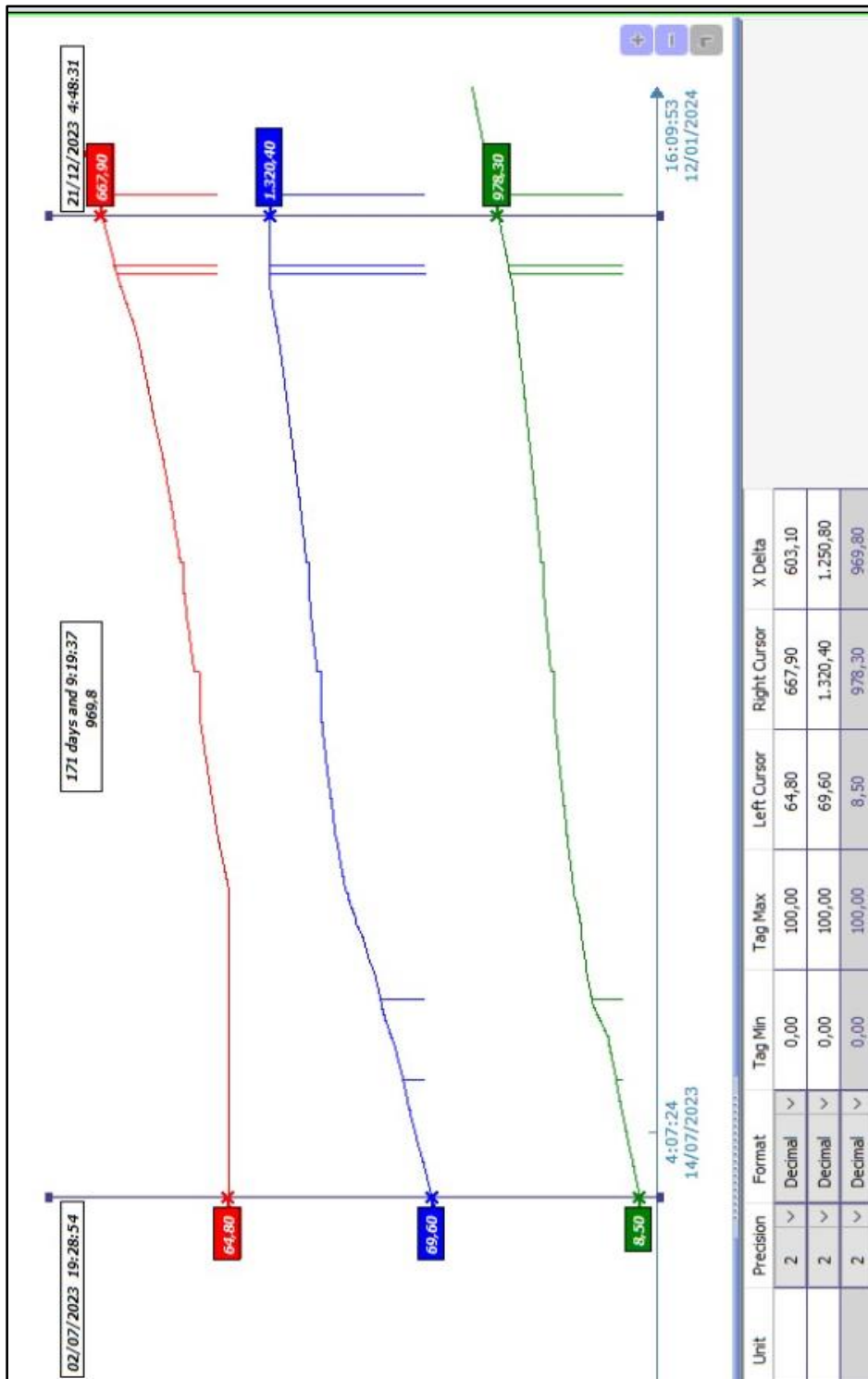
4.1.2 Historial del funcionamiento de las compresoras

En la figura 51 se muestra el historial acumulado del tiempo de funcionamiento de las tres compresoras del 2 de julio del 2023 hasta el 1 de diciembre del 2023, que son 171 días. La Compresora 1 ha trabajado durante un total de 667 horas, la Compresora 2 ha acumulado 1320 horas de funcionamiento, mientras que la Compresora 3 registra un total de 978 horas de trabajo.

Este registro proporciona una visión clara de la carga operativa de cada compresora, lo que es útil para planificar el mantenimiento preventivo, evaluar el rendimiento histórico y distribuir equitativamente la carga de trabajo entre las unidades.

Figura 51

Historial de las compresoras



Elaboración propia

4.1.3 Funcionamiento de compresoras sin automatización o de forma manual

En la tabla 9, se presenta datos del funcionamiento de las compresoras de aire sin implementación, para la siguiente prueba de obtención de datos se realizó en un día cualquiera de la unidad, gráficamente estos datos se pueden observar en la figura 52.

Tabla 9

Funcionamiento de las compresoras sin automatización

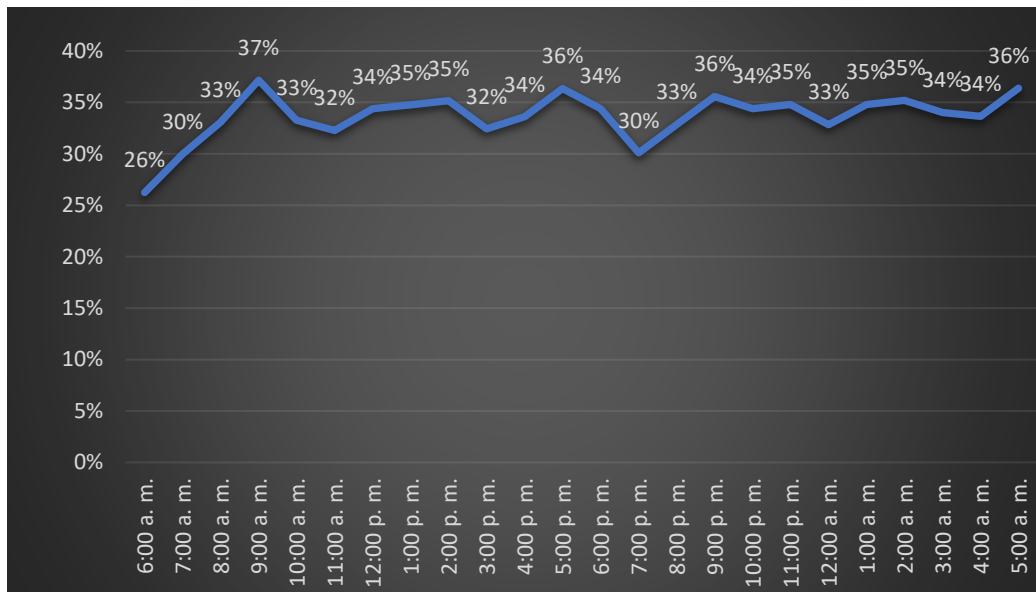
PROMEDIO DE LAS COMPRESORAS	
Hora	Promedio de encendido
6:00 a. m.	26%
7:00 a. m.	30%
8:00 a. m.	33%
9:00 a. m.	37%
10:00 a. m.	33%
11:00 a. m.	32%
12:00 p. m.	34%
1:00 p. m.	35%
2:00 p. m.	35%
3:00 p. m.	32%
4:00 p. m.	34%
5:00 p. m.	36%
6:00 p. m.	34%
7:00 p. m.	30%
8:00 p. m.	33%
9:00 p. m.	36%
10:00 p. m.	34%
11:00 p. m.	35%
12:00 a. m.	33%
1:00 a. m.	35%
2:00 a. m.	35%
3:00 a. m.	34%
4:00 a. m.	34%
5:00 a. m.	36%

Elaboración propia

Al examinar la tabla 9 y la figura 52, se evidencian disparidades significativas en los porcentajes de funcionamiento diario. Las pruebas realizadas sin el empleo de automatización revelan un rango de porcentaje de encendido que oscila entre el 25% y el 40%.

Figura 52

Grafica de funcionamiento de compresoras sin automatización



Elaboración propia

4.1.4 Funcionamiento de compresoras con automatización

Consiguientemente, en la tabla 10 se presenta datos del funcionamiento de la compresora de aire implementado junto al sistema automatizado, estos datos fueron obtenidos y recopilados de un día al azar. Así también, se pueden observar estos datos en la figura 53.



Tabla 10

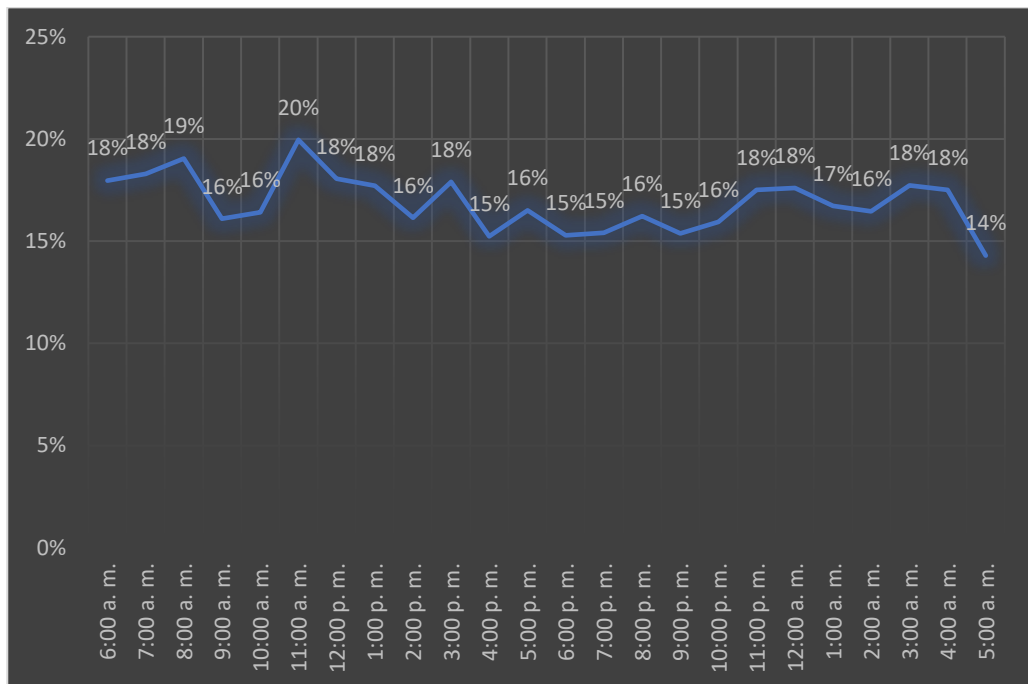
Funcionamiento de las compresoras con automatización

PROMEDIO DE LAS COMPRESORAS	
Hora	Promedio de encendido
6:00 a. m.	18%
7:00 a. m.	18%
8:00 a. m.	19%
9:00 a. m.	16%
10:00 a. m.	16%
11:00 a. m.	20%
12:00 p. m.	18%
1:00 p. m.	18%
2:00 p. m.	16%
3:00 p. m.	18%
4:00 p. m.	15%
5:00 p. m.	16%
6:00 p. m.	15%
7:00 p. m.	15%
8:00 p. m.	16%
9:00 p. m.	15%
10:00 p. m.	16%
11:00 p. m.	18%
12:00 a. m.	18%
1:00 a. m.	17%
2:00 a. m.	16%
3:00 a. m.	18%
4:00 a. m.	18%
5:00 a. m.	14%

Elaboración propia

Figura 53

Grafica de funcionamiento con automatización



Elaboración propia

Al incorporar la automatización, tal como se observa en la tabla 10 y la imagen 53 los porcentajes de funcionamiento se sitúan en un intervalo más bajo, específicamente entre el 15% y el 20%.

