



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA
SUBTERRÁNEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. DAVID MORALES BELLIDO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACION
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERIA
SUBTERRANEA DE LA REGION PUNO, 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. DAVID MORALES BELLIDO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE


Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

PRIMER MIEMBRO


M.Sc. ABELARDO LEON MIRANDA

SEGUNDO MIEMBRO


Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

ASESOR DE TESIS


Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI

LINEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN P-21

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 622-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 02 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-4834 presentado por el (la) Bachiller: **DAVID MORALES BELLIDO** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **DAVID MORALES BELLIDO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **1er Miembro** : M.Sc. ABELARDO LEON MIRANDA
- * **2do Miembro** : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI**.

ARTICULO TERCERO . - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **DAVID MORALES BELLIDO**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 10 de julio del 2025
- * **HORA** : 11:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 204 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Mgtr. WALTER J. LIZÁRRAGA ARMAZA
DECANO (e)
CIP. 70800



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. Erik Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interrogado (e)



TESIS UANCV

UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 089-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de enero del 2025

VISTO: El expediente N° 2024-CU -128 por el señor (a): **DAVID MORALES BELLIDO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 053 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 003- 2025 del integrante del comité de investigación **EPIM** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **DAVID MORALES BELLIDO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 003- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **DAVID MORALES BELLIDO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la), Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
.....
Dr. MILYTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
.....
Dr. Efraín Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1830-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 17 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 17648, presentado el señor (a) **DAVID MORALES BELLIDO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 1525-2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 045 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIM** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **DAVID MORALES BELLIDO** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 045 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **DAVID MORALES BELLIDO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo 2024
Interesado (a)



DAVID MORALES BELLIDO

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERIA SUBTERR...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::13016:553776939

Fecha de entrega

6 feb 2026, 11:37 GMT-5

Fecha de descarga

7 feb 2026, 23:14 GMT-5

Nombre del archivo

T036_70539585_T.docx

Tamaño del archivo

30.6 MB

113 páginas

16.402 palabras

90.621 caracteres



TESIS UANCV

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERIA SUBTERRANEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	DAVID MORALES BELLIDO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70539585
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-7884-3730
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02429806
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-1482-3669
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ABELARDO LEON MIRANDA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40198643
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02064066



Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la instrumentación – P21
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Longitud oeste: -15.481851250200059, - Latitud sur: -70.12075060454241
	 Url: https://goo.su/njcVUk
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2023 - diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00 Mecánica aplicada https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02
- Librería	





DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo DAVID MORALES BELLIDO, identificado con DNI
Nro. **70539585** en mi condición de egresado de:

- ☒ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

MECATRONICA

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico
denominada:

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA
CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024**

Asesorado por: Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI

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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca __21__ de agosto del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A mis amados padres. Este logro representa el fruto de su infinito amor y confianza. Aprecio profundamente las enseñanzas de vida que me han transmitido durante mi desarrollo, así como el afecto constante que siempre me han ofrecido.

Aunque es difícil para mí expresar lo mucho que significan para mí, esta pieza honra su legado y mi profundo respeto por ellos. Les agradezco que sean los padres más increíbles.



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer sinceramente a toda mi familia por su amor inquebrantable y su apoyo inquebrantable. Mi perseverancia ha sido alimentada por su fe en mí. Quiero expresar mi gratitud a mis hermanos por su apoyo y palabras de aliento durante mis momentos más difíciles. No habríamos logrado esto sin su colaboración-

A mi centro de estudios, gracias por los conocimientos compartidos para crecer académicamente y profesionalmente. Su ayuda fue crucial para finalizar esta tesis. Agradezco sinceramente su confianza en mi trabajo y el ambiente educativo que me brindaron.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN.....	xi

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1. 1 Descripción del problema.....	1
1. 2 Formulación del problema.....	1
1. 2. 1 Problema general	1
1. 2. 2 Problemas específicos	1
1. 3 Justificación	2
1. 4 Objetivos de la investigación.....	2
1. 4. 1 Objetivo general	2
1. 4. 2 Objetivos específicos	3
1. 5 Importancia	3
1. 6 Limitación de la investigación.....	3
1. 7 Hipótesis de la investigación	4



1. 7. 1 Hipótesis general.....	4
1. 7. 2 Hipótesis específicas.....	4
1. 8 Variables de investigación	4

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2. 1 Bases teóricas	6
2. 1. 1 Nivel internacional	6
2. 1. 2 Nivel nacional.....	8
2. 2 Conceptos fundamentales	10

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. 1 Método de investigación	40
3. 2 Ámbito de la investigación	40
3. 3 Población y muestra	40
3. 4 Técnicas e instrumentos de recogida de información.....	41
3. 5 Recogida de datos	41

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO Y DISCUSIÓN

4. 1 Desarrollo e implementación del sistema de ventilación	42
4. 2 Diseño del módulo de control del sistema de ventilación.	43
4. 3 Diseño del diagrama de conexión del Arduino y los sensores.....	44
4. 4 Elección de los dispositivos eléctricos y electrónicos.	45
4. 5 Implementación del módulo de control del sistema de ventilación.	47



4. 6 Implementación del módulo de control del sistema de ventilación.	51
4. 7 Programación del módulo de control.....	52
4. 8 Programación del PLC S7 1200.....	58
4. 9 Programación de la pantalla HMI KTP700.	62
4. 10 Análisis e interpretación de resultados.....	68
4. 11 Discusión de resultados	73
4. 12 Análisis de los resultados obtenidos	74
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS.....	81



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ventilación subterránea.....	11
Figura 2 Excavación subterránea.....	16
Figura 3: ventilador centrífugo.....	20
Figura 4 ventilador axial	21
Figura 5 Sistema de ventilador axial	22
Figura 6 configuraciones clásicas para ventiladores axiales.....	23
Figura 7 Extracción aire abrasivo	23
Figura 8 Componentes del ventilador axial	24
Figura 9 Control Automático.....	25
Figura 10 Vista periférica HMI KTP700Basic	27
Figura 11 PLC S7-1200 Siemens.....	28
Figura 12 PLC SIMATIC S7-1200	30
Figura 13 Módulo de comunicación CM 1241, RS422/485	31
Figura 14 Comunicación ethernet industrial	32
Figura 15 Principio de funcionamiento de un variador de velocidad.	33
Figura 16 Variador de velocidad Sinamics V20.....	34
Figura 17 Arduino UNO	35
Figura 18: Modulo SHIELD ETHERNET W5100	36
Figura 19 Módulo ESP-01 ESP8266 WIFI-SERIAL.....	37
Figura 20 Sensor MQ135	38
Figura 21 Motor Eléctrico Trifásico	39
Figura 22: Motor electrico.....	43
Figura 23: Partes del sistema de ventilación.....	43
Figura 24: Diagrama de conexión del módulo de control.	44



Figura 25: Diagrama de conexión del Arduino y sensores.	44
Figura 26: Regulador de voltaje.	45
Figura 27: Etapa de control del sistema.	45
Figura 28:Modulo Sinamics V20.....	46
Figura 29: Interruptores termomagnéticos.	46
Figura 30: Partes del módulo de control.....	47
Figura 31: Etapa de control.	48
Figura 32: Etapa de la placa Arduino.	48
Figura 33: Etapa de potencia.	49
Figura 34: Swicht ethernet.....	49
Figura 35: Nota de alimentación.....	50
Figura 36: Etapa de protección.	50
Figura 37: Borneras de conexión.	50
Figura 38: Modulo de control.....	51
Figura 39: Conexión del HMI y botones.	51
Figura 40: Panel frontal del módulo.....	52
Figura 41: Editor de la programación de la placa Arduino.....	52
Figura 42: Diagrama de flujo del programa	53
Figura 43 Pantalla HMI.....	63
Figura 44 Designación de la dirección IP	64
Figura 45 Monitoreo de sensores.....	64
Figura 46: Funcionamiento puesta en on.	69
Figura 47: Funcionamiento en modo 1.....	69
Figura 48: Funcionamiento en arranque.	70
Figura 49: Funcionamiento del HMI.	70



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2 Composición del aire seco	17
Tabla 3 Gases en atmosfera de mina	18
Tabla 4 Técnicas e instrumentos.....	41
Tabla 5: Especificaciones del motor eléctrico.....	42
Tabla 6 Consumo de madera	66
Tabla 7 Velocidad mínima.....	67
Tabla 8: Valores de prueba de funcionamiento del motor.	68
Tabla 9 Velocidad de la frecuencia	71
Tabla 10 Prueba de voltaje.....	72
Tabla 11 Prueba de velocidad.....	72
Tabla 12 Prueba del sensor CO.	73



RESUMEN

Existen graves problemas de calidad del aire asociados con la minería subterránea, que presentan un riesgo para la salud y la seguridad de los trabajadores. En la región de Puno, donde la actividad minera es prominente, este problema es especialmente relevante. En respuesta a esta problemática, se realizó este trabajo de investigación con el fin de crear un sistema automatizado de ventilación que pudiera optimizar el grado de contaminación atmosférica en las operaciones mineras subterráneas.

Un estudio bibliográfico sobre las condiciones laborales y ambientales de las minas subterráneas de la zona sirvió como base para el diseño del sistema. Se implementaron sensores y dispositivos de monitoreo para medir parámetros clave como la concentración de gases tóxicos. Con el propósito de crear un ambiente laboral saludable y sin peligros, se desarrollaron algoritmos de control que gestionan eficazmente la ventilación mediante un inversor de frecuencia utilizando la información recopilada.

La calidad del aire en las minas subterráneas de la región de Puno mejoró significativamente gracias al sistema de ventilación automatizado. Los resultados demostraron mejores condiciones laborales para los empleados y una notable reducción de los índices de contaminación. Además, la implementación automática del sistema permite una operación más precisa y eficaz, minimizando la intervención humana y utilizando eficientemente los recursos existentes.

Este estudio enfatiza la importancia de crear enfoques innovadores con el fin de enfrentar los desafíos ambientales vinculados a la calidad del aire, en la minería subterránea. Una herramienta importante para garantizar mejores condiciones laborales y fomentar la sostenibilidad en la industria minera de la región Puno es el sistema de ventilación automática desarrollada en esta tesis.

Palabras Claves: Sistema Automatizado, Ventilación, Calidad De Aire, Minería Subterránea.



ABSTRACT

There are serious air quality issues associated with underground mining that pose a risk to workers' health and safety. In the Puno region, where mining activity is prominent, this problem is particularly significant. In response to this issue, this research work was carried out with the aim of creating an automated ventilation system capable of optimizing the level of air pollution in underground mining operations.

A bibliographic study on the working and environmental conditions of underground mines in the area served as the basis for the system design. Sensors and monitoring devices were implemented to measure key parameters such as the concentration of toxic gases. With the purpose of creating a healthy and hazard-free work environment, control algorithms were developed to efficiently manage ventilation using a frequency inverter based on the collected data.

Air quality in the underground mines of the Puno region improved significantly thanks to the automated ventilation system. The results showed better working conditions for employees and a notable reduction in pollution levels. Additionally, the system's automated implementation enables more precise and effective operation, minimizing human intervention and efficiently using existing resources.

This study emphasizes the importance of creating innovative approaches to address environmental challenges related to air quality in underground mining. The automated ventilation system developed in this thesis is a key tool to ensure better working conditions and promote sustainability in the mining industry of the Puno region.

Keywords: Automated System, Ventilation, Air Quality, Underground Mining.



INTRODUCCIÓN

Dado que suministra materiales vitales para numerosas empresas, la minería subterránea es vital para la economía del país. No obstante, esta actividad conlleva peligros considerables para la salud y la protección personal, especialmente en relación con la calidad del aire en las operaciones mineras subterráneas.

La minería subterránea tiene un papel destacado en la economía local, a pesar de los notables problemas de ventilación y gestión de la calidad del aire. La concentración de polvo y sustancias tóxicas y otros contaminantes pueden repercutir perjudicialmente en el medio ambiente y la salud de los empleados.

Frente a este desafío, se plantea la necesidad de crear soluciones innovadoras que optimicen las condiciones en que se trabaja en minas subterráneas y se atenúen los efectos nocivos de respirar aire contaminado.

En consecuencia, la realización de un sistema de ventilación automatizado para maximizar la pureza del aire durante las operaciones mineras en la región Puno es el principal énfasis de este estudio.

La instalación adecuada de un sistema de ventilación automático beneficiaría tanto a la comunidad local como al medio ambiente, además de los operarios de la mina. Asimismo, sentaría un antecedente para la adopción de prácticas más seguras y sostenibles en la minería subterránea en la región de Puno.



CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1. 1 Descripción del problema

El inconveniente que se detecta es la carga de gases contaminantes en el entorno, condiciones adversas en minería subterránea caracterizadas por bajos niveles de oxígeno, exposición a vapores, polvos, humedad elevada y altas temperaturas. La cual presentan riesgos a la salud, enfermedades ocupacionales en los cuales se contemplan soluciones como automatizar un sistema de ventilación para la circulación de aire utilizando sensores que monitoreen los espacios de trabajo con la finalidad de elevar los niveles de pureza del aire, protegiendo así la salud y el bienestar del personal afectado.

1. 2 Formulación del problema

1. 2. 1 *Problema general*

P.G: ¿Cómo se diseña un sistema automatizado de ventilación para mejorar la calidad de aire en minería subterránea de la región Puno, 2024?