Al no contar con la automatización en las compresoras, no se nos permitía tener una distribución de horarios de funcionamiento para las 3 compresoras

La automatización permite una programación más eficiente y una distribución equitativa de la carga de trabajo entre las compresoras, lo que puede contribuir a un funcionamiento más equilibrado en cuanto al uso de recursos.

Esta diferencia contribuye a un rendimiento óptimo en comparación con las pruebas que no emplean este proceso automatizado. La reducción en los porcentajes de funcionamiento al utilizar la automatización indica una mayor



estabilidad en el desempeño diario de las compresoras, lo que beneficioso en términos de eficiencia operativa y la prolongación de la vida útil de los equipos.

4.2 PRUEBAS DE HIPÓTESIS

En este apartado, se aborda el proceso de verificación o refutación de afirmaciones basadas en suposiciones o teorías previas mediante métodos estadísticos rigurosos.

4.2.1 Análisis de las hipótesis específicas

Ibañez (2019) señala que “La hipótesis nula (H_0) es una hipótesis que el investigador trata de refutar, rechazar o anular”, optando la idea del autor, se plantea las siguientes H_0 :

4.2.1.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis Nula (H_0):

La implementación del sistema SCADA mediante la tecnología Rockwell no es beneficiosa; por medio del sistema, las compresoras de aire no obtienen los siguientes beneficios: a) monitoreo constante de las compresoras, b) patrones de turnos rotativos del funcionamiento de las compresoras, c) historial de trabajo de las compresoras.

Hipótesis Alterna (H_a):

La implementación del sistema SCADA mediante la tecnología Rockwell tiene un mayor beneficio; por medio del sistema, las compresoras de aire obtienen los siguientes beneficios: a) monitoreo constante de las compresoras, b) patrones de turnos rotativos del funcionamiento de las compresoras, c) historial de trabajo de las compresoras.

Así también, Sucasaire (2022, p. 143) señala que “La selección del método estadístico para la investigación depende de los objetivos y estos deben denotar claramente si se hará uso de una estimación de parámetro o una prueba de hipótesis”, conforme a lo señalado por el autor y los objetivos planteados en la presente investigación, se optó por la prueba de hipótesis. Es por ello que para las pruebas de hipótesis se hace uso del SPSS.

Prueba de Hipótesis:

Sucasaire (2020, p.36) precisa que “es una regla que permite aceptar o rechazar una hipótesis planteada con base en la observación de los resultados y el análisis estadístico. La prueba de hipótesis es un paso importante en el desarrollo de las investigaciones de enfoque cuantitativo”.

Tabla 11

Prueba de Normalidad

		Shapiro-Wilk		
	Utilización de sistema automatizado	Estadístico	gl	Sig.
Productividad	Con sistema automatizado	,810	6	,072
	Sin sistema automatizado	,814	6	,078

Elaboración propia

En la tabla 11, se puede ver que la significancia cuyos valores son mayores a 0.05, por consiguiente y de acuerdo a la regla de decisión, se demostró que sus datos siguen una distribución normal. Se procederá al análisis la prueba estadística T para muestras independientes.



Regla de decisión: Prueba de hipótesis

$$H_0: \mu_a \geq \mu_b$$

$$H_a: \mu_a < \mu_b$$

Donde:

μ_a : Media del aumento en la productividad en porcentaje sin sistema automatizado

μ_b : Media del aumento en la productividad en porcentaje con sistema automatizado

Tabla 12

Estadística de grupos

	Utilización de sistema automatizado	N	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Productividad	Con sistema automatizado	6	8,12	0,53	0,22
	Sin sistema automatizado	6	1,90	0,11	0,04

Elaboración propia

Tabla 13

Prueba T para muestras independientes

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Se asumen varianzas iguales	21,33	,001	28,29	10	,000	6,22	,22
Productividad			28,29	5,43	,000	6,22	,22
No se asumen varianzas iguales			3	1			

Elaboración propia

Interpretando la Tabla 13, se presenta los resultados de la prueba t para muestras independientes, que evalúa si hay una diferencia significativa entre las medias del aumento de la productividad de los dos grupos. La prueba de Levene indica que las varianzas no son iguales, lo cual es importante para la interpretación de la prueba t, además, se obtiene una significancia menor a 0.01 (p valor = 0.000) lo cual sugiere que la productividad es estadísticamente mayor en las compresoras con sistema SCADA. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa, respaldando la afirmación de que la implementación del sistema SCADA contribuye significativamente a un aumento en la productividad en comparación con las compresoras sin este sistema.

4.2.1.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis Nula (H_0):

La implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras tiene un impacto económico negativo. Se presentan pérdidas económicas significativas para la UMSR. Anteriormente, se registraban pérdidas anuales de aproximadamente 30.000 US\$, con la implementación del SCADA, se esperaba reducir estas pérdidas a menos de 6000 US\$ al año, la cual no se logró cumplir ya que la pérdida se ha mantenido. Estas cifras demuestran que no hubo cambio con el antes y después de la puesta en marcha del sistema, lo que refleja que no hay beneficios económicos.

Hipótesis Alterna (H_a):

La implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras tiene un impacto económico altamente positivo. Se espera evitar pérdidas económicas significativas para la UMSR. Anteriormente, se registraban pérdidas anuales de aproximadamente 30.000 US\$, pero con la implementación del SCADA, se espera reducir estas pérdidas a menos de 6000 US\$ al año. Estas cifras demuestran un cambio considerable antes y después de la puesta en marcha del sistema, lo que refleja los beneficios económicos que se obtienen.

Regla de decisión: Normalidad

Si $p \text{ valor} \leq 0.05$, los datos de la serie no siguen una distribución normal.

Si $p \text{ valor} > 0.05$, los datos de la serie siguen una distribución normal.

Tabla 14

Prueba de normalidad

	Utilización de sistema automatizado	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Pérdidas en dólares	Con sistema automatizado	,552	5	,000
	Sin sistema automatizado	,769	7	,020

Elaboración propia

En la tabla 14, se puede ver que las significancias en ambos grupos tienen valores menores a 0.05, por consiguiente y de acuerdo a la regla de decisión, se demostró que sus datos no siguen una distribución normal. Se procederá al análisis la prueba estadística U Mann Whitney

Regla de decisión: Prueba de hipótesis

Ho: MedA \geq MedB

Ha: MedA $<$ MedB

Donde:

MedA: Mediana de la pérdida en dólares en compresoras con sistema automatizado

MedB: Mediana de la pérdida en dólares en compresoras sin sistema automatizado

Prueba de hipótesis:

Sucasaire (2022, p. 142) señala que “Otro aspecto a considerar son las pruebas estadísticas que se usan comúnmente ... Entre estas pruebas tenemos dos grandes grupos: Las pruebas paramétricas ... y las pruebas no paramétricas o de distribución libre, que no requiere la verificación de las condiciones anteriores”, dentro de estas pruebas no paramétricas encontramos ji cuadrado, de friendman, U de Mann-Whitney, de Wilcoxon, entre otros, optando estas dos últimos por el objetivo perseguido en base a las muestras dependientes y comparar el rango medio de estas obteniendo sus diferencias.

Tabla 15

Estadística de grupos

	Pérdidas en dólares
U de Mann-Whitney	15,00
Prueba de Wilcoxon	30,00
Z	-,484
Sig. asintótica(bilateral)	,001

Elaboración propia

Obteniendo los resultados de la tabla 15 mediante la prueba U de Mann-Whitney revelaron un valor de estadística W de Wilcoxon de 30,00 y un valor Z de -0,484, con una significancia asintótica bilateral de 0,001. Con estos hallazgos se interpretan evidencias estadísticas significativas para rechazar la hipótesis nula ($p\text{-valor} = 0.001 < 0.01$) en favor de la hipótesis alternativa (H_a), que sugiere un impacto económico altamente positivo de la implementación del sistema SCADA en las compresoras. La interpretación de la hipótesis alternativa detallada refuerza esta conclusión al destacar la expectativa de reducir las pérdidas anuales a menos de 6,000 USS después de la implementación del SCADA, lo cual representa un cambio considerable y respalda los beneficios económicos



derivados de la adopción de dicho sistema. Estos resultados ofrecen un respaldo cuantitativo a la afirmación de que la implementación del sistema SCADA tiene un impacto significativo en la reducción de pérdidas económicas para la Unidad Minera San Rafael.

4.2.2 Análisis de la hipótesis general

Hipótesis Nula (H_0):

El diseño e implementación de un sistema automatizado de protección y monitoreo de compresoras con el UMC – Rockwell en la unidad minera san Rafael, no contribuye al monitoreo en tiempo real de las compresoras lo que a su vez no permite la capacidad de respuesta inmediata ante situaciones críticas que se presentan.

Hipótesis Alterna (H_a):

El diseño e implementación de un sistema automatizado de protección y monitoreo de compresoras con el UMC – Rockwell en la Unidad Minera San Rafael, permite un mayor monitoreo en tiempo real de las compresoras lo que a su vez permite la capacidad de respuesta inmediata ante situaciones críticas que se presentan.

Con el fin de poder contrastar la hipótesis general, lo primero que se hará es determinar si las mediciones tanto con el sistema automatizado y sin ella tienen un comportamiento paramétrico, de tal manera que se observa que las series de ambos tienen datos que son menores a 30 ($n_1 = 10$; $n_2 = 10$), lo cual se procederá a realizar el análisis de normalidad mediante el estadístico de Shapiro Wilk.

Regla de decisión: Normalidad

Si $p \text{ valor} \leq 0.05$, los datos de la serie no siguen una distribución normal.

Si $p \text{ valor} > 0.05$, los datos de la serie siguen una distribución normal.

Tabla 16

Prueba de normalidad

	Utilización de sistema automatizado	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Mediciones de aumento de rendimiento	Con sistema automatizado	,784	10	,119
	Sin sistema automatizado	,892	10	,177

Elaboración propia

En la tabla 16, se puede ver que la significancia cuyos valores son mayores a 0.05, por consiguiente y de acuerdo a la regla de decisión, se demostró que sus datos siguen una distribución normal. Se procederá al análisis la prueba estadística T para muestras independientes.

Regla de decisión: Prueba de hipótesis

$H_0: \mu_a \geq \mu_b$

$H_a: \mu_a < \mu_b$

Donde:

μ_a : Media del aumento del rendimiento en monitoreo y seguridad sin sistema automatizado

μ_b : Media del aumento del rendimiento en monitoreo y seguridad con sistema automatizado

Tabla 17

Estadística de grupos

	Utilización de sistema automatizado	N	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Mediciones de aumento de rendimiento	Con sistema automatizado	10	46,00	14,63	4,63
	Sin sistema automatizado	10	11,40	1,08	,34

Elaboración propia

Conforme a lo señalado en la prueba de hipótesis específica 1 y a los objetivos perseguidos por la hipótesis general, se continuará con los mismos procedimientos. Teniendo así, la prueba t a continuación:

Tabla 18

Prueba T para muestras independientes

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Se asumen varianzas iguales	26,196	,000	7,459	18	,000	34,600	4,638
No se asumen varianzas iguales			7,459	9,097	,000	34,600	4,638

Elaboración propia

La interpretación de la Tabla 18, que incluye pruebas estadísticas para muestras independientes, indica diferencias significativas en las medias de los dos grupos ($p\text{-valor} = 0.000 < 0.01$). Aceptando la hipótesis alternativa, que sugiere



un mayor beneficio con la implementación del sistema automatizado (46%), se ve respaldada por los resultados estadísticos, reforzando la importancia de la monitorización constante, patrones de turnos rotativos y el historial de trabajo proporcionados por el sistema automatizado para la operación eficiente de las compresoras. Estos hallazgos respaldan la utilidad y eficacia de la tecnología Rockwell en el contexto de compresoras, abogando por su adopción para mejorar el rendimiento y la operatividad en aplicaciones similares.