1. 2. 2 *Problemas específicos*

PE1: ¿De qué manera se desarrolla un sistema de ventilación automático y eficiente que mejore la calidad del aire y genere un ambiente de trabajo más cómodo y saludable?



PE2: ¿Como se determina el volumen de aire requerido para asegurar una ventilación adecuada en la minería subterránea de la región Puno, 2024?

1. 3 Justificación

En cumplimiento con las normativas vigentes, este proyecto busca optimizar la calidad del aire y garantizar una ventilación adecuada en las operaciones subterráneas. Una ventilación inadecuada puede provocar un menor rendimiento de los trabajadores, un mayor gasto en EPI y un incremento de accidentes. La productividad minera se ve afectada negativamente por estos factores. Ante esta realidad, se considera necesario el desarrollo de este proyecto. Su objetivo es proponer e implementar un sistema de ventilación que contribuya significativamente las condiciones de trabajo, la integridad y la condición de salud laboral del trabajador minero.

Está ventilación automatizada permitirá mantener una evacuación constante de los gases (calidad de aire) Y un flujo adecuado y efectivo del aire fresco, así como su evacuación, para garantizar un nivel mínimo de los mismos de las partículas contaminantes del aire, con el fin de mantener el ambiente subterráneo dentro de los valores máximos permitidos, utilizando técnicas de control el sistema de ventilación propuesto entregara los datos registrados de los sensores con el fin de mejorar la ventilación y crear un ambiente seguro para los empleados.

1. 4 Objetivos de la investigación

1. 4. 1 Objetivo general

OG: Diseñar un sistema automatizado de ventilación para mejorar la calidad de aire en minería subterránea de la región Puno, 2024



1. 4. 2 Objetivos específicos

OE1: Desarrollar un sistema de ventilación automático y eficiente que mejore la calidad del aire y genere un ambiente de trabajo más cómodo y saludable.

OE2: Determinar el volumen de aire requerido para asegurar una ventilación adecuada en la minería subterránea de la región Puno, 2024.

1. 5 Importancia

Este estudio es importante porque permite comprender y resolver un problema crucial para garantizar condiciones de trabajo adecuadas y aumentar la eficiencia de las operaciones. Los hallazgos ayudarán en la toma de decisiones, la optimización de procesos y el desarrollo de un lugar de trabajo más seguro y saludable.

Además, la investigación promoverá el desarrollo sostenible y el bienestar de las personas involucradas en actividades relacionadas, proporcionando una base para futuros proyectos y normas técnicas.

1. 6 Limitación de la investigación

La disponibilidad y exactitud de los datos técnicos utilizados en este estudio, así como la accesibilidad de los datos operativos en el campo, pueden tener limitaciones. De manera similar, la recopilación de datos puede verse afectada por variables externas, incluidas las limitaciones de acceso a las áreas de investigación, los cambios en la actividad operativa o las fluctuaciones en las condiciones ambientales.

Los resultados deben considerarse a la luz de las circunstancias particulares en las que se llevó a cabo el estudio, ya que estas limitaciones pueden afectar la generalización y el alcance de los resultados.



1. 7 Hipótesis de la investigación

1. 7. 1 *Hipótesis general*

El diseño de un sistema automatizado de ventilación en la minería subterránea de la región Puno en 2024 mejorará significativamente la calidad del aire, reduciendo la concentración de contaminantes y optimizando las condiciones de trabajo.

1. 7. 2 *Hipótesis específicas*

HE1: El desarrollo de un sistema de ventilación automático y eficiente mejora la calidad del aire y contribuye a un ambiente de trabajo más cómodo y saludable.

HE2: El cálculo del volumen de aire basado en las características operativas y geológicas de la minería subterránea de la región Puno permitirá asegurar una ventilación adecuada que cumpla con los estándares de calidad del aire en 2024.

1. 8 Variables de investigación

Variable independiente

- Diseño del sistema automatizado de ventilación

Variable dependiente

- Calidad de aire en minería subterránea.

1. 9 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLES	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
VARIABLE INDEPENDIENTE	Diseño del sistema automatizado de ventilación	Arquitectura del sistema	- Identificación de componentes - Integración entre sensores, actuadores y controlador	Bajo – Medio – Alto
		Automatización y control	- Programación del controlador PLC. - Exactitud de respuesta del sistema - Nivel de automatización del flujo de aire	Bajo – Medio – Alto
		Seguridad y cumplimiento normativo	- Cumplimiento con normas de ventilación minera. - Alarmas y paradas de emergencia - Redundancia del sistema	Baja – Media – Alta
VARIABLE DEPENDIENTE	Calidad de aire en minería subterránea.	Concentración de gases contaminantes	- Niveles de CO (monóxido de carbono) - Niveles de CO ₂ (dióxido de carbono) - Niveles de NO _x (óxidos de nitrógeno)	Adecuado – Moderado – Crítico.
		Material particulado y polvo.	- Niveles de O ₂ disponible - Concentración de PM10 - Concentración de PM2.5 - Densidad de partículas en suspensión.	Bajo – Medio – Alto.
		Ventilación y circulación del aire.	- Velocidad del flujo de aire (m/s) - Renovación de aire por minuto (m³/min) - Distribución del flujo en frentes de trabajo.	Deficiente – Regular – Óptimo.
		Índice de habitabilidad minera (seguridad respiratoria)	- Cumplimiento de límites máximos permisibles - Riesgo de exposición del trabajador - Nivel general de seguridad respiratoria.	Bajo – Medio – Alto.

Nota: Desarrollo de las variables de estudio, *Nota:* Elaboración propia.



CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2. 1 Bases teóricas

2. 1. 1 *Nivel internacional*

(Núñez & Valarezo, 2020) en este estudio estableció un sistema de viento efectivo para la concesión minera Cebal, que está ubicada en el distrito minero Zaruma-Portovelo, y especificó un sistema de ventilación adecuado de acuerdo con las especificaciones de la concesión minera Cebal. Durante el análisis del sistema de ventilación fueron determinados numerosas características técnicas y necesidades de personal. Mediante cálculos matemáticos y un análisis económico, este proceso implicó examinar las distancias reales, los caudales necesarios y realizar una investigación de pérdidas. Estos elementos fueron fundamentales para diseñar correctamente el sistema de ventilación, incorporando una nueva turbina que potencia el ventilador principal. Para maximizar el proceso de bombeo de agua subterránea, se determinan una serie de condiciones técnicas para el sistema de drenaje, incluida la capacidad del pozo, el tamaño del diámetro y los caudales. Los datos obtenidos incluyeron un mayor desplazamiento de aire para el diseño de ventilación, facilitando exploraciones futuras, y la elección de una bomba apropiada con un uso más efectivo de los recursos con base en lo que se requiera las específicas de la mina en el sistema de desagüe.

(Aburto, 2019) en su tesis enfoca en proporcionar detalles específicos sobre el área designada y una exposición detallada de la comuna de San Pedro de la Paz. En este



estudio se incluyen factores como la ubicación geográfica. Además, se aborda el impacto negativo de una ventilación deficiente y se examinan los efectos en la salud.

Progresando en la evolución del trabajo, llegamos al Capítulo N° 2, que se centra en el marco teórico. En este apartado se examinan en profundidad los elementos ambientales que afectan el grado de confort térmico y los procesos mediante los cuales se transfiere el calor. Se revisan en profundidad las formas de ventilación, abarcando tanto la que se produce de manera natural como la que requiere mecanismos externos. así como los métodos y marcos involucrados en su aplicación. Además, se discute la legislación vigente, incluyendo normativas nacionales e internacionales, en relación al flujo de aire y su constante recambio.

El capítulo 3 describe el aparato de análisis de la calidad del aire interior de las viviendas tipo 3 del proyecto Foresta 4 y la metodología utilizada para probar los parámetros asociados. En el Capítulo N° 4, se investiga un caso real que involucra las condiciones del aire interior. Las evidencias se contrastarán con las características únicas de la vivienda, considerando espacios específicos como el dormitorio principal, la sala-comedor y el sistema de extracción del baño. También se proporcionará un resumen de estos hallazgos para que puedan compararse con leyes nacional e internacional más recientes. Finalmente, se realizará un análisis y se proporcionarán conclusiones, así como sugerencias para posibles mejoras constructivas.

(Castillo, 2017) en la investigación desarrollada por Atico Mining Co., en Carmen de Atrato, Chocó. La técnica de explotación, la georreferenciación y las características únicas del yacimiento se incluyen en esta contextualización. Un componente clave de este estudio es evaluar el sistema de ventilación, que incluye el análisis del circuito de la mina y el cálculo y medición de los caudales presentes en relación con las operaciones extractivas. Tras las operaciones de voladura, carga y transporte de material, se determinan los requisitos de flujo de aire y se identifican los problemas relacionados con la temperatura y la presencia de gases contaminantes.



Se están identificando las condiciones necesarias para mejorar las condiciones de trabajo, que actualmente se ven obstaculizadas por frecuentes interrupciones debido a un sistema de ventilación deficiente. Estas interrupciones, derivadas de fallas y/o errores en la solución actual, generan no solo gastos sino también inversiones que, en última instancia, contribuyen a mejorar significativamente la producción de la compañía. Adicionalmente, estas acciones se ajustan a los marcos legales y a la regulación colombiana actual.

2. 1. 2 Nivel nacional

(Carpio, 2022) El informe actual, titulado, se centra en mejorar el sistema de ventilación en la Unidad de Explotación Minera (UEA). Esta unidad se dedica a actividades de exploración, preparación y producción, dependiendo de la ventilación natural, así como de sistemas principales y secundarios. Se identificó que el caudal total de ventilación en la mina era de 100,1 Kcfm, siendo el principal inconveniente el hecho de que el 82% de este caudal era necesario para una ventilación adecuada. Este problema afectaba la eficiencia del periodo de ventilación para la remoción de gases ocasionados por voladuras, así como la demanda de una ventilación adecuada en diversas áreas de la mina, aspectos que no se encontraban debidamente incluidos en el sistema existente. En este informe, se efectuó una revisión minuciosa de la ventilación y se realizaron cálculos con el fin de mejorar el sistema existente. Este proceso incluyó un análisis del estado actual de la mina, comenzando con la evaluación de las condiciones operativas. Posteriormente, se usó el software VENTSIM para modelar la ventilación, logrando así optimizar el sistema en la UEA Morococha. Inicialmente, el caudal de aire solo abarcaba el 82% de las necesidades, pero mediante la optimización se logró aumentar el caudal de 100,1 Kcfm a 128 Kcfm, lo que implica una cobertura del 105%. Además, este enfoque permitió identificar modificaciones esenciales en la mina, como la implementación de un ventilador secundario, el cambio de ubicación de los ventiladores y el sellado hermético de las puertas.

(Aranda, 2020) La meta de este estudio fue explorar cómo al automatizar el sistema de ventilación (SCADA), específicamente la regulación de gases dentro de la mina, impacta en la eficiencia de la red de distribución eléctrica en la Compañía Minera, durante el año 2019. Se aplicó el método científico, utilizando un enfoque hipotético-deductivo basado en la observación. La investigación se clasificó como explicativa y de naturaleza aplicada. El diseño de la tesis adoptó un enfoque no experimental de tipo transversal. La población se centró en las galerías donde se implementó el sistema SCADA para la ventilación, y la muestra se seleccionó de manera no probabilística en el troncal 1. El análisis de los componentes instalados en esta sección se consideró como una contribución al objetivo de determinar la mejora en la eficiencia del reparto de energía eléctrica.

Se ha establecido que los parámetros operativos del sistema de ventilación, controlado por automatizar un SCADA, guardan una correlación positiva y moderada con el monitoreo de las condiciones operativas del motor que impulsa el sistema de ventilación en relación con su temperatura y vibración. Sin embargo, en lo que respecta a controlar la velocidad del flujo de aire, esta relación generalmente es despreciable, ya que está más vinculada a la ventilación dentro de la mina y no se relaciona de forma directa con la distribución eléctrica, sino con la interpretación de datos provenientes de anemómetros.

En cuanto a los parámetros eléctricos, específicamente al comparar con la potencia distribuida, se ha determinado una conexión positiva de carácter moderado. Esto sugiere que la automatización mediante SCADA contribuye de manera adecuada al mejoramiento de la distribución de energía eléctrica, mediante un control eficaz de las actividades relacionadas con la ventilación.

(Vidal, 2020) En el proyecto la adecuada ventilación de las minas requiere una atención meticulosa para suministrar el aire, un elemento vital para la vida en general. conforme el aire se desplaza a través de la mina, experimenta cambios y se describe en forma de combinación gaseosa generada mecánicamente. En su estado puro y seco, siguiendo las composiciones recomendadas por las entidades de seguridad consideran

que el aire seco se encuentra en atmósferas normales. El aire normal contiene humedad, con un contenido de vapor de agua que varía de 0.1 a 3% en volumen, siendo habitualmente superior al 1% en las galerías mineras. Este fluido presenta características tales como ser incoloro, inodoro y sin sabor.

Se destacó que el aire experimenta cambios al interior de una mina, con una considerable disminución del oxígeno, un aumento del anhídrido carbónico, así como cambios en el porcentaje de nitrógeno y vapor de agua.