4.3 RESULTADOS

De conformidad con las hipótesis específicas, se tiene que, en base a la comparación de hipótesis (primera hipótesis) que sí existen mayores beneficios al implementarse el sistema SCADA mediante la tecnológica Rockwell en comparación a la hipótesis nula, la cual se refuto completamente, esto quedó demostrado con los resultados de la tabla 11, datos las cuales se interpretaron en que gracias a los beneficios, sí existe un aumento de productividad mayor real de 8.12% (datos recopilados y procesados del anexo 12), teniendo esto en cuenta y el margen de error de 0.01 o 1%, este último comprobado por la prueba de T (Tabla 12).

Acorde a la segunda hipótesis específica se demuestra que si hay un impacto económico altamente positivo (44.5%) al implementarse el sistema SCADA en comparación a la hipótesis nula, planteada para la misma, la cual se refuto completamente, esto quedó demostrado con los resultados del anexo 13, datos las cuales se interpretaron y se concluyó en que sí hay una reducción de pérdidas aproximadas de menos de \$6,000.00, teniendo esto en cuenta y el margen de error de 0.01 o 1% podemos recalcar que se refuta totalmente la hipótesis nula de esta; y a su vez respalda la aplicación del sistema.



Por último, en comparación de la hipótesis general alternativa con la hipótesis general nula se demuestra que, con el diseño e implementación del sistema automatizado implementado a las compresoras, hay un mayor monitoreo y protección en tiempo real, permitiendo respuestas inmediatas ante situaciones críticas, esto queda demostrado con los datos interpretados del anexo 14 (46% de mayor efectividad) en comparación al no implementarse el sistema automatizado con el que solo se tenía (11.4% de efectividad), así también queda respaldada por la tabla 08 que cumple con el margen de error de 1% o 0.01.

Con lo que se concluye que, el presente sistema cumple con los objetivos e hipótesis planteadas; se comprueba la contribución de monitoreo y protección, los beneficios que ofrece el SCADA, la reducción de pérdidas económicas.

4.4 DISCUSIÓN

Conforme al objetivo general de la investigación de “demostrar que el diseño e implementación de la automatización contribuye a la protección y monitoreo de compresoras con UMC 100.3 – Rockwell en la Unidad Minera San Rafael, Antauta – Región Puno”, este varía dependiendo del área, industria y de la maquinaria con la que se trabaja o trabajará, en nuestro caso su aplicación es en la industria minera y trabaja de la mano con compresoras de aire, que son las encargadas de la operatividad de las Falcon, es así que no hay similitud total, sino parcial en cuanto a la investigación de Rodríguez (2019), así también no hay similitud total respecto a los materiales – componentes que utiliza el autor en mención, en comparación a la presente.

Conforme al primer objetivo específico de “demostrar los beneficios del sistema SCADA mediante la tecnología Rockwell, su implementación en el funcionamiento de las compresoras de aire en la UMSR”, el sistema SCADA con relación a la investigación



de Rodríguez (2019), se desarrolla en base a la adquisición, supervisión y control de datos al igual que el de nosotros, pero con la diferencia de los beneficios debido al área de aplicación. Por ello se puede señalar los siguientes:

BENEFICIOS RELEVANTES EN LAS COMPRESORAS:

Monitoreo constante de compresoras

Patrones de turnos rotativos del funcionamiento de las compresoras

Historial de trabajo de las compresoras

BENEFICIOS RELEVANTES A LOS RESERVORIOS DE AGUA:

Almacenamiento y conservación adecuada del agua sin desperdicio

Sensores límites de llenado de los reservorios

Control de presión en el reservorio

Así mismo, el segundo objetivo específico de “determinar el impacto económico que tiene la implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras de aire y las falcon en la UMSR” se tiene que, nuestro trabajo de investigación se enfoca en determinar el impacto económico en comparación a la de Rodríguez que no tiene como objetivo esta misma, por ello se concluye en no tener coincidencias. Por último, considero que ambos trabajos tienen igual relevancia para la industria, ya que ambos tienen aportes significativos para el área en donde se desarrollan.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: Se demostró que el diseño e implementación de la automatización si contribuye a la protección, así como al monitoreo sobre las compresoras, específicamente se observa un 46% de mejora, ello a través de los controladores universales de motor (UMC 100.3), conjuntamente con la tecnología Rockwell (PLC).

SEGUNDO: Se demostró que mediante el sistema SCADA en cooperación con la tecnología Rockwell, se obtiene beneficios en relación al funcionamiento de las compresoras, siendo las más relevantes: monitoreo, patrones de turnos rotativos e historial de trabajo de las compresoras, asimismo se obtuvo un 8.12% de mayor productividad.

TERCERO: Se determinó que la implementación del sistema SCADA en relación a las compresoras y FALCON dentro de la UMSR, ha contribuido a reducir las pérdidas económicas, es así que en el transcurso del año 2023 hubo perdidas menores a 6.000 US\$ anuales (con sistema automatizado), en comparación al año 2022, que las perdidas ascendía al monto aproximado de 30.000 US\$ donde claramente se evidencia que no existía un sistema automatizado, cifras que se amparan en la comprobación de la prueba de hipótesis.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda a las empresas mineras de la región Puno tomar conocimiento sobre la implementación de nueva tecnología acorde a la industria y necesidades, en base a ello implementar sistemas automatizados para sus maquinarias, y así proteger tanto éstas como al personal a cargo de ellas; como lo viene realizando la UMSR.

SEGUNDO: Se recomienda capacitaciones constantes por parte de las empresas mineras, hacia el personal a cargo de la manipulación del sistema SCADA, con el fin de introducir y reforzar conocimientos en cuanto a los beneficios que proporciona la automatización.

TERCERO: Se recomienda el uso e implementación del sistema SCADA debido a la reducción de pérdidas monetarias que brinda, esto debido a su versatilidad para implementarse en diversas industrias.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (s.f.). UMC-100 controlador universal de motores. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/245008594/UMC100-Data-Tecnica-v2>
- Aguilar, N. (2022). *Modernización del centro de control de motores inteligentes en planta cementera*. Lima: Repositorio Institucional de la UTP.
- Alvarez, G. (2021). *Diseño y automatización de una máquina para el conformado*. Arequipa: Repositorio Institucional de la UNSA.
- Alvarez, J. (2020). *Cálculo y selección del centro de control de motores en baja tensión para sistema de tratamiento de efluentes por contaminantes orgánicos y bioquímico para Petroperú Lima*. Arequipa: Repositorio Institucional de la UNSA.
- Atlas Copco. (16 de marzo de 2023). *Air compressor electric motor key principles*. Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/wiki/compressed-air-articles/electric-motor>
- Aula Virtual Proyecto fin de carrera Ingeniería Química. (2018). *Aula Virtual Proyecto fin de carrera Ingeniería Química*. Obtenido de Diagramas de Bloques: <https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/diagramadabloques.html>
- aula21. (2021). *centro de formación técnica para la industria*. Obtenido de Automatización Industrial: Qué es y cómo funciona: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/#:~:text=Un%20sistema%20automatizado%20utiliza%20elementos,que%20ofrecen%20sus%20productos%20especializados>.
- Autexopen. (6 de Julio de 2022). *Autexopen*. Obtenido de Qué es un sistema SCADA? Información completa: <https://www.autex-open.com/automatizacion-industrial/que-es-un-sistema-scada-informacion-completa/>
- Basili, T. (2018). *Universal-motor-controller*. Obtenido de Github: <https://github.com/teo666/Universal-Motor-Controller>



- Bello, F. (2006). *Reflexión: La investigación tecnológica: o cuando la solución es el problema*. Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a6n13/6-13-3.pdf>
- Benedetti, A. (2020). *Palabras clave para el estudio de las fronteras*. Obtenido de <https://www.teseopress.com/palabrasclavefronteras/chapter/seguridad/#>:
- Blog Seas. (22 de agosto de 2019). *El Relé: para qué es, para qué sirve y qué tipos existen*. Obtenido de <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>
- Cables & Tecnología Boletín Técnico. (2010). *Cables para Instrumentación y control*. Obtenido de <https://centelsa.com/boletines/colombia/boletin-cables-para-instrumentacion-y-control.pdf>
- Castillo, L. (2022). Proyecto de control y monitoreo para un sistema de limpieza de gases de hornos afinos mediante tecnología de la marca Rockwell Automation. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12250>
- Dickson, R. (24 de enero de 2023). *FIRGELLI AUTOMATIONS*. Obtenido de ¿Cuál es la evolución y la historia de la automatización?: <https://www.firgelliauto.com/es/blogs/actuators/what-is-the-evolution-and-history-of-automation#:~:text=La%20evoluci%C3%B3n%20de%20la%20automatizaci%C3%B3n%20ha%20jugado%20un%20papel%20importante,m%C3%A1s%20frecuente%20en%20el%20futuro.>
- Digital Guide Ionos. (08 de diciembre de 2022). *¿Qué es ethernet (IEEE 802.3)?* Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>
- Enei. (2010). *Especificación Técnica: Celdas de media Tensión para subestaciones de potencia*. Obtenido de https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/E-SE-008_R-06.pdf
- Espinoza, B. (2019). Sistema automatizado para la identificación de defectos y la clasificación de baldosas cerámicas en la salida del horno. (*Tesis de*



Licenciatura). Universidad Tecnológica del Perú, Lima. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2525>

Fárfan Jiménez, J. A. (2020). LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO REDUCE LOS TIEMPOS DE ATENCIÓN EN LOS PROCESOS APLICABLES A LA VENTANILLA ÚNICA DE TURISMO EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CALLAO. *Industrial Data*, 23(2). doi:<https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.15566>

Fernández, A. (29 de mayo de 2023). *Definición de potencia mecánica. Rasgos, tipos y usos*. Obtenido de <https://definicion.com/potencia-mecanica/>

Fernández, D. (22 de Noviembre de 2020). *novedades automatización*. Obtenido de Las nuevas actualizaciones del software Studio 5000 de Rockwell Automation amplían las posibilidades de los proyectos de diseño: <https://novedadesautomatizacion.com/studio-5000-rockwell-automation/>

Fingermann, H. (23 de enero de 2013). *Concepto de protección*. Obtenido de <https://deconceptos.com/general/proteccion>

García Gutiérrez, L. A., & Villarreal López, E. (Junio de 2019). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA DE NIVEL DE SEGURIDAD BIOLÓGICA 3. *Umbral Científico*(14), 119-129. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415059011>

García, A. (2022). Desarrollo de un Sistema de Control Adaptativo en apoyo al funcionamiento de motores DC de 3HP en la Línea de producción de Cítricos de una Empresa agroindustrial de la ciudad de Ica, Perú. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Tecnológica del Perú, Lima. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7640/A.Garc%c3%ada_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

George, R., Gámez, Y., Matos, D., González, I., Labori, R., & Guevara, S. (2021). *Eficacia, efectividad, eficiencia y equidad en relación con la calidad en los servicios de salud*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/445/4452032014/4452032014.pdf>



- Gesser, R., Sartori, R., Damo, T., Vettorazzo, C., Becker, L., Lima, D., . . . Normey-Rico, J. (01 de 2022). *Advanced control applied to a gas compression system of an offshore platform: From modeling to related system infrastructure*. Obtenido de ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410521010731>
- González, D. (2011). *Centro de control de motores para proyecto de ampliación de tanques de almacenamiento de combustible*. México, D.F.: Repositorio Institucional de la Institución Politécnico Nacional.
- González, D. (2013). *UMC100-FBP presentación técnica*. Obtenido de <https://www.voltimum.com.co/sites/www.voltimum.com.co/files/pdflibrary/>
- Gonzales, G. (2019). *Implementación de relés programables en módulos de practica de controles eléctricos*. Guayaquil: Repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- González, A. (30 de marzo de 2018). *Centro de control de motores (CMM)*. Obtenido de <https://prezi.com/p/az35f-ltvrio/centro-de-control-de-motores-ccm/>
- Grupo Casa Lima. (s.f.). *Tableros de control de motores CCM: ¿Qué son?, ventajas, componentes*. Obtenido de <https://grupocasalima.com/blog/sistemacontraincendi/tableros-de-control-de-motores-ccm-que-son-ventajas-componentes/>
- Grupo Ferre – Max. (2021). *Tipo de Alicates: modelos y usos*. Obtenido de <https://distribuidortruper.mx/tipos-de-alicates-modelos-y-usos/#:~:text=Se%20emplea%20para%20cortar%20y,cuales%20s%C3%AD%20es%20posible%20sujetar.>
- GSL Industrias. (09 de julio de 2021). *Clemas de Paso*. Obtenido de https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/clemas_de_paso
- Hérrnandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN [Sexta edición]* (Sexta ed.). México: McGraw - HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.



- Hernandez, L. (16 de agosto de 2023). *Rendimiento*. Obtenido de <https://www.rankia.com/diccionario/bolsa/rendimiento>
- Hincapié, L., & Garavito, E. (2019). Caracterización de un Centro de Control de Motores “ccm” para Arranque con Rele Inteligente UMC (Universal Motor Controler) Considerando Niveles de Seguridad Sil para el Sector Oil and Gas. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22346/HIncapieLucas;jsessionid=261346B6FAA0433368177FD8631A890B?sequence=1>
- IES Bajo Aragón . (s.f.). *Destornilladores*. Obtenido de <https://www.iesbajoaragon.com/~tecnologia/Herr/Destorni.htm>
- Industria al día. (22 de diciembre de 2016). *Innovación y tecnología optimizando sus procesos industriales*. Obtenido de <https://issuu.com/noragc/docs/edicion129/10>
- JVS informática. (s.f.). *Compatibilidad*. Obtenido de <https://www.jvs-informatica.com/blog/glosario/compatibilidad/>
- MECALUX [ESMENA]. (24 de Diciembre de 2021). *MECALUX [ESMENA]*. Obtenido de Sistemas automatizados: ejemplos de robotización en el almacén: <https://www.mecalux.es/blog/sistemas-automatizados-ejemplos>
- Melendez, F. (09 de Mayo de 2022). *Advance*. Obtenido de Automatización Industrial: Evolución, Ventajas, Tipos y Estructura Tecnológica: <https://somosadvance.com/expertise/automatizacion-industrial-evolucion-ventajas-tipos-y-estructura-tecnologica/>
- Minera, T. (s.f.). *Tecnología MINERA*. Obtenido de Cómo la automatización está transformando la industria minera: <https://tecnologiaminera.com/noticia/como-la-automatizacion-esta-transformando-la-industria-minera-1689256371#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20de%20la%20miner%C3%ADa%20aumenta%20la%20productividad&text=El%20procesamiento%20del%20lenguaje%20natural,trav%>



- Muguirra, A. (21 de agosto de 2017). *Tipos de muestreo: Cuáles son y en qué consisten*. Obtenido de https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-muestreo-para-investigaciones-sociales/#tipos_muestreo_no_probabilistico
- Muñoz, J. (2022). Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos y control con una interfaz hombre-máquina para la operación de un sistema de aire acondicionado desde una plataforma virtual. (*Tesis de Licenciatura*). Institución Universitaria Pascual Bravo. Obtenido de https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/1606/1/Rep_IUP_B_Tec_Mec_Aut_Interfaz_Hombre_M%C3%A1quina.pdf
- Muñoz, J. (2023). *El ABC de los Equipos de Protección Personal (EPP): Tu Escudo en el Trabajo*. Obtenido de Serpresur: <https://www.serpresur.com/el-abc-de-los-equipos-de-proteccion-personal-epp/>
- Pérez, J., Gardey, A., & Merino, M. (2022). *Qué es, definición y concepto*. Obtenido de <https://definicion.de/>
- Portal Minero. (29 de noviembre de 2011). *Exitoso lanzamiento de tecnologías ABB en Expomin 2010*. Obtenido de <https://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=7012796>
- Prada, D. (2020). Diseño de un Sistema Scada para Optimizar el Proceso de Producción de la Semilla de Arroz en la Empresa Inia. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3443>
- Profibus profinet. (19 de agosto de 2022). *¿Qué es el ethernet industrial?* Obtenido de https://profibus.com.ar/ethernet-industrial/#%C2%BFQue_significa_el_color_de_los_cables_Ethernet
- QuestionPro . (s.f.). *Análisis de datos*. Obtenido de https://www.questionpro.com/es/analisis-de-datos.html#que_es_analisis_de_datos
- RED HAT. (20 de Septiembre de 2023). *RED HAT*. Obtenido de El concepto de la automatización: <https://www.redhat.com/es/topics/automation>



- RevistaEnergia.pe. (5 de Junio de 2020). *RevistaEnergia.pe*. Obtenido de Los beneficios de la automatización en el sector minero: <https://revistaenergia.pe/los-beneficios-de-la-automatizacion-en-el-sector-minero/>
- Rizo, M. (05 de noviembre de 2019). *Eficiencia, eficacia, efectividad: ¿son lo mismo?* Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/eficiencia-eficacia-efectividad-son-lo-mismo/>
- Rockwell Automation. (2023). *Rockwell Automation* . Obtenido de FactoryTalk View - Software de HMI [Ofrezca información de rendimiento en tiempo real]: <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/factorytalk/operationsuite/view.html#:~:text=El%20software%20FactoryTalk%20View,operador%20a%20nivel%20de%20m%C3%A1quina.>
- Rodríguez, P. (2019). Diseño y simulación de un sistema SCADA para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9939>
- Ruíz, J., & Agudelo, G. (2008). *Diseño de investigación experimental y no experimental*. Centro de Opinión.
- Safety culture. (01 de setiembre de 2023). *Equipo de Protección Personal (EPP)*. Obtenido de <https://safetyculture.com/es/temas/seguridad-sobre-el-equipo-de-proteccion-personal/>
- Sánchez-Martínez, D. V. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. *TEPEXI Boletín Científico De La Escuela Superior Tepeji Del Río* , 9(17), 38-39. doi:<https://doi.org/10.29057/estr.v9i17.7928>
- Schneider Electric. (2019). *Schneider Electric*. Obtenido de Texto estructurado ST: https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/SoMProg/SoMProg/ST_Editor/ST_Editor-6.htm



SDI . (s.f.). *Fusibles*. Obtenido de

<https://sdindustrial.com.mx/blog/fusibles/#%C2%BFQue-es-un-fusible>

Seppo mineral systems corp. (2018). *Concentradores continuos falcon modelo*

C1000B. Obtenido de <https://seprosystems.com/wp-content/uploads/2017/01/4-Falcon-C-Concentrator-SP-LoRes-2.pdf>

Seppo mineral systems corp. (s.f.). *Concentradores falcon para ultra finos (UF)*.

Obtenido de <https://seprosystems.com/language/wp-content/uploads/2017/01/4-Falcon-UF-Concentrator-SP-LoRes.pdf>

Sucasaire, J. (2022). *Orientaciones para la selección y el cálculo del tamaño de la muestra en investigación*. Concytec, Lima. Obtenido de

<https://repositorio.concytec.gob.pe/>

Tecnología para la industria. (25 de agosto de 2023). *Explorando los Centros de control de motores eléctricos: Tipos, aplicaciones y ejemplos*. Obtenido de

<https://tecnologiaparalaindustria.com/explorando-los-centros-de-control-de-motores-electricos-tipos-aplicaciones-y-ejemplos/>

Weg. (s.f.). *RELE INTELIGENTE SRW01-UCE2TE1E47*. Obtenido de

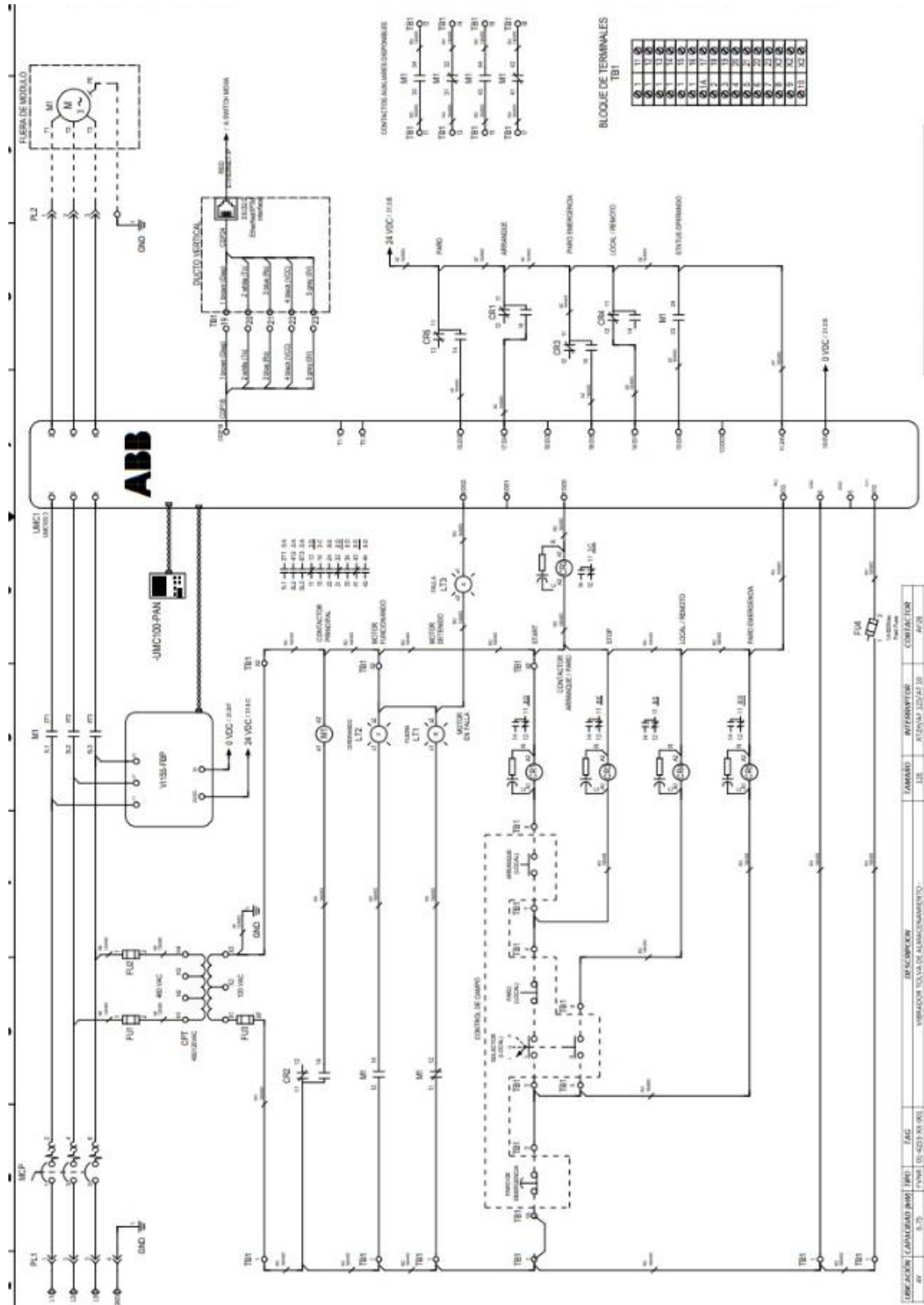
<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Arranque-y-Protecci%C3%B3n-de-Motores/Rel%C3%A9s-Inteligentes/Rel%C3%A9-Inteligente-SRW01/Unidad-de-Control/RELE-INTELIGENTE-SRW01-UCE2TE1E47/p/13628772>