Dentro de la mina, el aire se compone de la atmósfera y gases activos, que suelen estar presentes en las galerías mineras en proporciones que van desde décimas hasta incluso unidades de porcentaje, conocido como "soroche". Es crucial proporcionar aire puro con niveles suficientes de oxígeno para preservar la vida humana en las minas. Entendemos que el equipo de respiración proporciona oxígeno al cerebro y la sangre, permitiendo la eliminación del anhídrido carbónico, garantizando de este modo, la salud laboral del trabajador.

El tema de la ventilación debe ser tratado por expertos en mecánica, minería y energía, quienes también deben poseer conocimientos en normativas relacionadas con la seguridad e higiene ocupacional, así como los conocimientos en seguridad e higiene en el entorno laboral, junto con la comprensión de la minería y las nociones básicas sobre la construcción de túneles.

2. 2 Conceptos fundamentales

2. 2. 1 La ventilación en excavaciones subterráneas

(Herrera, 2019) indica que conoce como "aire" o "atmósfera de mina" a la combinación de gases presentes en los espacios o pasajes de una mina. Se considera "fresco" cuando es adecuado para la respiración, "viciado" cuando no es adecuado para una respiración saludable, "tóxico" por contener gases o partículas que pueden causar enfermedades, y "explosivo" si contiene gases o partículas que, en la cantidad correcta, generan explosiones. (pág. 7)

El manejo de la atmósfera dentro de una mina subterránea es fundamental para su operación, dado que ejerce influencia en

- Cuidado del personal en el proceso operativo.
- Aumento de la eficiencia en la mina, alcanzado mediante la creación de ambientes laborales más cómodos.
- Garantía de seguridad en todas las actividades operativas.

Por consiguiente, es crucial que la ventilación mantenga un ambiente dentro de la mina que proporcione condiciones ambientales y de seguridad óptimas para el trabajo.

En este entorno, las funciones fundamentales de la ventilación son:

- Proveer el oxígeno requerido para la respiración.
- Mantener una temperatura aceptable.
- Dispersar y eliminar el polvo que se genera.
- Dispersar y eliminar los gases producidos por las actividades subterráneas (como explosiones de arranque, carga, transporte, trituración y conminución, entre otras).
- Dispersar los gases nocivos originados o liberados dentro de la mina.

La ventilación minera emerge como la herramienta más adaptable para regular y preservar la atmósfera dentro de la mina.

Figura 1

Ventilación subterránea



Nota. UM san Rafael - Minsur Nv4000

Importancia de la ventilación en mina

Para enfatizar la relevancia de la ventilación en la operación minera, se suele contrastar el peso del aire en movimiento en las labores mineras con el peso de los minerales extraídos. Esta comparación demuestra que el peso del aire es habitualmente mucho mayor. Por ejemplo, en las minas de carbón francesas en 1960, el peso del aire era aproximadamente 7,5 veces el tonelaje extraído.

Es comprensible que el requerimiento actual no fueran los mismos en el pasado, ya que en aquel entonces los ritmos de explotación en las minas diferían de los actuales. En consecuencia, es importante tener en cuenta que los estándares de confort y seguridad implementados actualmente son considerados más estrictos. Esto conlleva a un aumento en la cantidad y dimensiones de los ventiladores en cada sistema de ventilación, y también a una mejora en su control.

Hoy en día, las actividades mineras subterráneas dependen en gran medida del uso extensivo de equipos diésel, los cuales son de considerable tamaño y potencia. Debido a esto, ha sido necesario realizar ajustes estratégicos en las técnicas de ventilación.

A la investigación y supervisión de entornos mineros subterráneos con concentraciones de gases significativamente más altas que en épocas de menor mecanizado de los procesos mineros.

A las emisiones de gases provenientes de las formaciones rocosas en las minas, se añaden frecuentemente concentraciones elevadas de gases tóxicos generados por el funcionamiento de equipos diésel, lo que resulta en un incremento considerable de los volúmenes de aire de ventilación necesarios para disipar y eliminar la contaminación producida.

Asimismo, estos elevados flujos de aire fresco requeridos han generado la necesidad de construir galerías de dimensiones considerablemente amplias y adquirir equipos ventiladores de gran tamaño y potencia eléctrica, lo que conlleva a una inversión considerable.

El gasto energético asociado a la ventilación es considerablemente elevado. Basta con tener en cuenta que el volumen de aire circulante en una mina correctamente ventilada, el peso del aire en circulación a menudo excede varias veces el peso del mineral extraído.

La ventilación representa entre el 40 y el 60 % de los gastos totales de energía eléctrica en una mina subterránea. No obstante, los costos energéticos constituyen solo una parte del costo total de la ventilación, ya que también se deben considerar los gastos asociados logrando recuperar la inversión y el mantenimiento de los ventiladores, así como el trabajo de distribución del flujo de aire y el personal encargado del monitoreo y control.

El gasto relacionado con la ventilación no debe ser subestimado y debe ser cuidadosamente gestionado. No obstante, el costo por sí solo no proporciona una comprensión completa de la importancia de esta acción en la operación minera y cómo afecta los costos generales.

Se ha comprobado que un ambiente con una ventilación deficiente reduce significativamente la eficiencia de los operadores, a la vez que se incrementa la periodicidad de mantenimiento de los equipos. Esto suele implicar tareas como limpieza o reemplazo de filtros, oxidación de componentes debido a una mayor humedad, y problemas como el agarrotamiento de piezas, entre otros.

Es común que, para garantizar un flujo adecuado de aire en cada zona laboral, se requiera dimensionar las vías de acceso para la ventilación, mucho más amplias de lo que sería necesario únicamente para el transporte de personal, materiales o para la extracción de la producción minera. Con frecuencia, los operadores mineros se ven obligados a llevar a cabo trabajos de infraestructura especiales que están determinados por las necesidades de ventilación. Si todos los trabajos mineros que se vuelven necesarios debido a la ventilación se asignaran exclusivamente a este aspecto, los costos resultantes serían considerablemente más altos que los mencionados anteriormente.

Si además nos encontramos en explotaciones mineras donde surgen problemas con la emisión de gases como metano, y en el que se concentra la actividad laboral debe ser limitada debido al incremento en la rapidez con que avanzan los frentes mineros,

debido a la limitación para lograr una ventilación adecuada que reduzca los niveles de metano a niveles aceptables, resulta evidente los desafíos adicionales que pueden surgir en términos de reducción. En muchas ocasiones, la producción debe ser reducida e incluso suspendida temporalmente debido a la insuficiencia de ventilación. En esta situación, la ventilación pasa a ser el principal condicionante de la actividad minera. Si se atribuyeran todas las reducciones de producción causadas por la falta de ventilación a este aspecto, su impacto en la economía de la explotación sería significativo, como es fácil de comprender. de la producción.

La ventilación en una mina presenta desafíos complejos

Las dificultades asociadas con el establecimiento de una ventilación efectiva y adecuada aumentarán debido al incremento en la profundidad promedio de las operaciones mineras, así como por la mayor concentración y velocidad de avance resultante del desarrollo de técnicas avanzadas de extracción y soporte. Para aprovechar al máximo estos avances, es crucial no estar restringido por una ventilación deficiente.

En la actualidad, los desafíos principales que enfrenta la ventilación en las minas son predominantemente de naturaleza técnica y están dirigidos a mejorar las condiciones atmosféricas en los lugares de trabajo, particularmente en las minas de gran profundidad, donde las condiciones térmicas y de presión del terreno resultan fundamentales a considerar. En efecto, las elevadas temperaturas presentes en minas de gran profundidad requieren que los sistemas de ventilación se complementen con equipos de enfriamiento de aire, lo que conlleva un aumento significativo de costos que a veces resulta insostenible.

Sin embargo, existen otros aspectos a considerar. Durante la fase operativa, hay elementos que afectan al adecuado desempeño del sistema de ventilación y no están relacionados con aspectos técnicos, sino más bien con aspectos culturales o de educación, como el hecho de no cerrar adecuadamente las puertas, mantener apagados los ventiladores o una calidad deficiente o ejecución inadecuada de los trabajos en cerramientos.

Esto impacta directamente en la eficacia de los sistemas de ventilación y compromete la seguridad y la salud de todos los que laboran y supervisores presentes en las áreas de producción.

Los problemas vinculados pueden ser categorizados en tres áreas:

- Errores en el diseño, usualmente asociados con una falta de información adecuada sobre los aspectos relevantes que deben ser considerados.
- Implementación y mantenimiento deficientes, relacionados con prácticas inadecuadas, como utilizar un ventilador disponible en lugar del requerido, utilizar una manga de tamaño inferior o no mantener las mangas correctamente (parcheando agujeros en lugar de cambiarlas cuando se requiera).
- Cambios en los requisitos una vez que el sistema ha sido diseñado, lo que podría ocasionar implementar inadecuadamente el sistema.

La atmósfera en excavaciones subterráneas

El ambiente dentro de una mina, ya sea subterránea o a cielo abierto, se refiere al aire presente en su interior. Debido a la característica propia de la actividad minera, este aire está compuesto por una mezcla de gases, polvo y partículas originadas por:

- Las oxidaciones (derivadas de la respiración, descomposición de materia orgánica, motores de combustión interna, explosivos, etc.): CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂, y material particulado.
- Los gases inherentes a la naturaleza de la mina: CH₄, SH₂.
- El polvo de roca generado por las actividades mineras: polvos de carbón y de roca (sílice).
- Además, otras sustancias también pueden estar presentes.

Los principales elementos que influyen en la atmósfera de una mina son

- La temperatura (que varía según la profundidad, la generación de calor corporal, la maquinaria en uso y las reacciones de oxidación),
- La humedad

- Nivel de contaminación.

Como se mencionó previamente, el propósito de la ventilación es garantizar que la atmósfera dentro de la mina sea adecuada para desempeñar labores en un entorno seguro y cómodo. Por ello, la ventilación en la minería debe suministrar un flujo de aire adecuado en cuanto a la cantidad y calidad necesarias para eliminar la contaminación dentro de niveles seguro.

Asimismo, esto debe ser utilizado en todas las secciones donde el personal esté desempeñando funciones. Por lo tanto, se necesita un sistema eficaz que cumpla de manera óptima con las demandas de la actividad minera, al tiempo que sea lo suficientemente rentable y confiable.

Figura 2

Excavación subterránea



Nota: UM san Rafael

Constitución del aire atmosférico en el interior de la mina

El aire atmosférico seco que normalmente respiramos es una combinación de gases que contiene aproximadamente un 21% de oxígeno y un 78% de nitrógeno en volumen. Además, contiene trazas variables de monóxido de carbono y vapor de agua, al igual que las cantidades muy pequeñas de gases raros como helio, neón, argón, kriptón, entre otros.

Tabla 2*Composición del aire seco*

COMPOSICION DE AIRE SECO		
GAS	% EN VOLUMEN	% EN PESO
NITROGENO – N ₂	78,09	75,53
OXIGENO - O ₂	20,95	23,14
MONOXIDO – CO ₂	0.03	0.046
OTROS	0,93	1,284

Nota. elaboración propia

El porcentaje de vapor de agua presente en el aire suele oscilar entre el 0,05% y el 4%, en función de la zona geográfica, con un promedio cercano al 1%. No obstante, esta variación no afecta la relación existente entre el oxígeno y el nitrógeno en la atmósfera.

Cuando el aire ingresa a la mina, experimenta un deterioro y es necesario aplicar técnicas para restaurarlo lo más cercano posible a su estado original exterior. Este deterioro del aire se debe a diversos motivos, destacando entre ellos:

- Procesos de oxidación y descomposición de materiales como hierro, madera y carbón, entre otros.
- Emisiones de humos y gases durante explosiones.
- Emisión de gases desde las formaciones rocosas (también conocidos como gases de estratos), los cuales migran hacia la excavación debido a la actividad minera.
 - El metano es comúnmente encontrado en la minería del carbón y se desplaza a través de los estratos debido a cambios en la presión causados por la actividad minera. Su rango explosivo se encuentra entre el 5% y el 15%.
 - Los gases presentes en los estratos no están limitados solo a los sedimentos, sino que también pueden provenir de rocas ígneas.
- Emisiones gaseosas originadas por aguas subterráneas.
- Exhalación humana, y anteriormente también animal (como en establos utilizados para el transporte de vagonetas).

- Incremento en los niveles de humedad.
- Polvos generados por las actividades mineras.
- Incendios y explosión.
- Emisiones de hidrógeno provenientes de baterías

Dependiendo de su concentración, estos componentes pueden representar un riesgo tanto por su toxicidad inherente como por su capacidad de reducir Para comprender las características de la atmósfera dentro de una mina, se realizará un estudio de los compuestos gaseosos más frecuentes en minas subterráneas. Este análisis considerará aspectos como el peso específico de los gases en relación con el aire, sus propiedades físicas y químicas, las consecuencias en la salud humana relacionadas con la cantidad presente, los límites permisibles en el flujo de ventilación de la mina, se origina en las actividades subterráneas, así como los equipos que posibiliten detectarlos y cuantificarlos de manera funcional y eficaz los niveles de oxígeno en el ambiente.

Tabla 3*Gases en atmosfera de mina*

GASES EN ATMOSFERA DE MINA				
GAS	DENSIDAD RELATIVA (aire=1)	EFFECTO	ORIGEN	LMP
CO	0'97	TOXICO (explosivo)	Oxido, carbón, combustibles incompleta voladura	25ppm
CO ₂	1'53	asfixiante	Formación, combustión, voladura	5000ppm
NO+NO ₂	1'59	toxico	Motores térmicos, voladura	10ppm
SH ₂	1'19	Toxico (explosivo)	Acción del agua sobre pirita o yeso	10ppm

SO ₂	2'26	toxico	Combustión motores voladura en piritas	pirita, 5ppm térmicos,
H ₂	0,07	explosivo	Formación gasificación carbón recarga de baterías	1000ppm
CH ₄	0,55	explosivo	Formación	8000
ALDEHIDOS	1'17	toxico	Motores térmicos	2ppm
CNH ₂ NO				
RADON	7'66	radiactivo	Formación	130000mev

Nota: Elaboración propia

Ventilador

(zitron, 2007) Es equipo que proporciona energía a un fluido (ya sea aire o gases), generando el aumento de presión requerido (Presión Total) para mantener un flujo constante de este fluido. Para llevar a cabo esta tarea, el ventilador necesita una potencia aplicada al eje del motor.

La curva característica de cada ventilador se determinará por su conjunto de puntos de operación correspondientes a cada ángulo de ajuste de los álabes. Así, habrá una curva característica diferente para cada ángulo. El punto en el que la curva del ventilador intersecta con la resistencia del circuito representa su punto de operación. (pág. 6)

Tipos de ventiladores

En todo el mundo, para trasladar grandes cantidades de aire en operaciones subterráneas, así mismo dentro de las minas como en la superficie. En cambio, los ventiladores centrífugos se emplean de manera extensiva en sistemas de ventilación industrial gracias a su habilidad para crear grandes caídas de presión con volúmenes de aire moderadamente pequeños.

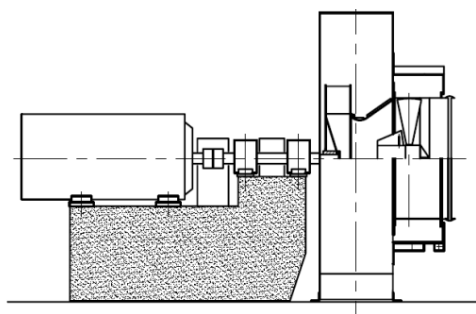
En general, los ventiladores se clasifican en tres tipos principales: ventiladores de hélice, axiales y centrífugos. Cada modelo puede tener diversas posiciones de salida y distintos mecanismos para accionar el rodete. (zitron, 2007, pág. 6)

Ventilador centrífugo

(zitron, 2007) Comprende un rotor contenido dentro de una carcasa de forma espiral. El aire, al ingresar por medio del centro del rotor en paralelo con el eje del ventilador, es succionado por el rotor y lanzado hacia la carcasa, donde es expulsado mediante una salida a 90 grados respecto al eje. Este tipo de ventilador puede contar con una entrada única o doble. Se clasifican como ventiladores de flujo radial, ya que el flujo de aire sigue la dirección del rotor a la entrada y es perpendicular a este en la salida. (zitron, 2007, pág. 6)

Figura 3

Ventilador centrífugo



Nota: Zitron, 2007

Ventilador de hélice

Consta de un impulsor alojado dentro de un anillo o carcasa. El flujo de aire se desplaza en paralelo al eje del ventilador. Se usa en aplicaciones donde la resistencia al flujo es mínima. Es capaz de desplazar elevados volúmenes de aire a presión estática reducida. (zitron, 2007, pág. 8)

Ventilador axial

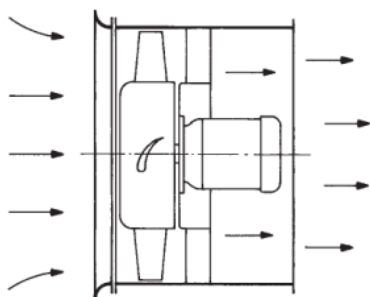
Se caracteriza por su diseño aerodinámico. Se compone principalmente de un rotor alojado dentro de una envoltura cilíndrica o carcasa. Al añadir álabes guía detrás del rotor, el ventilador axial se convierte en un ventilador turbo axial.

Tiene la capacidad de operar en una variedad de flujos de aire desde presiones estáticas bajas hasta relativamente altas, y es capaz de producir presiones estáticas más

altas que un ventilador centrífugo, lo cual incrementa notablemente la eficiencia. Los álabes guía, ubicados en la entrada o salida del aire, o en ambos puntos, se han incorporado para rectificar el flujo de aire fuera de la unidad, al mismo tiempo que proporcionan soporte en el diseño. (zitron, 2007, pág. 9)

Figura 4

Ventilador axial



Nota: zitron, 2007

Comparativa de ventiladores axiales frente a ventilador centrífugos

(zitron, 2007) Indica lo siguiente:

Los ventiladores axiales proporcionan una mayor eficiencia en una amplia gama de condiciones de operatividad, por su parte los ventiladores centrífugos son capaces alcanzar niveles de operación elevados, pero solo dentro de un intervalo sumamente limitado y en una sola curva característica. Este aspecto es crucial debido a que el costo de la energía es un factor determinante. Por lo tanto, el desempeño adquiere una importancia primordial, y naturalmente, se buscará alcanzar rendimientos elevados en una amplia gama de puntos de operación, una meta es bastante más complejo de alcanzar en ventiladores centrífugos que en los axiales.

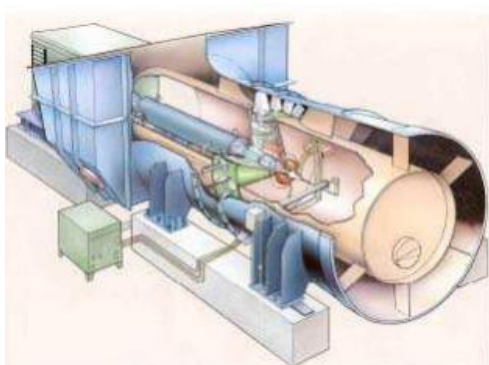
Si un ventilador centrífugo diseñado para operar en un punto específico debe funcionar en situaciones cambiantes, como alteraciones en la tolerancia del medio minero, es factible que experimente una significativa reducción en su eficiencia.

Los ventiladores axiales presentan un rendimiento mecánico superior en comparación con los ventiladores centrífugos, dado que estos últimos El accionamiento del

rodete se realiza desde el motor por medio de correas u otros dispositivos de transmisión. Esta configuración conlleva una serie de complicaciones adicionales comparados con los ventiladores axiales. Además de la pérdida de eficiencia asociada con la transmisión, es más probable que se produzcan fenómenos de vibración debido a la mayor complejidad mecánica del sistema. (zitron, 2007, pág. 9)

Figura 5

Sistema de ventilador axial

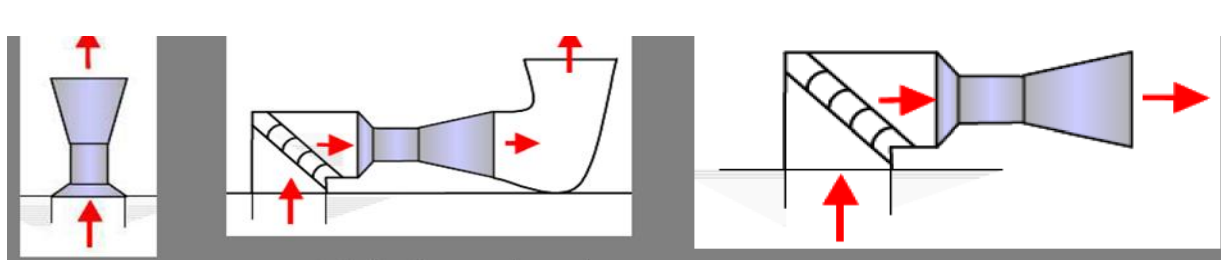


Nota: Zitron, 2007

Ciertos ventiladores centrífugos presentan dificultades en el sistema de transmisión, como el deslizamiento de las correas, la pérdida de tensión o una tensión excesiva que podría dañar los rodamientos. Además, hay un riesgo de que las correas se rompan cuando están expuestas a temperaturas elevadas.

Tipo de configuración de un ventilador

(zitron, 2007) Menciona los ventiladores pueden clasificarse según su diseño en horizontales o verticales. Aunque los ventiladores horizontales son los más comunes, los verticales resultan más recomendables para cierta aplicación específica. Esto es especialmente evidente en los ventiladores utilizados en minería profunda, donde la disposición vertical disminuye las pérdidas de carga del sistema al eliminar la necesidad de construir codos para regular el flujo. Estos codos generan pérdidas significativas de carga, lo que requiere una mayor potencia de instalación. Este inconveniente se evita mediante la configuración de un ventilador vertical. (pág. 10)

Figura 6*Configuraciones clásicas para ventiladores axiales**Nota: Zitron, 2007*

Podemos observar en las ilustraciones las tres disposiciones clásicas para ventiladores axiales utilizados en la extracción de aire en minas subterráneas. En la esquina superior izquierda, encontramos la disposición vertical; en la esquina superior derecha, la disposición horizontal con salida vertical; y a la izquierda, la disposición horizontal con salida horizontal. Es evidente la exigencia de instalar un codo para direccionar el flujo de aire hacia el ventilador, lo cual presenta las complicaciones que ya se ha analizado.

Otra manera de clasificar los ventiladores se basa en la función que desempeñan. En efecto, un ventilador puede ser utilizado para extraer aire viciado o para impulsar aire fresco. Por lo general, los ventiladores de impulsión de aire son más simples que los de extracción. Los que mencioné anteriormente deben estar adaptados, dependiendo de la aplicación, para remover aire que pueda contener sustancias abrasivas, humos calientes o gases explosivos. En tales situaciones, se requiere una protección más estricta para el ventilador en su totalidad. Además, los motores pueden estar encapsulados para prevenir daños causados por la abrasión o una atmósfera corrosiva (situaciones comunes en la industria minera), o pueden ser resistentes a la temperatura durante un período determinado (como sucede con los ventiladores empleados para extraer humos en emergencias en túneles).

Figura 7*Extracción aire abrasivo**Nota: Zitron, 2007*

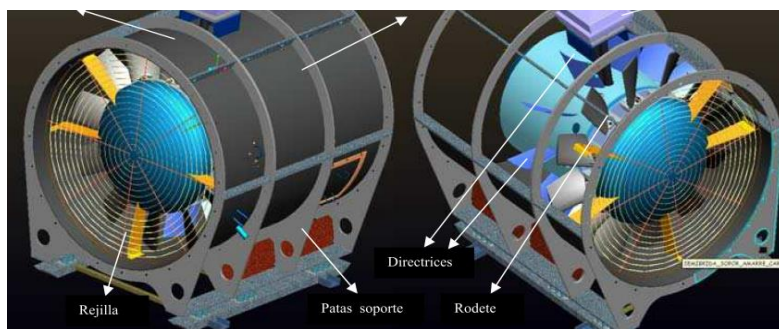
Componentes de los ventiladores axiales

- La sección operativa del ventilador, que constituye el componente principal donde se encuentran alojados el motor, el impulsor de paletas y las guías de dirección. Usualmente, esta parte se compone de dos envolturas, la envoltura del impulsor y la envoltura del motor.
- Una compuerta motorizada de acción tipo "encendido o apagado" típicamente un regulador de flujo de aire compuesto por lamas paralelas o una estructura similar a una guillotina.
- El difusor, cuya función principal es disminuir la velocidad del flujo de aire al salir de la sección operativa, con el objetivo de la reducción de la presión dinámica y, por ende, disminuir la pérdida de carga en términos de presión.
- Las carcasas de medición son estructuras complementarias donde se registran los parámetros de presión y caudal del ventilador. Normalmente, se coloca una en el lado de aspiración de la sección operativa del ventilador. Ocasionalmente, puede estar incorporada en la sección operativa del ventilador, dentro de la envoltura del impulsor, aunque esto requeriría que fuera más extensa.

El impulsor del ventilador está formado por las paletas y el cubo o estructura que sostiene las paletas, donde se unen para mantenerse unidas mientras el motor que lo impulsa está en funcionamiento y girando.

Figura 8

Componentes del ventilador axial



Nota: Zitron, 2007

El control de la ventilación en las minas

Su tarea no se limita únicamente a asegurar una circulación de aire adecuado en todas las galerías y áreas de explotación para asegurar la integridad, la salud y el bienestar del personal que labora. También debe buscar minimizar los costos asociados con la ventilación. Para lograr esto de manera eficiente y sencilla, se deben cumplir tres requisitos esenciales:

- Es esencial asegurar una medición precisa del flujo de ventilación.
- Es necesario que el sistema de ventilación y sus elementos sean seguros y de alto rendimiento.
- Se requerirá establecer un sistema de documentación para las mediciones de ventilación, concebido para proporcionar toda la información requerida para un control completo del sistema de ventilación en la mina.