Westreicher, G. (01 de agosto de 2020). *Análisis de datos*. Obtenido de

<https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-datos.html>

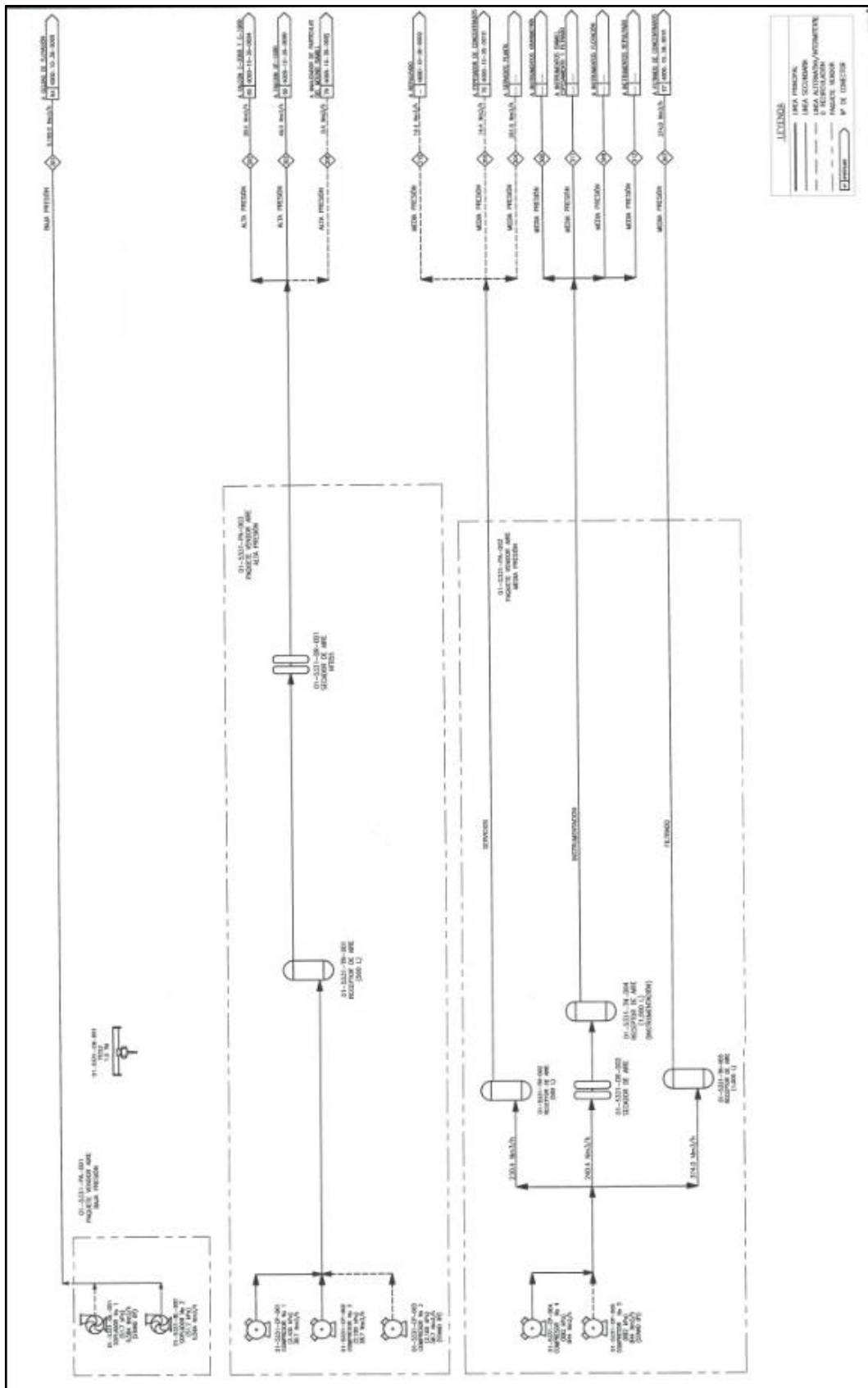
ANEXOS

ANEXO 1 Planos P&ID



Elaboración propia

ANEXO 2 Suministro y Distribución de Aire



Elaboración propia



ANEXO 3 Configuración de encendido para la compresora 2

```
44 //Motor2
45 Case ID_CP2 OF
46 1:
47   if _5331PIT052_Principal.Sts_Lo or Motor2_A1 then
48     Motor2POn:=1;
49     Motor2PSOff:=0;
50     Motor2PSBOff:=0;
51     Motor2POff:=0;
52   elsif _5331PIT052_Principal.Sts_Hi or Motor3PSOn or Motor1PSOn then
53     Motor2POff:=1;
54     Motor2POn:=0;
55     Motor2PSBOn:=0;
56     Motor2PSOn:=0;
57     Alarma_CP2:=0;
58   end_if;

59 2:
60   if _5331PIT052_StandBy.Sts_Lo or Motor2_A1 then
61     Motor2PSBOn:=1;
62     Motor2PSOff:=0;
63     Motor2PSBOff:=0;
64     Motor2POff:=0;
65   elsif _5331PIT052_StandBy.Sts_Hi or Motor3PSOn or Motor1PSOn and not Motor2_A1 then
66     Motor2PSBOff:=1;
67     Motor2POn:=0;
68     Motor2PSBOn:=0;
69     Motor2PSOn:=0;
70     Alarma_CP2:=0;
71   end_if;

72 3:
73   if _5331PIT052_Secundario.Sts_Lo or Motor2_A1 then
74     Motor2PSOn:=1;
75     Motor2PSOff:=0;
76     Motor2PSBOff:=0;
77     Motor2POff:=0;
78   elsif _5331PIT052_Secundario.Sts_Hi or Motor3PSOn or Motor1PSOn then
79     Motor2PSOff:=1;
80     Motor2POn:=0;
81     Motor2PSBOn:=0;
82     Motor2PSOn:=0;
83     Alarma_CP3:=0;
84   end_if;
85 end_case;
```

Elaboración propia



ANEXO 4 Configuración de encendido para la compresora 3

```
87 //Motor3
88 Case ID_CP3 0F
89 1:
90 if _5331PIT052_Principal.Sts_Lo or Motor3_A1 then
91     Motor3POn:=1;
92     Motor3PSOff:=0;
93     Motor3PSBOff:=0;
94     Motor3POff:=0;
95 elseif _5331PIT052_Principal.Sts_Hi or Motor1PSON or Motor2PSON then
96     Motor3POff:=1;
97     Motor3POn:=0;
98     Motor3PSBOn:=0;
99     Motor3PSON:=0;
100     Alarma_CP3:=0;
101 end_if;

102 2:
103 if _5331PIT052_StandBy.Sts_Lo or Motor3_A1 then
104     Motor3PSBOn:=1;
105     Motor3PSOff:=0;
106     Motor3PSBOff:=0;
107     Motor3POff:=0;
108 elseif _5331PIT052_StandBy.Sts_Hi or Motor1PSON or Motor2PSON and not Motor3_A1 then
109     Motor3PSBOff:=1;
110     Motor3POn:=0;
111     Motor3PSBOn:=0;
112     Motor3PSON:=0;
113     Alarma_CP3:=0;
114 end_if;

115 3:
116 if _5331PIT052_Secundario.Sts_Lo or Motor3_A1 then
117     Motor3PSON:=1;
118     Motor3PSOff:=0;
119     Motor3PSBOff:=0;
120     Motor3POff:=0;
121 elseif _5331PIT052_Secundario.Sts_Hi or Motor1PSON or Motor2PSON then
122     Motor3PSOff:=1;
123     Motor3POn:=0;
124     Motor3PSBOn:=0;
125     Motor3PSON:=0;
126     Alarma_CP3:=0;
127 end_if;
128 end_case;
```

Elaboración propia

ANEXO 5 Código de alarmas de la compresora 2

```
251 //Timer de Alarma por tiempo excedido de encendido Motor CP102
252
253 TONR (Time_CP2);
254 Time_CP2.PRE:=1500000;
255
256 if _5331CP002.Sts_Running then
257   Time_CP2.TimerEnable:=1;
258 else
259   Time_CP2.TimerEnable:=0;
260 end_if;
261
262 if Time_CP2.DN then
263   Alarma_CP2:=1;
264 end_if;
265
266 CTUD(CTU_ALM_CP2);
267 if Time_CP2.DN then
268   CTU_ALM_CP2.CUEnable:=1;
269 else
270   CTU_ALM_CP2.CUEnable:=0;
271 end_if;
272 if Reset_TurnoA then
273   CTU_ALM_CP2.Reset:=1;
274 else
275   CTU_ALM_CP2.Reset:=0;
276 end_if;
277 if CTU_ALM_CP2.DN then
278   Test_Dave[9].2:=1;
279 end_if;
280
```