Control automático

Ha avanzado rápidamente, sentando las bases de lo que algunos autores denominan la segunda revolución industrial. El desarrollo y la sofisticación de la tecnología industrial de medición y control han llevado a la adopción generalizada de enfoques de control automático de procesos. (Álvarez, 2007, pág. 71)

El uso de la idea de retroalimentación, que implica medir el proceso para recopilar datos sobre el estado actual de la variable a regular, constituye la base de todo sistema de control automático. La característica principal de este principio es que mantiene informado al controlador central sobre las variables, lo que permite tomar medidas correctivas según sea necesario. La misma idea se aplica en una variedad de campos, incluido el control de procesos. (Álvarez, 2007, pág. 71)

Figura 9

Control Automático



Nota: Elaboración propia

Simatic HMI KTP-700 Basic

Sirve como intermediario para rastrear y participar simultáneamente en la evolución de un proceso industrial. Considerando la importancia fundamental de controlar y supervisar las actividades industriales como el proceso en sí, este instrumento es ahora indispensable. Han evolucionado de ser herramientas básicas para comunicar al operario y el proceso a pasar a formar parte fundamental. La incorporación de interfaces HMI se realiza dentro de toda la jerarquía que conforman la automatización industrial, desde soluciones simples hasta sistemas de alta complejidad. Asimismo, se observa una tendencia en aumento hacia la compatibilidad con los principales protocolos de comunicación, como PROFINET, MODBUS TCP y PROFIBUS. Además, las últimas generaciones de interfaces HM, incorporan funciones que antes eran exclusivas de dispositivos de automatización y control, como los PLC. Esto les permite registrar datos de monitoreo y control, así como ejecutar tareas de control. (pág. 18)

Saber por qué se requiere una HMI es una buena idea antes de comenzar a hacer su selección. Proporcionar temporizadores, proporcionar guías operativas y generar una visualización gráfica más intuitiva son algunas de las actividades principales que pueden necesitar ser completadas. También pueden realizarse otras actividades, como la sustitución de dispositivos mecánicos, por ejemplo, selectores.

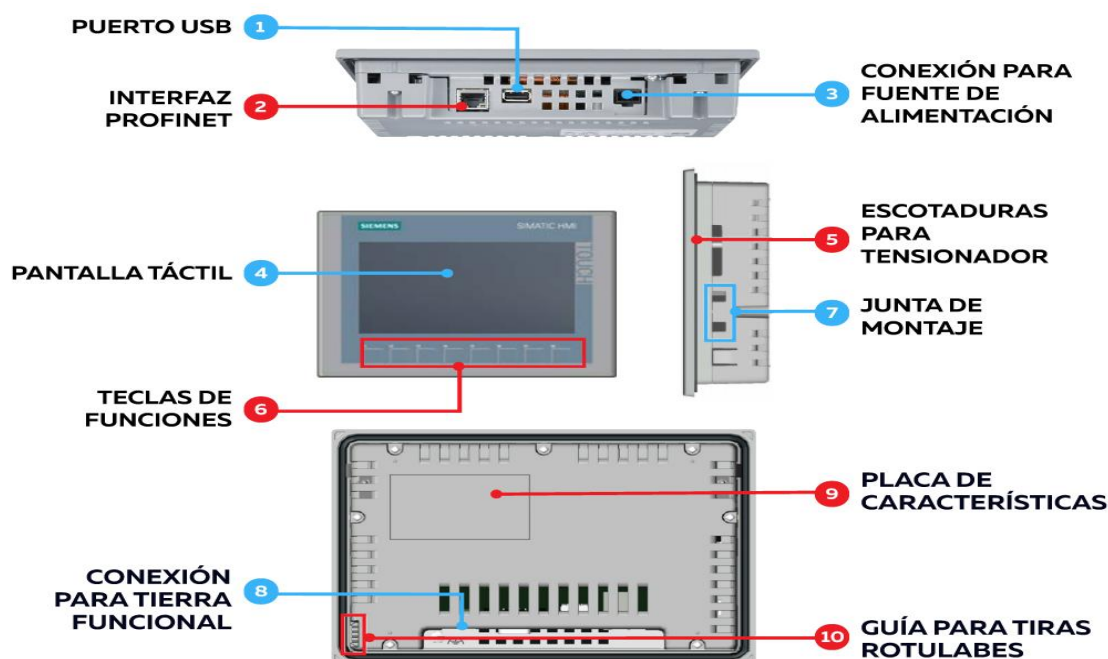
Puesto que la HMI no posee las funciones de registro de datos que ofrece un sistema SCADA, la considerando la importancia fundamental del control y la supervisión en los procesos industriales por las limitaciones propias de la pantalla.

La decisión sobre las dimensiones y la resolución varían según los requerimientos del sistema de acuerdo con la aplicación, es importante tener en cuenta tanto la cantidad de información que se visualizará en la pantalla como los comandos que deberán ejecutarse. Estos aspectos serán clave para definir el tamaño adecuado. Esto ayudará a determinar el tamaño del display a utilizar, que generalmente varía entre 4" y 19" (y otros tamaños menos habituales). También es necesario determinar si se requerirá un teclado adicional junto con la pantalla táctil, o si esta última por sí sola será suficiente.

Mayormente las pantallas actuales son a color, también existe la opción de utilizar pantallas monocromáticas. La decisión entre una u otra dependerá de varios factores, como el presupuesto disponible y La función particular que cumplirá la pantalla. (pág. 19)

Figura 10

Vista periférica HMI KTP700Basic



Nota: Suiler altamirano, control

Controladores lógicos programables

Son en la actualidad la tecnología más ampliamente utilizada para controlar procesos industriales. Un PLC es un dispositivo computacional diseñado para entornos industriales, el cual puede ser programado para ejecutar tareas de control. Estos controladores han reducido significativamente el cableado asociado con los circuitos de control convencionales basados en relés, y ofrecen otros beneficios como de programar e instalar de fácil manera, control de mayor velocidad, es compatible en red, diagnóstico de errores y conveniencia de prueba, así como una alta confiabilidad. (Petruzella, 2014, pág. 1)

El controlador lógico programable está concebido para gestionar diversas entradas y salidas, soportar intervalos térmicos amplios. ser resistente al ruido eléctrico y tolerar

vibraciones e impactos. Los programas para controlar y operar equipos de procesos de fabricación y mecanismos suelen almacenarse en memoria no volátil o con batería incorporada. (Petruzella, 2014, pág. 1)

Independientemente del proceso que se pretenda regular, un autómatas industrial programable es un dispositivo eléctrico con su propio cableado interno. A través de un programa específico que contiene el orden de las operaciones a realizar, se ajusta al proceso. Las señales de entrada y salida del proceso se utilizan para determinar esta secuencia, las cuales se conectan directamente a los terminales de conexión del autómatas (Balcells & Romeral, 1997, pág. 67)

Figura 11

PLC S7-1200 Siemens.



Nota: Suiler altamirano

Ventajas y desventajas

(Rodríguez y otros, 2014) El uso de una tecnología en lugar de otra implica una serie de beneficios y desventajas. (pág. 10) Entre los beneficios se incluyen:

Flexibilidad para realizar cambios sin necesidad de modificar el cableado.

Reducción del tiempo de inicio de funcionamiento al reducir el cableado.

Ahorro en costos de personal requerido durante la instalación.

Disminución de los gastos de mantenimiento gracias a la confiabilidad de los autómatas y la capacidad de detectar averías.

Capacidad para recopilar datos históricos gracias a la memoria de almacenamiento.

Obtención de datos operativos en tiempo real.

Capacidad para establecer comunicación con otros autómatas.

Desventajas

Sin embargo, uno de los desafíos incluye la necesidad de disponer con trabajadores técnicos altamente calificado con el fin de ejecutar la programación de los autómatas.

Los controladores son modulares, lo que significa que están formados por múltiples módulos, cada uno de los cuales cumple una función en particular, como entradas analógicas, digitales, salidas, comunicaciones, entre otras. Esto facilita la ampliación del sistema para satisfacer los requisitos.

Semicompactos, ya que la mayoría de los módulos están agrupados, aunque algunos, como la Nota de alimentación o las comunicaciones, pueden estar separados.

Simatic S7-1200

(Cares & Andrades, 2022) Este controlador compacto simplifica la realización de operaciones productivas de baja complejidad, pero alta precisión. Su arquitectura es escalable y adaptable a diversos entornos operativos, ofreciendo cinco tipos de CPU que minimizan las condiciones dimensionales requeridas integrado en el panel de control por su flexibilidad y adaptable, el software presenta una curva de aprendizaje baja y resulta intuitivo de utilizar, ya que emplea símbolos y menús uniformes en todas sus interfaces, lo que facilita la navegación.

Los controladores S7-1200 ofrecen soluciones compactas, escalables y flexibles para las operaciones productivas. Este hardware está disponible en versiones estándar y de seguridad. Con entradas/salidas integradas, interfaz integrada, soporte para PROFINET, capacidades de conexión a HMI. (pág. 12)

Aspectos principales de S7-1200

Incluyen:

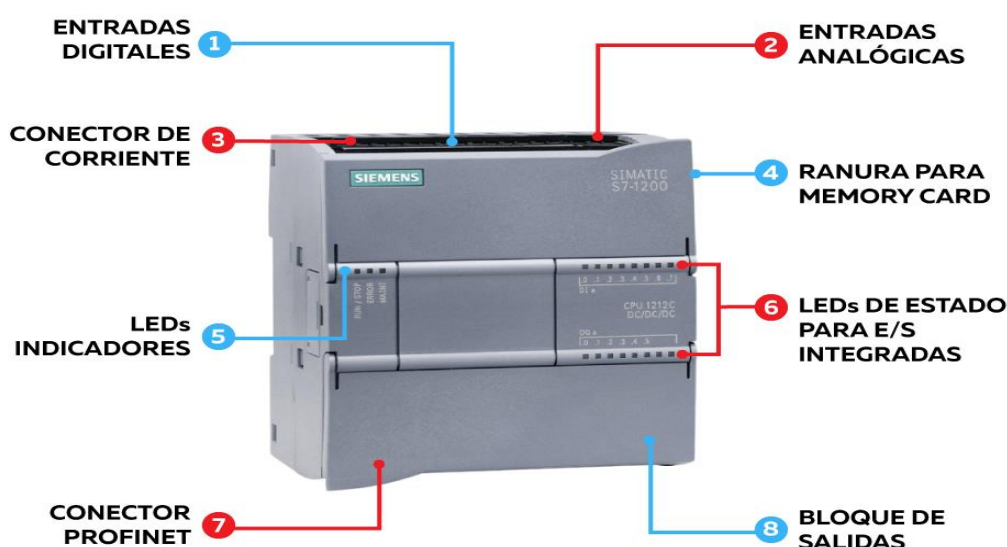
- Potente capacidad de procesamiento con cálculo de 64 bits.
- Interfaz Ethernet / PROFINET integrada.

- Integración de entradas analógicas.
- Disponibilidad de bloques de función para la gestión de ejes bajo las especificaciones de PLCopen.
- Utilización de la herramienta de software TIA PORTAL.

Con el equipo S7-1200, los operadores de mantenimiento y los gerentes pueden anticipar contingencias y tomar decisiones proactivas al obtener información de diagnóstico transmitida previamente, garantizando de este modo, se garantiza la secuencia adecuada de cada proceso.

Figura 12

PLC SIMATIC S7-1200



Nota: Suiler altamirano

Comunicaciones industriales

(Rodríguez y otros, 2014) Un sistema automatizado no necesita operar de forma independiente, tampoco está formado únicamente por un único autómatas. En la actualidad, los autómatas requieren establecer comunicación con otros autómatas y dispositivos, lo que hace indispensable la implementación de una red de comunicación para entornos industriales. Los buses de comunicación se utilizan para promover la transmisión de información ágil y efectivo con el mínimo cableado necesario. (pág. 316)

Aunque hay varias soluciones disponibles, algunas de las más comúnmente utilizadas en la actualidad incluyen:

Modbus.

Profibus.

AS-i.

Ethernet

Comunicación modbus

Se trata de un protocolo de comunicación antiguo utilizado para establecer la transferencia de datos de control entre el sensor y el controlador vía RS-232, utilizando un tipo de enlace exclusivo entre dos puntos. Carece de estandarización y se fundamenta en una filosofía de maestro-esclavo. Tiene dos modos de funcionamiento: uno en modo ASCII, donde se transmiten dos caracteres (2 bytes) por mensaje, y otro en modo RTU, donde se transmiten cuatro caracteres por mensaje. Existe una variante que utiliza comunicación a través de RS-485 para mejorar su rendimiento. El medio físico de transmisión Se utiliza cable de par trenzado acompañado de una Nota de alimentación separada para cada dispositivo.

Aunque presenta ciertas limitaciones, este protocolo aún se emplea en instalaciones existentes, aunque hoy en día se están haciendo intentos para revivirlo utilizando Modbus sobre TCP/IP

Figura 13

Módulo de comunicación CM 1241, RS422/485



Nota: Suiler altamirano, control +

Comunicación ethernet industrial

Esta comunicación se utiliza principalmente en los siguientes casos:

- Transmisión de grandes cantidades de información.
- largas distancias entre dispositivos.

Originalmente, la comunicación se realizaba a través de cable coaxial, con el tiempo el sistema ha evolucionado utilizando diferentes medios de transmisión física, como el par trenzado o la fibra óptica, lo cual ha hecho posible alcanzar mayores velocidades de transmisión y aumentar el ancho de banda. Los conectores utilizados son del tipo RJ-45, en la actualidad, permiten la comunicación inalámbrica. Las velocidades de transmisión son de 10, 100 y 1.000 Mbit/s.

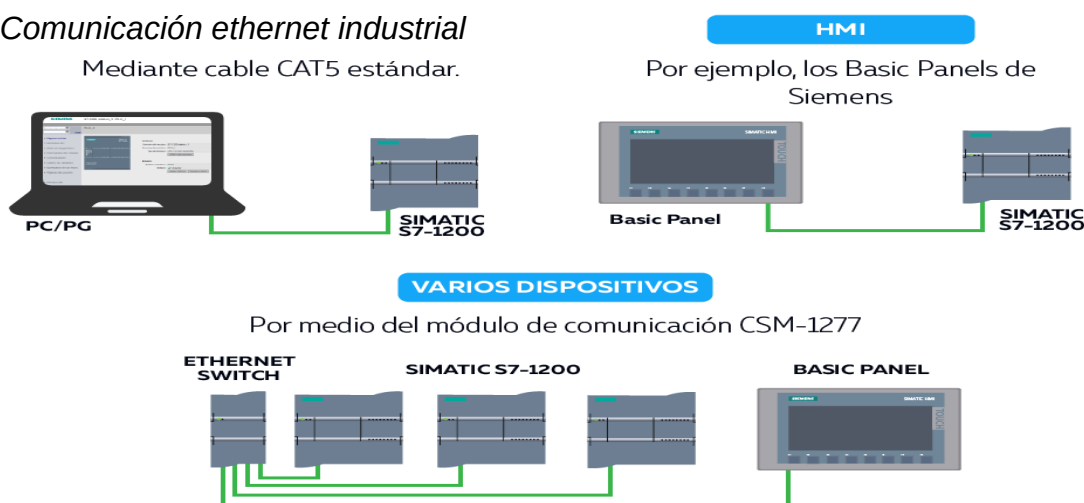
Las ventajas de esta tecnología son diversas:

- Desempeño elevado incluso en entornos con muchos dispositivos y a distancias considerablemente largas.
- Transmisión de datos confiable, adecuada para entornos industriales con una alta presencia de interferencias electromagnéticas.
- Disminución de gastos a través de la simplificación en la instalación de cables.
- Es la red industrial más ampliamente adoptada en la actualidad.
- Las configuraciones de montaje pueden adoptar formas lineales, en árbol, en estrella o en anillo. La configuración en anillo se considera la opción más confiable gracias a su forma de conexión redundante.

Figura 14

Comunicación ethernet industrial

Mediante cable CAT5 estándar.



Nota: Suiler altamirano, control +

Variadores de frecuencia

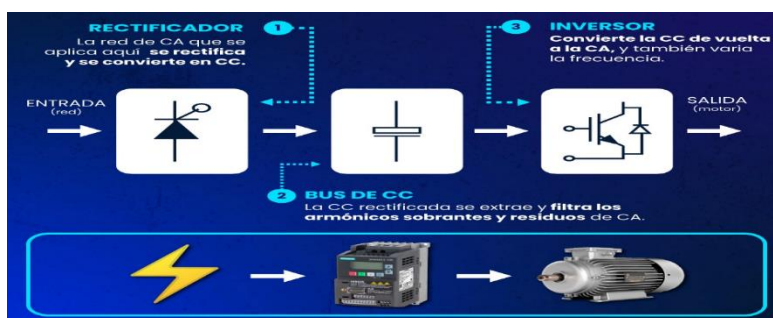
(Rodríguez y otros, 2014) Históricamente, los sistemas y dispositivos de velocidad variable continúan vinculados principalmente a los motores de c. c., dado que es más fácil de controlar, dejando a los motores de C. A. para usos que necesitan una velocidad constante. Sin embargo, con el avance de los componentes electrónicos de potencia en la industria, se han creado dispositivos capaces de regular la velocidad de los motores de C.A., mediante el ajuste de la frecuencia de entrada. Este avance, junto con los desafíos y los costos asociados al mantenimiento de los motores de c. c., ha conducido a que actualmente la mayor parte de procesos y aplicaciones que necesitan variaciones de velocidad dependan de variadores electrónicos de frecuencia en combinación con motores de C.A. (pág. 271)

La mayor parte de los controladores electrónicos de velocidad empleados en motores de corriente alterna, tanto de una sola fase como de tres fases, operan principalmente mediante una técnica conocida como modulación por ancho de pulsos (PWM), que consiste en modificar la frecuencia de entrada al motor.

Con el fin de realizar esta actividad, se emplean dispositivos electrónicos como diodos, rectificadores, inversores, transistores y filtros pasivos. Estos componentes tienen como función principal transformar una señal de C. A. en C.C., luego segmentarla en ciclos mediante impulsos y finalmente volver a convertirla en una onda de corriente alterna. La nueva frecuencia es definida por el número de ciclos generados por segundo.

Figura 15

Principio de funcionamiento de un variador de velocidad.



Nota: Suiler altamirano, control +

La desventaja más significativa de los convertidores de frecuencia frente a los métodos de control de velocidad con lógica cableada es su elevado costo, la exigencia de ser programados y su potencial para producir armónicos y alteraciones en la red eléctrica durante su operación. No obstante, las ventajas que ofrecen son:

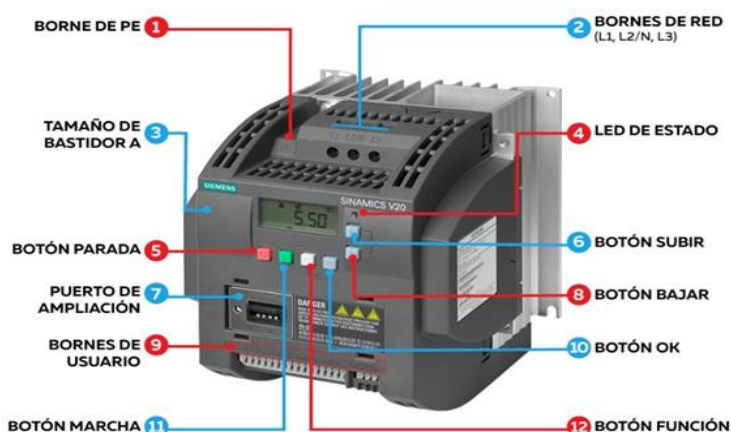
- Regulación de velocidad de manera simple
- Bajo costo de mantenimiento.
- Reducción del consumo energético mediante la programación del apagado o la disminución de velocidad de la máquina.
- Optimización de la calidad de los procesos gracias a la posibilidad de realizar arranques y paradas de forma gradual.

Sinamics V20

Proporciona una opción de accionamiento básica y económica para aplicaciones de estos tipos. Se destaca por su rápida Inicio operativo, simplicidad de uso, solidez y rendimiento **aceptable** en costos. Su estructura compacta lo hace una opción adecuada para diversos usos, con modelos disponibles desde 0,12 kW hasta 15 kW soporta voltajes de suministro monofásicas y trifásicas. Un mayor número de instalaciones y fabricantes de equipos optan por automatizar procesos sencillos que requieren flexibilidad, y el SINAMICS V20 se adapta perfectamente a estas necesidades. (Siemens, 2013, pág. 15)

Figura 16

Variador de velocidad Sinamics V20



Nota: Suiler altamirano, control +

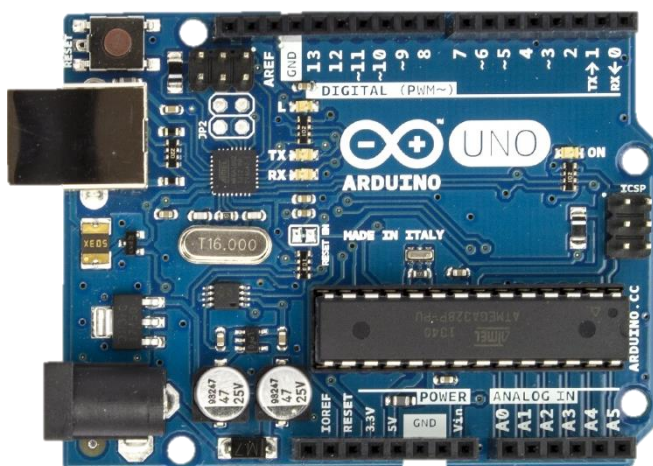
Arduino uno

Es una placa que utiliza un microcontrolador Atmega328. Dispone de 14 pines de entrada/salida digital, de los cuales 4 se pueden usar como salidas PWM.

Cuenta con todo lo necesario para controlar el dispositivo; solo es necesario conectarlo al ordenador mediante un cable USB o utilizar una Nota de alimentación externa, como un adaptador AC-DC o una batería, Es importante señalar que, si se conecta al ordenador mediante el cable USB, no es necesaria una Nota de energía adicional. (Rodríguez, 2008, pág. 41)

Figura 17

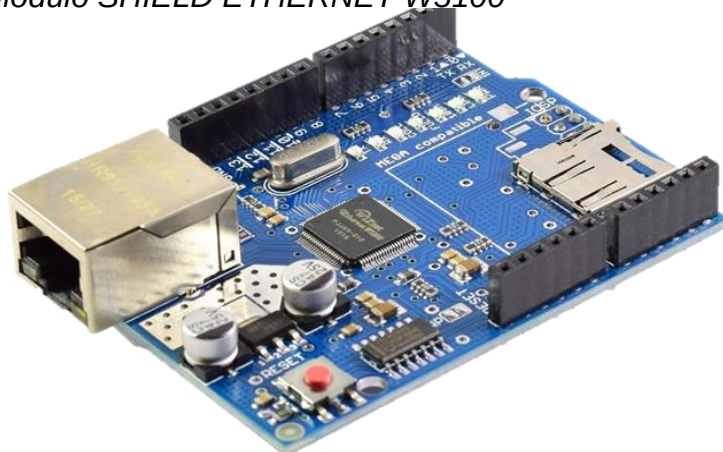
Arduino UNO



Nota: Eduboticsperu

Modulo shield ethernet w5100

Se trata de un controlador Ethernet desarrollado por Wiznet, específicamente pensado para aplicaciones embebidas. Puede utilizarse junto con un procesador como Arduino para establecer comunicación a través de internet. Es muy utilizado en dispositivos con conexión en aplicaciones de automatización industrial, domótica y (IoT). Podemos utilizar un módulo Ethernet con el chip W5100 en nuestros proyectos para transmitir o recibir datos a través de internet o una red local. Esto permite, por ejemplo, leer información de un sensor o gestionar el encendido, control y apagado de distintos dispositivos. (Gutierrez, 2018)

Figura 18:*Modulo SHIELD ETHERNET W5100**Nota: Eduboticsperu***Módulo ESP-01 ESP8266 Wifi-serial**

Es un chip altamente integrado que ha sido desarrollado para responder a los requerimientos de un entorno tecnológicamente interconectado. Este componente incorpora un procesador con arquitectura de 32 bits, Además de sus capacidades de conectividad inalámbrica a través de WiFi, proporciona una solución de red WiFi completa y autónoma, lo que le permite operar como anfitrión de aplicaciones o bien asistir a otro procesador al encargarse parcialmente de las tareas relacionadas con la conectividad WiFi, En cuanto a sus capacidades de conectividad, el módulo puede operar en dos modalidades: como estación WiFi (WiFi Station) o como punto de acceso (Access Point). En el modo estación, el dispositivo se vincula a una red WiFi existente, como la que se encuentra comúnmente en entornos domésticos. Por otro lado, al funcionar como punto de acceso, es posible generar una red propia directamente desde el chip, lo que permite establecer una conexión directa con otros dispositivos.

El módulo se entrega de fábrica con el firmware AT preinstalado, el cual posibilita la conexión de una placa Arduino a redes WiFi mediante el uso de comandos AT. Es factible reemplazar el firmware original del módulo (proceso conocido como flasheo), lo que permite utilizarlo de manera autónoma, sin requerir una placa Arduino, aprovechando así su capacidad plena como microcontrolador de 32 bits operando a 80 MHz. Para llevar a

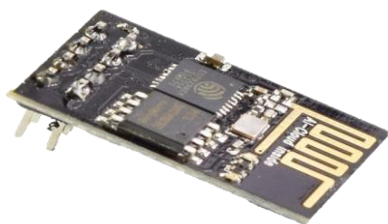
cabo este procedimiento, es necesario emplear un convertidor USB a serial TTL, como el módulo CP2102.

El módulo opera con un voltaje de 3.3 V tanto para su alimentación como para las señales en sus pines GPIO, por lo que no debe conectarse directamente a Notas de 5 V. Es aconsejable añadir un condensador de 100 μ F en paralelo con la Nota de alimentación para contribuir a la estabilización del voltaje y reducir las fluctuaciones provocadas por picos de corriente. Tiene leds indicadores para alimentar y comunicar el módulo, cuenta con indicadores LED para el estado de alimentación y la comunicación. Sus pines de entrada/salida (GPIO) operan a 3.3 V, por lo que, al integrarse con sistemas que funcionan a 5 V, es imprescindible emplear convertidores de nivel lógico, tales como el conversor de nivel 3.3–5 V de 4 canales o el conversor bidireccional de 8 canales TXS0108E.