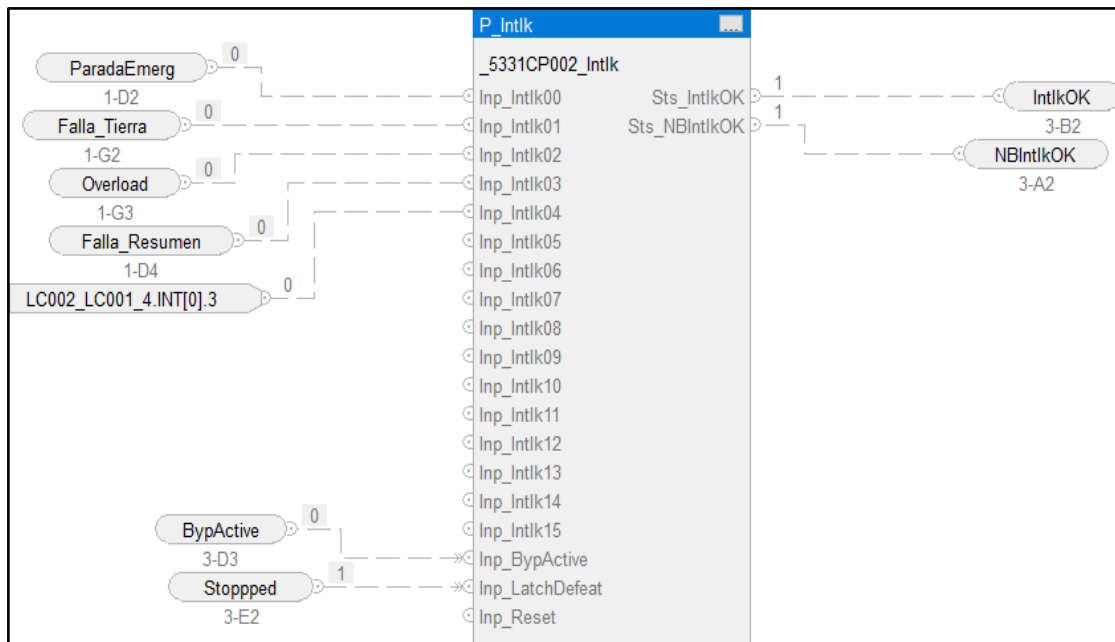
Elaboración propia

ANEXO 6 Código de alarmas de la compresora 3

```
282
283 //Timer de Alarma pro tiempo excedido de encendido Motor CP103
284
285 TONR (Time_CP3);
286 Time_CP3.PRE:=1500000;
287
288 if _5331CP003.Sts_Running then
289 Time_CP3.TimerEnable:=1;
290 else
291 Time_CP3.TimerEnable:=0;
292 end_if;
293
294 if Time_CP3.DN then
295 Alarma_CP3:=1;
296 end_if;
297
298 CTUD(CTU_ALM_CP3);
299 if Time_CP3.DN then
300 CTU_ALM_CP3.CUEnable:=1;
301 else
302 CTU_ALM_CP3.CUEnable:=0;
303 end_if;
304 if Reset_TurnoA then
305 CTU_ALM_CP3.Reset:=1;
306 else
307 CTU_ALM_CP3.Reset:=0;
308 end_if;
309 if CTU_ALM_CP3.DN then
310 Test_Dave[9].3:=1;
311 end_if;
312
```

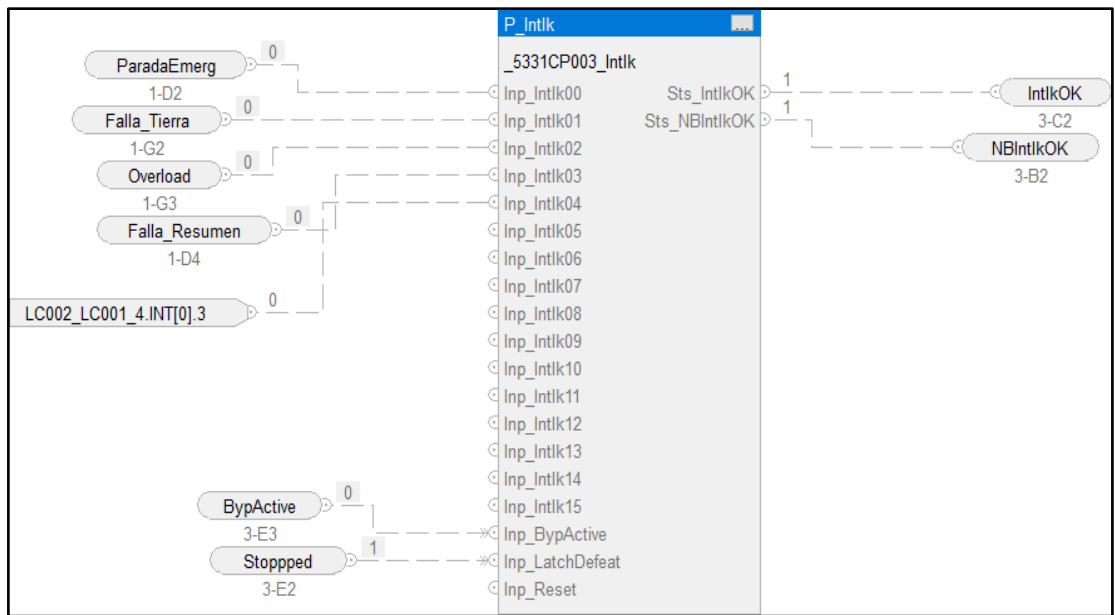
Elaboración propia

ANEXO 7 Interlock del equipo 5331CP002 (Compresora 2)



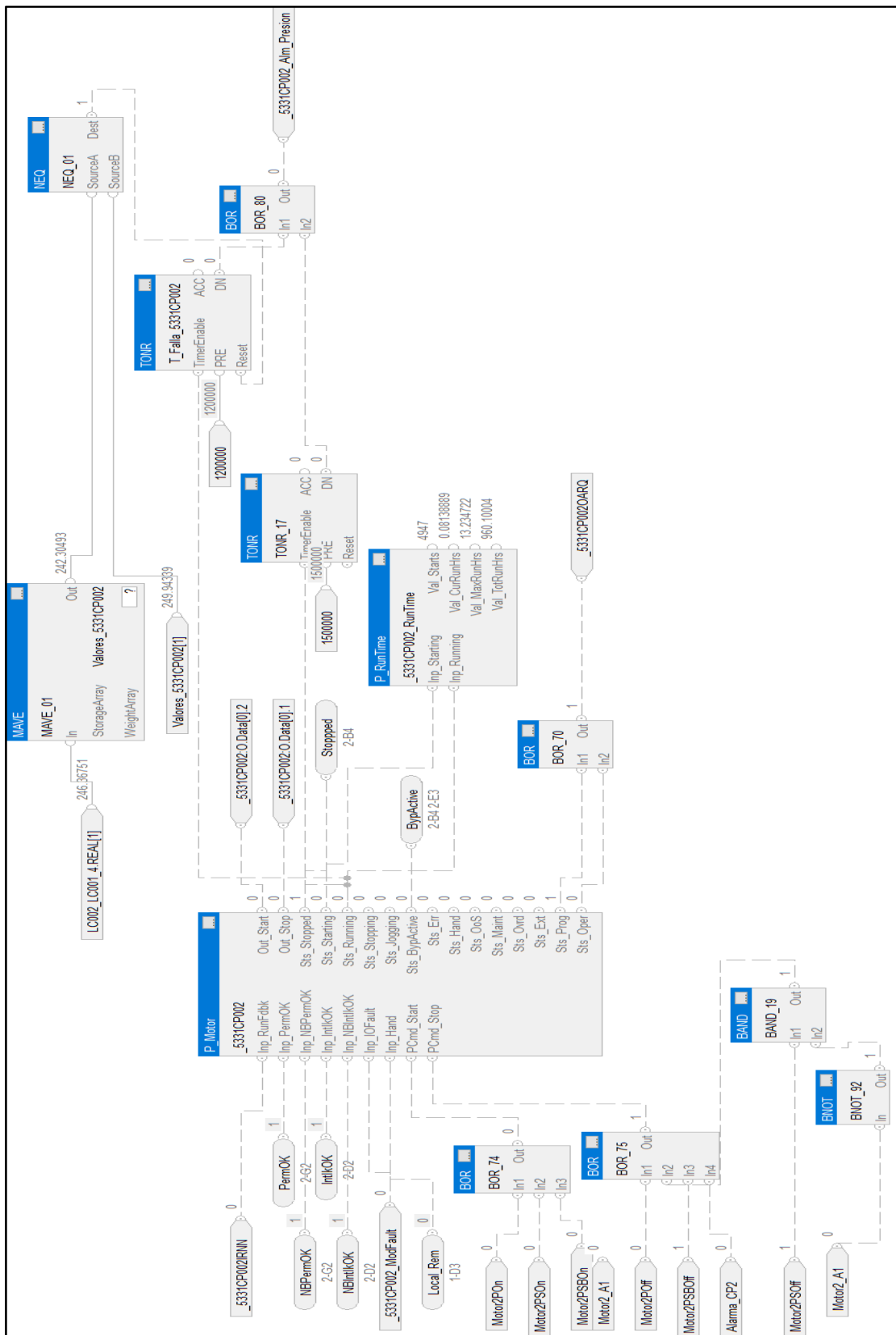
Elaboración propia

ANEXO 8 Interlock del equipo 5331CP003 (Compresora 3)