La plataforma ESP8266 admite crear aplicaciones utilizando distintos lenguajes de programación, entre ellos Arduino, Lua, MicroPython, C/C++ y Scratch. Esto brinda flexibilidad al desarrollador, permitiéndole elegir el entorno que responda de manera óptima a las necesidades del proyecto con Arduino. (Gutierrez, 2018)

Figura 19

Módulo ESP-01 ESP8266 WIFI-SERIAL



Nota: Eduboticsperu

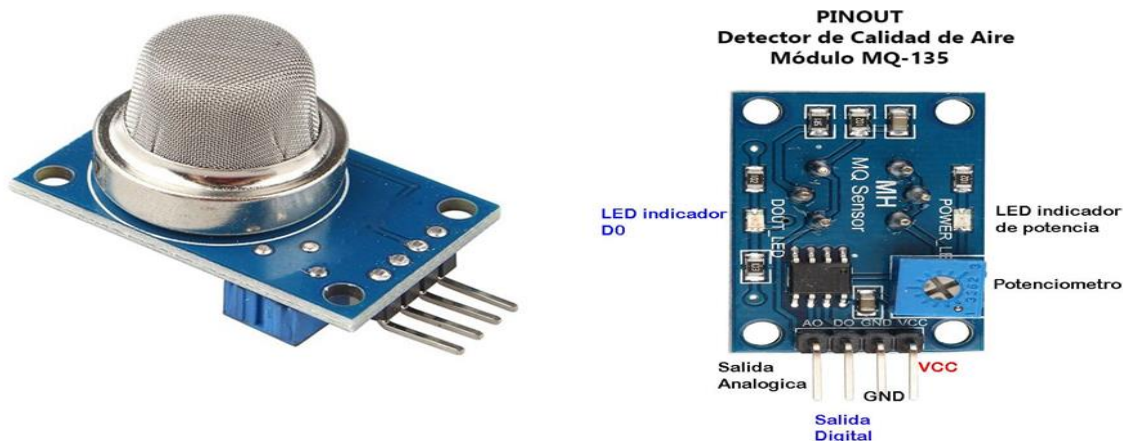
Sensor MQ-135 calidad de aire

Se utiliza para monitorear la contaminación ambiental, siendo comúnmente integrado en sistemas de control, como alarmas en hogares o en contextos orientados a la prevención que se generen altos grados a nivel industrial, se emplea en sectores que manipulan compuestos químicos potencialmente perjudiciales para la salud, particularmente en sistemas de control de calidad del aire en edificios y oficinas.

Mide la concentración de gases en diferentes niveles, similar a sus versiones anteriores, los sensores MQ-3/4/5. El MQ-135 proporciona una señal de salida dual, tanto en formato analógico como digital. En cuanto a la señal analógica, aumenta de manera proporcional al incremento de la tensión. Por su parte, la señal digital tiene niveles TTL, lo que permite que sea procesada por un microcontrolador. (Gutierrez, 2018)

Figura 20

Sensor MQ135



Nota: Eduboticsperu

Motor trifásico

Los componentes esenciales que caracterizan al motor trifásico son el estator y el rotor. El estator consiste en bobinas trifásicas dispuestas en ranuras situadas a intervalos de 120 grados. La diferencia de fase entre los tres conjuntos de bobinas depende del número de polos magnéticos presentes en la máquina.

El funcionamiento básico del motor eléctrico trifásico es comprensible cuando se examina su estructura interna. Al suministrar energía al estator del motor a treaves de las tres fases del sistema trifásico, se crean campos magnéticos giratorios desfasados 120 grados entre sí. En cuanto al rotor, este puede recibir alimentación externa (rotor bobinado) o generar corriente inducida a partir de los campos magnéticos del estator al atravesar sus bobinas (rotor en cortocircuito). De esta manera, se genera un campo magnético rotatorio en dirección opuesta. Cuando estos campos magnéticos interactúan, se inicia el movimiento rotativo en la parte móvil de la máquina.

Partes de un motor trifásico

Consta de dos componentes:

El rotor, que es la parte que gira, comúnmente conocida como jaula de ardilla debido a su estructura formada por una red circular de barras y anillos que se asemejan a una jaula conectada a un eje.

El estator, que constituye la sección fija y que induce el movimiento en el rotor. Está compuesto por un anillo con tres pares de bobinas, distribuidas de manera uniforme circundante al rotor.

Los motores trifásicos se debido a su gran robustez, costo relativamente bajo y tamaño normalmente más reducido en dimensiones, tienen capacidad de arranque automático, proporcionar una salida estable y requerir un mantenimiento mínimo comparando con los motores monofásicos.

Figura 21

Motor Eléctrico Trifásico



Nota: weg thecnology



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. 1 Método de investigación

3. 1. 1 *Tipo de investigación*

El tipo de investigación que se desarrollara en el proyecto es tecnológico, porque se observa y estudiara un fenómeno y se aplicara la tecnología para resolverlo. (Tamayo, 2004)

3. 1. 2 *Diseño de investigación*

Se utilizará un enfoque de investigación aplicada, con elementos de investigación experimental. La investigación se centrará en desarrollar un sistema automatizado de ventilación con el fin de optimizar la calidad del aire en las actividades mineras subterráneas de la región de Puno. (Arias, 2012)

3. 2 Ámbito de la investigación

El estudio se realizará en las minas subterráneas de la región de Puno, centrándose en los desafíos específicos de ventilación y calidad del aire en ese contexto.

3. 3 Población y muestra

La población son las minas subterráneas en la región Puno,

La muestra será una selección representativa de estas minas subterráneas en la región Puno.

3. 4 Técnicas e instrumentos de recogida de información

Tabla 4

Técnicas e instrumentos

1. TÉCNICAS	2. INSTRUMENTOS	3. VALIDACIÓN
Observación: Realizar observaciones directas en las minas subterráneas de la región Puno para evaluar las condiciones actuales de ventilación, calidad del aire y el funcionamiento de los sistemas existentes.	Ficha de observación	Por asesor Especialista
Medición: Mediciones de calidad del aire, para realizar evaluaciones cuantitativas de parámetros como la concentración de gases, partículas y humedad en diferentes áreas de las minas subterráneas.	Instrumento sensor de medición de la calidad de aire y CO	

Nota: Elaboración propia

3. 5 Recogida de datos

Se han utilizado las funcionalidades del software TIA PORTAL V15 para procesar los datos obtenidos de los sensores de calidad de aire, se recogen datos de manera continua a lo largo del tiempo, generados por el control del sistema automatizado de ventilación, proporcionando información de forma inmediata mientras el sistema está en funcionamiento, se efectuó un análisis detallado de los datos obtenidos.

Las funciones del software que se utilizarán incluyen el procesamiento de las mediciones obtenidas por los sensores durante las pruebas de calidad del aire en el interior de la mina. Registrando los resultados alcanzados en estas pruebas, con el fin de compararlos con los objetivos preestablecidos, llevando a cabo el control mediante el PLC S7-120 y una interfaz gráfica HMI que permiten la visualización de manera efectiva de los datos de control del sistema automatizado de ventilación que mejora la calidad de aire en minería subterránea de la región Puno.



CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADO Y DISCUSIÓN

4. 1 Desarrollo e implementación del sistema de ventilación

El sistema de control para la ventilación está conformado por la placa Arduino uno y el módulo de control para el sistema de ventilación está compuesto por la placa Arduino uno y el módulo de ethernet quienes son los encargados de enviar las señales que monitorean sobre las condiciones medio ambientales mediante los sensores de calidad del aire y el monóxido de carbono estas señales son enviadas hacia el PLC s7 1200 el cual procesara las señales recibidas para poder controlar la ventilación mediante el variador de frecuencia.

Tabla 5

Especificaciones del motor eléctrico.

MOTOR ELECTRICO	
Tipo de motor	Trifásico
Potencia	1 hp.
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS	
Voltaje	220 V.
Amperaje	2.00 A.
Velocidad	1700 RPM
Frecuencia	60 HZ.

Nota. Elaboración Propia.

Figura 22

Motor eléctrico.



Nota: weg thecnology

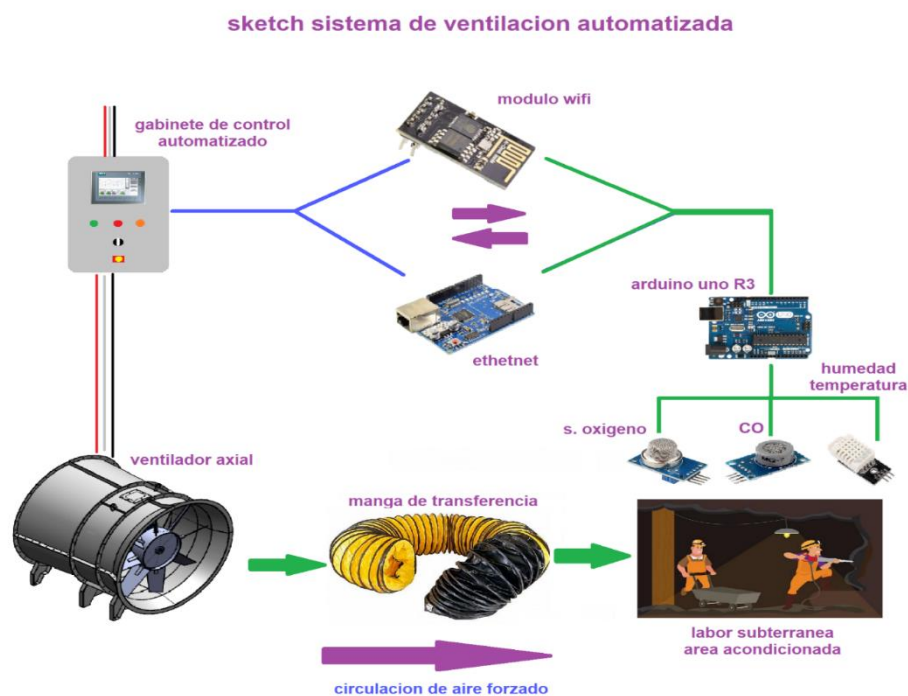
4. 2 Diseño del módulo de control del sistema de ventilación.

Se compone de las diferentes partes que componen e integran el desempeño del sistema de control.

En la ilustración siguiente se muestra el rol que desempeñarán los elementos del sistema de ventilación.

Figura 23

Partes del sistema de ventilación.



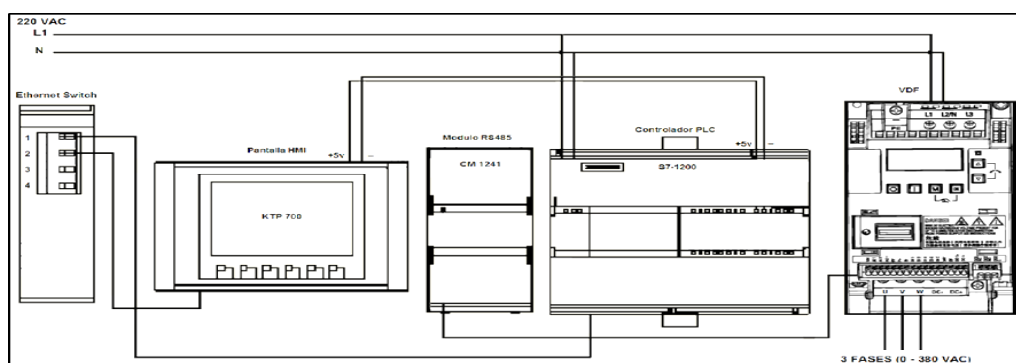
Nota: Elaboración Propia

En vista de que el módulo de control del sistema de ventilación tendrá un fin de poder controlar la velocidad del motor eléctrico entonces el sistema de control del motor estará conformado por el PLC S7 1200 el cual está conectado a los elementos electrónicos y eléctricos industriales que pondrán en funcionamiento al módulo de control del sistema de ventilación como son los sensores y actuadores.

Con el fin de visualizar más claramente cómo estarán organizados los elementos dentro del módulo, se presenta el siguiente esquema.

Figura 24

Diagrama de conexión del módulo de control.



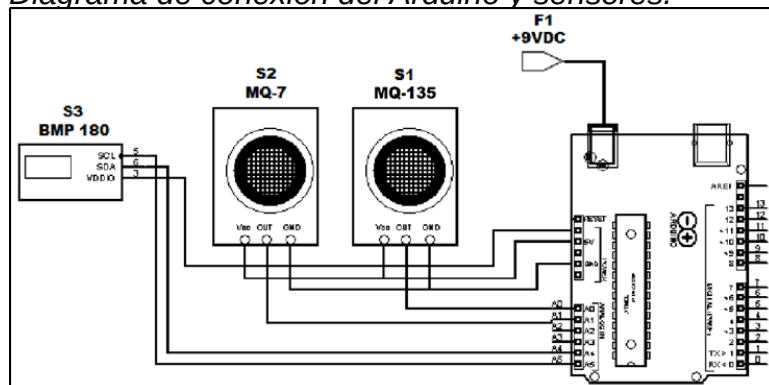
Nota: Elaboración Propia.

4. 3 Diseño del diagrama de conexión del Arduino y los sensores.

La ilustración siguiente muestra la conformación de los criterios de diseño establecidos.

Figura 25

Diagrama de conexión del Arduino y sensores.



Nota: Elaboración Propia.

4. 4 Elección de los dispositivos eléctricos y electrónicos.