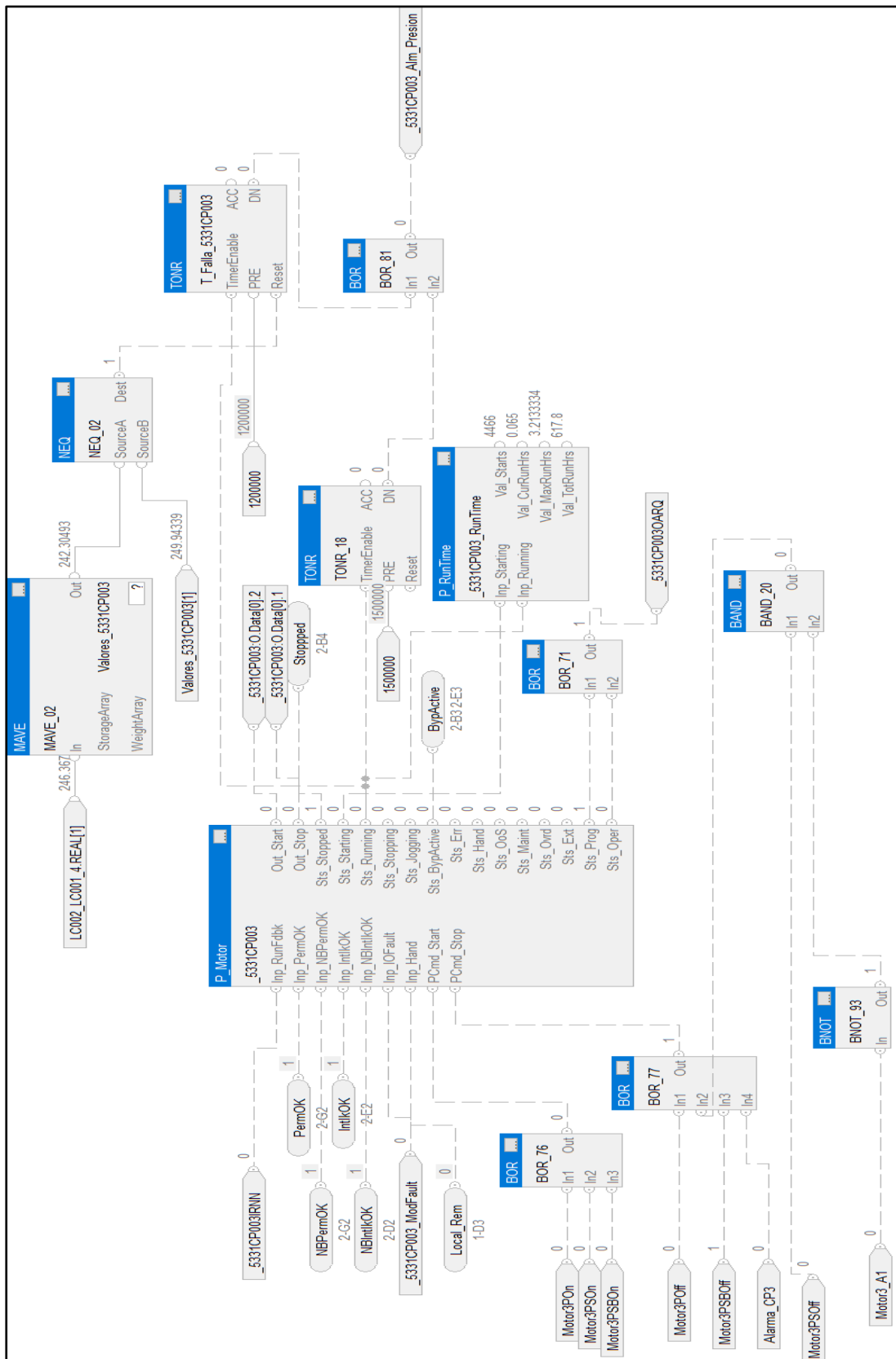
Elaboración propia

ANEXO 9 Configuración para el arranque de la compresora 2



Elaboración propia

ANEXO 10 Configuración para el arranque de la compresora 3



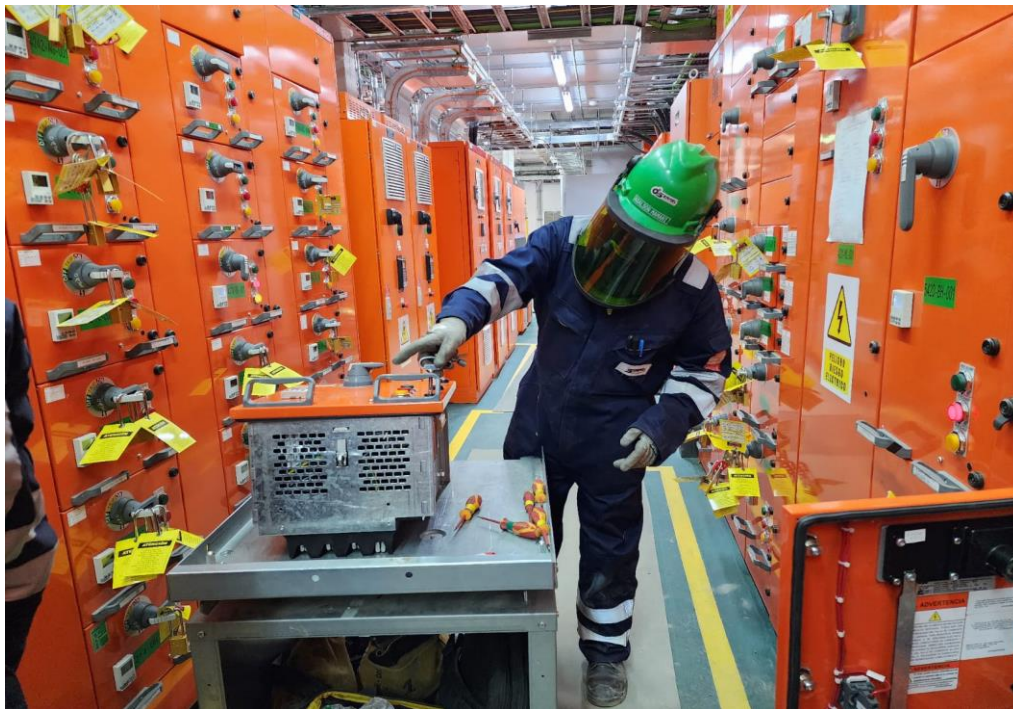
Elaboración propia

ANEXO 11 Cubículos Libres para la Instalación del UMC



Elaboración propia

ANEXO 12 Limpieza de Cubículo UMC para la Instalación



Elaboración propia

ANEXO 13 Pruebas de Energización de Sala Eléctrica



Elaboración propia

ANEXO 14 Mi Persona en la sala junto a un cubículo UMC



Elaboración propia

ANEXO 15 Mi Persona Junto a las compresoras de aire



Elaboración propia

ANEXO 8 Historial de funcionamiento



Elaboración propia

ANEXO 9 Tiempo de funcionamiento de las compresoras sin automatización

COMPRESORA 01				60.0	Compresora 02				Compresora 03		
Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)	Porcentaje de trabajo por hora		Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)	Porcentaje de trabajo por hora	Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)
06:00 a. m.	18.5	10.0	31%		06:00 a. m.	11.1	20.4	19%	06:00 a. m.		
07:00 a. m.	18.21	9.3	30%		07:00 a. m.	20.2	12.3	34%	07:00 a. m.		
08:00 a. m.	17.4	8.2	29%		08:00 a. m.	24.9	9.4	42%	08:00 a. m.		
09:00 a. m.	19.34	5.2	32%		09:00 a. m.	28.2	7.2	47%	09:00 a. m.		
10:00 a. m.	20.25	9.1	34%		10:00 a. m.	22.3	8.3	37%	10:00 a. m.		
11:00 a. m.	24.12	8.4	40%		11:00 a. m.	17.2	10.3	29%	11:00 a. m.		
12:00 p. m.	19.43	7.8	32%		12:00 p. m.	24.6	8.2	41%	12:00 p. m.		
01:00 p. m.	18.45	7.7	31%		01:00 p. m.	26.1	7.8	43%	01:00 p. m.		
02:00 p. m.	19.5	7.6	33%		02:00 p. m.	25.5	7.4	43%	02:00 p. m.		
03:00 p. m.	18.21	7.5	30%		03:00 p. m.	23.3	11.0	39%	03:00 p. m.		
04:00 p. m.	17.4	9.4	29%		04:00 p. m.	25.6	7.6	43%	04:00 p. m.		
05:00 p. m.	19.34	7.3	32%		05:00 p. m.	27.2	6.1	45%	05:00 p. m.		
06:00 p. m.	20.25	8.3	34%		06:00 p. m.	23.8	7.7	40%	06:00 p. m.		
07:00 p. m.	24.12	12.2	40%		07:00 p. m.	14.4	9.3	24%	07:00 p. m.		
08:00 p. m.	19.43	9.1	32%		08:00 p. m.	22.6	8.9	38%	08:00 p. m.		
09:00 p. m.	18.45	7.0	31%		09:00 p. m.	27.1	7.5	45%	09:00 p. m.		
10:00 p. m.	19.5	6.9	33%		10:00 p. m.	24.5	9.1	41%	10:00 p. m.		
11:00 p. m.	18.21	6.8	30%		11:00 p. m.	26.3	8.6	44%	11:00 p. m.		
12:00 a. m.	17.4	8.7	29%		12:00 a. m.	24.6	9.2	41%	12:00 a. m.		
01:00 a. m.	19.34	6.6	32%		01:00 a. m.	25.2	8.8	42%	01:00 a. m.		
02:00 a. m.	20.25	7.6	34%		02:00 a. m.	24.8	7.4	41%	02:00 a. m.		
03:00 a. m.	24.12	6.5	40%		03:00 a. m.	19.4	10.0	32%	03:00 a. m.		
04:00 a. m.	19.43	8.4	32%		04:00 a. m.	23.6	8.6	39%	04:00 a. m.		
05:00 a. m.	18.45	6.3	31%		05:00 a. m.	28.1	7.1	47%	05:00 a. m.		

MOTOR EN ESTADO STAND BY

Elaboración propia



ANEXO 10 Tiempo de funcionamiento de las compresoras con automatización

COMPRESORA 01				Compresora 02				Compresora 03				COMPRESORA 01				
Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)	Porcentaje de trabajo por hora	Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)	Porcentaje de trabajo por hora	Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)	Porcentaje de trabajo por hora	Hora	tiempo de encendido (min.)	tiempo apagado (min.)	Porcentaje de trabajo por hora	
06:00 a. m.	11.5	10.2	19%	06:00 a. m.	10.4	7.8	17%	06:00 a. m.	10.4	9.6	17%	60.0	06:00 a. m.	18.5	10.0	31%
07:00 a. m.	12.3	9.3	21%	07:00 a. m.	12.3	8.7	21%	07:00 a. m.	8.3	9.1	14%	60.0	07:00 a. m.	18.21	9.3	30%
08:00 a. m.	14.5	8.2	24%	08:00 a. m.	9.4	5.2	16%	08:00 a. m.	10.3	12.4	17%	60.0	08:00 a. m.	17.4	8.2	29%
09:00 a. m.	13.5	5.2	23%	09:00 a. m.	7.2	18.0	12%	09:00 a. m.	8.2	7.8	14%	60.0	09:00 a. m.	19.34	5.2	32%
10:00 a. m.	13.4	9.1	22%	10:00 a. m.	8.3	9.7	14%	10:00 a. m.	7.8	11.7	13%	60.0	10:00 a. m.	20.25	9.1	34%
11:00 a. m.	15.2	8.4	25%	11:00 a. m.	10.3	4.1	17%	11:00 a. m.	10.4	11.6	17%	60.0	11:00 a. m.	24.12	8.4	40%
12:00 p. m.	13.3	7.8	22%	12:00 p. m.	8.2	9.2	14%	12:00 p. m.	11.0	10.5	18%	60.0	12:00 p. m.	19.43	7.8	32%
01:00 p. m.	15.2	7.7	25%	01:00 p. m.	7.8	11.3	13%	01:00 p. m.	8.9	9.1	15%	60.0	01:00 p. m.	18.45	7.7	31%
02:00 p. m.	14.2	7.6	24%	02:00 p. m.	7.4	16.3	12%	02:00 p. m.	7.5	7.0	12%	60.0	02:00 p. m.	19.5	7.6	33%
03:00 p. m.	12.2	7.5	20%	03:00 p. m.	11.0	10.3	18%	03:00 p. m.	9.1	9.9	15%	60.0	03:00 p. m.	18.21	7.5	30%
04:00 p. m.	10.2	9.4	17%	04:00 p. m.	7.6	15.3	13%	04:00 p. m.	9.6	7.8	16%	60.0	04:00 p. m.	17.4	9.4	29%
05:00 p. m.	14.3	7.3	24%	05:00 p. m.	6.1	14.2	10%	05:00 p. m.	9.2	8.7	15%	60.0	05:00 p. m.	19.34	7.3	32%
06:00 p. m.	12.4	8.3	21%	06:00 p. m.	7.7	17.1	13%	06:00 p. m.	7.4	7.1	12%	60.0	06:00 p. m.	20.25	8.3	34%
07:00 p. m.	11.2	12.2	19%	07:00 p. m.	9.3	13.1	16%	07:00 p. m.	7.2	7.0	12%	60.0	07:00 p. m.	24.12	12.2	40%
08:00 p. m.	13.3	9.1	22%	08:00 p. m.	8.9	12.9	15%	08:00 p. m.	7.0	8.8	12%	60.0	08:00 p. m.	19.43	9.1	32%
09:00 p. m.	9.4	7.0	16%	09:00 p. m.	7.5	15.6	12%	09:00 p. m.	10.8	9.7	18%	60.0	09:00 p. m.	18.45	7.0	31%
10:00 p. m.	13.0	6.9	22%	10:00 p. m.	9.1	17.9	15%	10:00 p. m.	6.6	6.5	11%	60.0	10:00 p. m.	19.5	6.9	33%
11:00 p. m.	12.4	6.8	21%	11:00 p. m.	8.6	12.3	14%	11:00 p. m.	10.5	9.4	17%	60.0	11:00 p. m.	18.21	6.8	30%
12:00 a. m.	14.2	8.7	24%	12:00 a. m.	9.2	13.3	15%	12:00 a. m.	8.3	6.3	14%	60.0	12:00 a. m.	17.4	8.7	29%
01:00 a. m.	13.2	6.6	22%	01:00 a. m.	8.8	16.1	15%	01:00 a. m.	8.1	7.1	13%	60.0	01:00 a. m.	19.34	6.6	32%
02:00 a. m.	12.3	7.6	21%	02:00 a. m.	7.4	16.8	12%	02:00 a. m.	9.9	6.0	17%	60.0	02:00 a. m.	20.25	7.6	34%
03:00 a. m.	13.2	6.5	22%	03:00 a. m.	10.0	13.8	17%	03:00 a. m.	8.7	7.8	15%	60.0	03:00 a. m.	24.12	6.5	40%
04:00 a. m.	12.4	8.4	21%	04:00 a. m.	8.6	10.4	14%	04:00 a. m.	10.5	9.7	18%	60.0	04:00 a. m.	19.43	8.4	32%
05:00 a. m.	10.2	6.3	17%	05:00 a. m.	7.1	17.4	12%	05:00 a. m.	8.4	10.5	14%	60.0	05:00 a. m.	18.45	6.3	31%
												1440.0				

Elaboración propia

ANEXO 11 Recopilación de datos de hipótesis específico 1

HIPOTESIS ESPECIFICA 01		
AÑO 2023		
SIN IMPLEMENTAR SISTEMA SCADA	Enero	1.8%
	Febrero	1.9%
	Marzo	1.9%
	Abril	2.1%
	Mayo	1.9%
	Junio	1.8%
TOTAL		11.4%
CON IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SCADA	Julio	7.5%
	Agosto	7.5%
	Septiembre	8.0%
	Octubre	8.5%
	Noviembre	8.6%
	Diciembre	8.6%
TOTAL		48.7%

Elaboración propia

ANEXO 12 Recopilación de datos de hipótesis específico 2

IMPACTO OPERATIVO DEL AÑO 2022 SIN LA AUTOMATIZACION					AÑO 2023				
MES	precio del estaño	tiempo de parada	perdida de mineral en toneladas (TM)	Perdida en dolares	MES	precio del estaño	tiempo de parada	perdida de mineral en toneladas	Perdida en dolares
Enero	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	Enero del 2023	\$ 26,733	0 min.	0	\$ -
Febrero	\$ 31,500	30 min.	0.325	\$ 10,238	Febrero	\$ 26,733	0 min.	0	\$ -
Marzo	\$ 31,500	0min	0	\$ -	marzo del 202	\$ 26,733	30 min.	0.325	\$ 8,688
Abril	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	Abril	\$ 26,733	0 min.	0	\$ -
Mayo	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	Mayo	\$ 26,733	0 min.	0	\$ -
Junio	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	TOTAL DE PERDIDA DEL AÑO 2023 (ENERO -				\$ 8,688
Julio	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	TOTAL DE PERDIDA SIN AUTOMATIZACIÓN				\$ 41,278
Agosto	\$ 31,500	20 min	0.21	\$ 6,615	IMPACTO OPERATIVO DEL AÑO 2023 (JUNIO - DICIEMBRE) CON LA AUTOMATIZACION				
Setiembre	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	Junio	\$ 26,733	5 min	0.054	\$ 1,443.58
Octubre	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	Julio	\$ 26,733	0	0	\$ -
Noviembre	\$ 31,500	0 min.	0	\$ -	Agosto	\$ 26,733	0	0	\$ -
Diciembre	\$ 31,500	30 min.	0.325	\$ 10,238	Setiembre	\$ 26,733	5 min.	0.054	\$ 1,443.58
Gastos de mantenimiento entre otros				\$ 5,500	Octubre	\$ 26,733	0	0	\$ -
TOTAL DE PERDIDA DEL AÑO 2022				\$ 32,590	Noviembre	\$ 26,733	10 min	0.1079	\$ 2,884.49
					Diciembre	\$ 26,733	0	0	\$ -
					TOTAL DE PERDIDA CON AUTOMATIZACIÓN				\$ 5,771.65

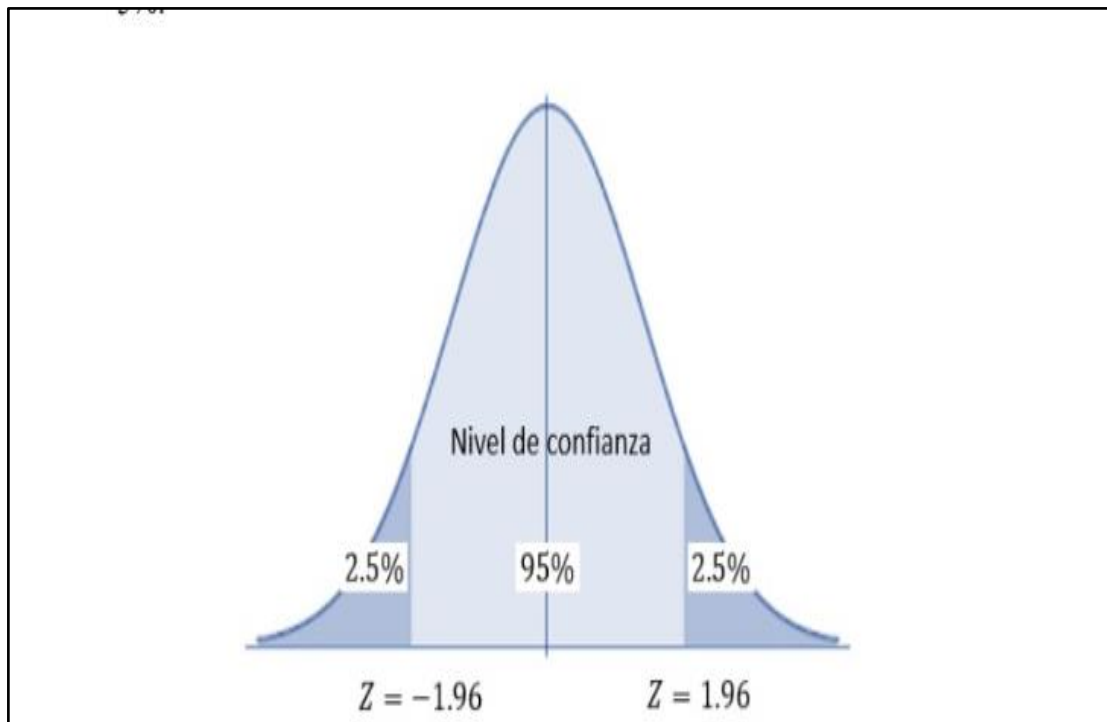
Elaboración propia

ANEXO 13 Recopilación de datos de hipótesis general

SIN SISTEMA AUTO.		CON SISTEMA AUTO.	
N° PRUEBAS	% DE AUMENTO EN MONITOREO Y SEGURIDAD	N° PRUEBAS	% DE AUMENTO EN MONITOREO Y SEGURIDAD
1	10%	1	20%
2	11%	2	23%
3	10%	3	37%
4	13%	4	43%
5	12%	5	55%
6	13%	6	55%
7	11%	7	56%
8	11%	8	55%
9	11%	9	58%
10	12%	10	58%

Elaboración propia

ANEXO 14 Valores de confianza



Elaboración propia

ANEXO 15 Materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO
1	Alicate de corte	Unidad	S/23.00
2	Alicate pelacables	Unidad	S/23.00
3	Alicate universal	Unidad	S/23.00
4	Alimentación	Días	S/32.50
5	Borneras	Unidad	S/5.00
6	Cable de fuerza tipo NM 10	Metro	S/5.00
7	Cable de instrumentación 14	Metro	S/6.00
8	Cable Ethernet UTP CAT 6A F/UTP	Metro	S/1.93
9	Compresora de aire	Unidad	S/7,320.00
10	Contactador	Unidad	S/56.00
11	Cuarto	meses	S/400.00
12	Cubículo de sala eléctrica	Unidad	S/2,000.00



ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO
13	Destornilladores	Unidades	S/ .45.00
14	Equipo de protección personal	Unidad	S/ .2,358.00
15	Examen medico	Anual	S/ .120.00
16	Fuente de alimentación control logix	Unidad	S/ .50,000.00
17	Fusibles	Unidad	S/ .4.00
18	Gastos imprevistos	Unidad	S/ .450.00
19	Impresión y hojas	Unidad	S/ .30.00
20	Internet	Meses	S/ .60.00
21	Interrupor termomagnético	Unidad	S/ .50.00
22	Juego de llaves STANLEY	Unidad	S/ .34.00
23	Laptop de ingeniería	Unidad	S/ .12,000.00
24	Licencia de Rockwell Studio 5000 V31	Unidad	S/ .200.00
25	Licencia de SCADA FACTORY SIDE EDITION	Unidad	S/ .150.00
26	Llaves milimétricas	Unidad	S/ .45.00
27	Luz piloto	Unidad	S/ .35.00
28	Módulo de tensión VI155 - FBP	Unidad	S/ .2,500.00
29	Módulos de PLC (entrada analógica)	Unidad	S/ .10,000.00
30	Morral para herramientas eléctrico	Unidad	S/ .59.00
31	movilidad	semana	S/ .30.00
32	Pinza amperimétrica	Unidad	S/ .250.00
33	Procesador 1756 - L75 control Logix 5570 Allen Bradley	Unidad	S/ .30,000.00
34	Relé 110AMP	Unidad	S/ .3.00
35	Sensor de presión (presostato) para compresora	Unidad	S/ .580.00
36	Switch de red de 4 puertos	Unidad	S/ .450.00
37	Tanque de aire comprimido 1000L	Unidad	S/ .18,368.25
38	Transformador 440 a 120 VAC	Unidad	S/ .45.00
39	Controlador Universal de Motor UMC 100.3 ABB	Unidad	S/ .7,000.00



ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO
40	Conector RJ45 Cat. 6	Unidad	S/.30.00
41	Gabinete para Servidor de piso 45RU	Unidad	S/.2,300.00
42	Mano de obra	Meses	S/.1,800.00

Elaboración Propia

ANEXO 16 Operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO	<p>Sistema automatizado</p> <p>Aplicación de la automatización en el sector minero</p> <p>Diseño del sistema automatizado</p> <p>Implementación del sistema</p>	<p>Ventajas y desventajas</p> <p>Operatividad</p> <p>Eficacia</p> <p>Protección seguridad</p>
VARIABLE DEPENDIENTE	PROTECCIÓN Y MONITOREO DE COMPRESORAS UMC 100.3 - Rockwell	<p>Centro de control de motores</p> <p>Beneficios del UMC</p> <p>Funciones y beneficios del UMC implementados a las compresoras</p>	<p>Compatibilidad universal</p> <p>Monitoreo</p> <p>Análisis de datos</p>

Elaboración propia



ANEXO 17 Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Adalson Erick Mamani Calsina
identificado con DNI 72228962 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Electrónica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE
PROTECCIÓN Y MONITERIO DE COMPRESORAS CON UMC 100.3 - ROCKWELL
EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA - REGIÓN PUNO ”

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 26 de Abril del 20 24



FIRMA (obligatoria)





ANEXO 18 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ADALSON ERICK MAMANI CALSINA,
identificado con DNI 72228962 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE PROTECCIÓN Y MONITERIO DE COMPRESORAS CON UMC 100.3 - ROCKWELL EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA - REGIÓN PUNO ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 26 de Abril del 20 24


FIRMA (obligatoria)