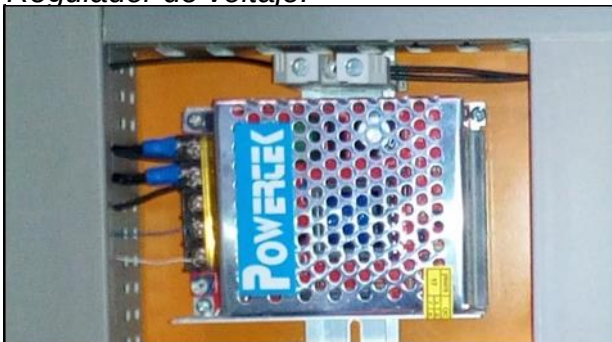
Se tomaron en cuenta los parámetros de diseño eléctrico y electrónico para con el propósito de definir su función, teniendo en cuenta su durabilidad, márgenes de tolerancia y desempeño funcional.

Etapa de regulación de voltaje.

El circuito del Arduino y los sensores se alimentan de 5 V directamente de la Nota de alimentación el cual requiere un voltaje de 220 VAC.

Figura 26

Regulador de voltaje.



Nota: Elaboración Propia.

Etapa de control del sistema.

La etapa de control tiene como paso intermedio entre circuito de Arduino y circuito de potencia el PLC S7 1200 que tendrá la responsabilidad de generar las señales de control para el variador de frecuencia.

Figura 27

Etapa de control del sistema.



Nota: Elaboración Propia.

Etapas de circuito de control de potencia.

Está conformada por el variador de frecuencia el cual está encargado de realizar la variación de velocidad del motor eléctrico mediante las ordenes de las señales de los sensores hacia el PLC.

Figura 28

Modulo Sinamics V20.



Nota: Elaboración Propia.

Etapas de protección del circuito eléctrico.

"Es importante tener en cuenta el consumo de corriente en cada circuito de control y potencia para asegurar su protección. Para la selección de los interruptores termomagnéticos, se consideró la corriente nominal junto con una tolerancia mínima que asegura una operatividad adecuada.

Una vez realizado el cálculo, se procede a seleccionar los interruptores termomagnéticos adecuados.

Consumo de corriente de control: $I_c = 1.2 \text{ A}$

Fusible elegido: $F1 = 2 \text{ A}$

Figura 29

Interruptores termomagnéticos.



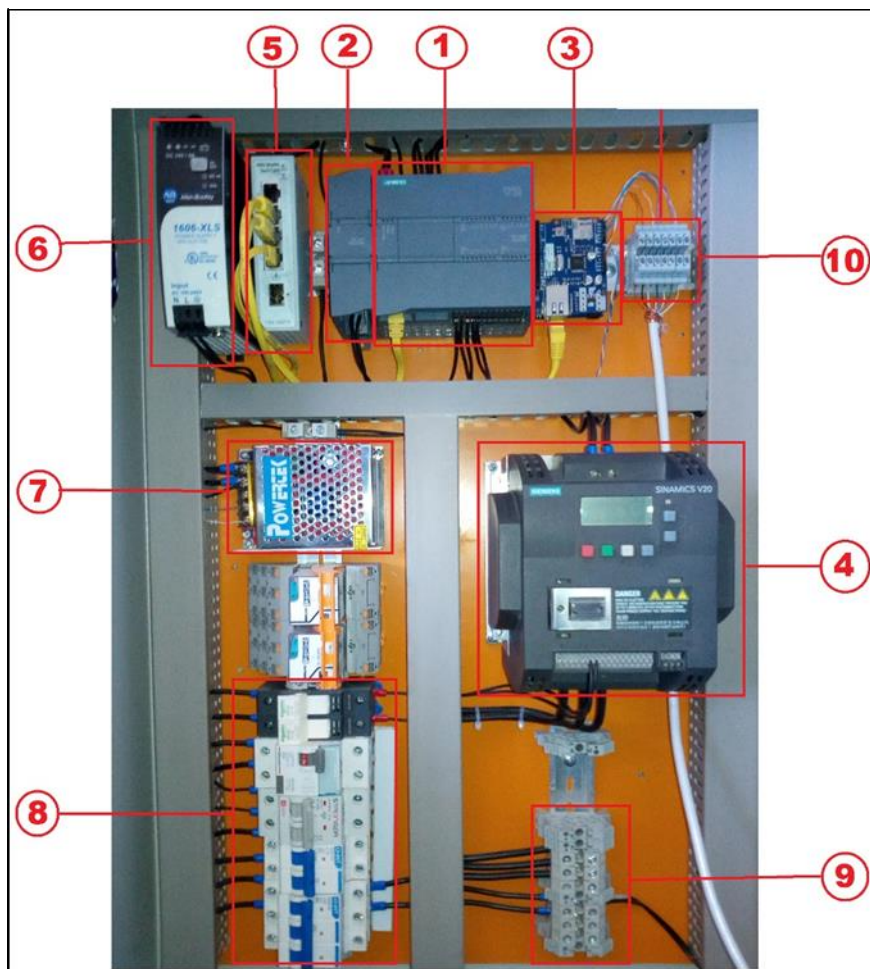
Nota: Elaboración Propia.

4. 5 Implementación del módulo de control del sistema de ventilación.

Fue desarrollada en base a los diagramas de conexión eléctricos y electrónicos.

Figura 30

Partes del módulo de control



Nota: Elaboración Propia.

1. Controlador lógico programable PLC S7 1200
2. Módulo de comunicación RS485 CM1241
3. Tarjeta Arduino uno y módulo ethernet
4. Variador de frecuencia sinamics v20
5. Módulo switch de comunicación ethernet
6. Fuente de alimentación de 24vdc
7. Fuente de alimentación de 5vdc
8. Interruptores termomagnéticos de protección

9. Borneras de conexión de potencia

10. Borneras de conexión de comunicación de sensores

Una vez entendidas las etapas del módulo que conforman el módulo se procede a colocar los elementos elegidos. Este proceso se lo realizó tanto para la parte de control y de potencia.

Figura 31

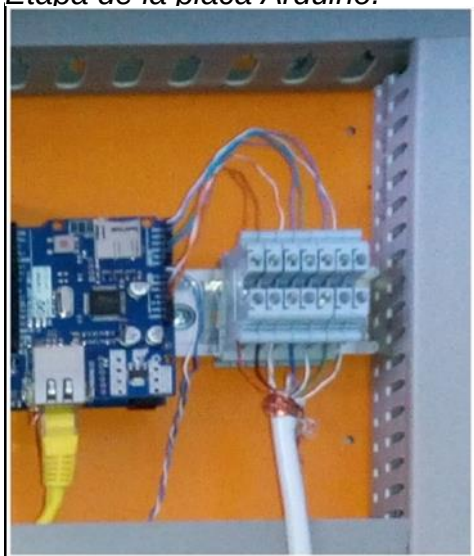
Etapas de control.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 32

Etapas de la placa Arduino.



Nota: Elaboración Propia.

Una vez instaladas el PLC y las placas de Arduino que conforman la etapa de control el cual se instaló en el gabinete con rieles adecuadas, para su sujeción y así evitar que se muevan se procedió a la instalación de la etapa de potencia el cual está conformado por el variador de frecuencia.

Figura 33

Etapa de potencia.



Nota: Elaboración Propia

Fijadas las partes eléctricas y electrónicas en el interior del gabinete, Pasamos a llevar a cabo la instalación del cableado del módulo a cada uno de los componentes de control del sistema de ventilación, pasando el cableado desde la sección de control hacia la sección de potencia.

Figura 34

Swicht ethernet.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 35

Fuente de alimentación.



Nota: Elaboración Propia.

Culminado la instalación del módulo de control se llevó a cabo al cableado proveniente de la sección de control y la etapa de potencia del sistema de ventilación.

Figura 36

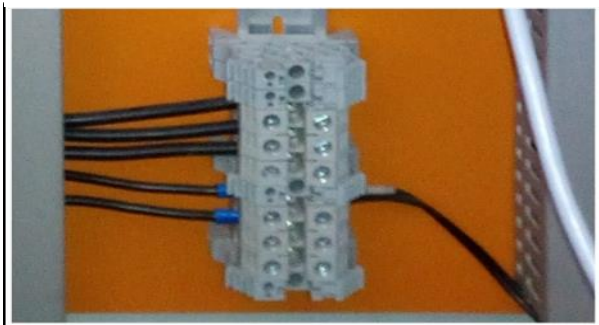
Etapa de protección.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 37

Borneras de conexión.



Nota: Elaboración Propia

4. 6 Implementación del módulo de control del sistema de ventilación.

El PLC será la encargada de enviar las señales de variación de velocidad del motor mediante el monitoreo de los sensores.

De esta manera las señales de los sensores estarán siendo procesadas por medio de la etapa de control a través del PLC.

Una vez que se ha realizado el conexionado eléctrico y electrónico a través de los circuitos de conexión el diseño final es representado en la siguiente imagen.

Figura 38

Modulo de control.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 39

Conexión del HMI y botones.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 40

Panel frontal del módulo.



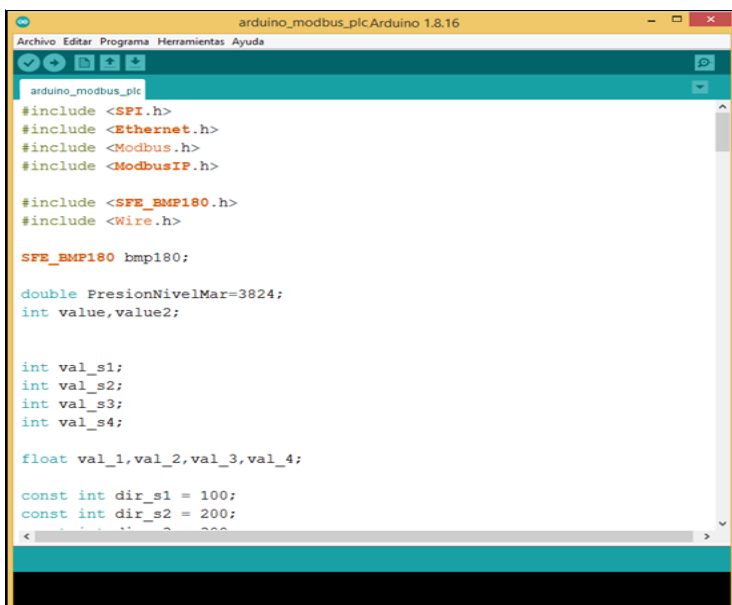
Nota: Elaboración Propia.

4. 7 Programación del módulo de control.

Se realizó en lenguaje C.

Figura 41

Editor de la programación de la placa Arduino.



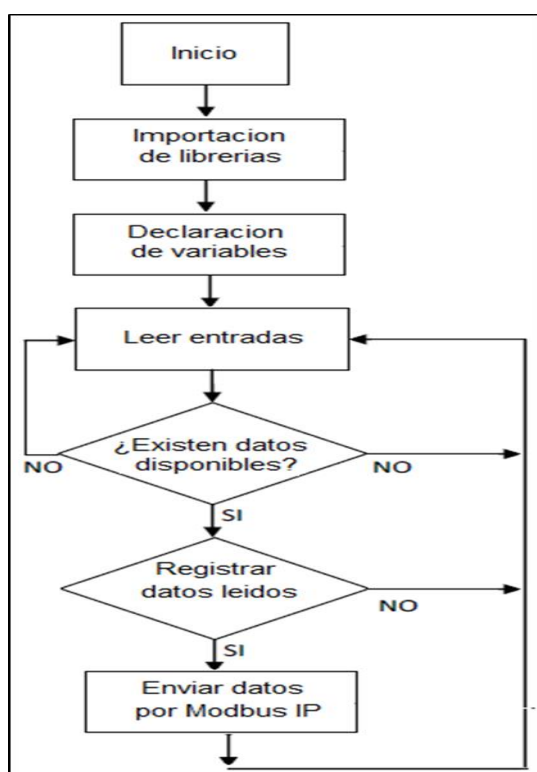
Nota: Elaboración Propia.

4. 7. 1 Elaboración del programa del módulo de control

Se diseñó un diagrama de flujo, basado en bloques de rutinas del programa, para facilitar la interpretación de la secuencia de programación del módulo de control.

Figura 42

Diagrama de flujo del programa



Nota: Elaboración Propia.

4. 7. 2 Descripción del programa.

El programa de esta etapa está compuesto por un control de lazo cerrado a través de un ciclo continuo, en el que se monitorean de manera continua las señales de los sensores medioambientales.

En la sección principal del programa se realiza la asignación de los de los puertos de entrada y salida del microcontrolador.

Programa principal.

Este programa utiliza varias bibliotecas para implementar un sistema que lee datos de los sensores y los envía a través de Modbus IP. A continuación, se explican las diferentes líneas de código y su función:



```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Ethernet.h>
```

```
#include <Modbus.h>
```

```
#include <ModbusIP.h>
```

```
#include <SFE_BMP180.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

Estas son las directivas para incluir las bibliotecas requeridas por el programa. Estas bibliotecas proporcionan las funciones y definiciones requeridas para el uso de los diferentes módulos y protocolos en el programa.

```
SFE_BMP180 bmp180;
```

Se crea un objeto bmp180 de la clase SFE_BMP180, que se utiliza para interactuar con el sensor de presión atmosférica BMP180.

```
double PresionNivelMar=3824;
```

```
int value,value2;
```

Se declaran variables PresionNivelMar, value y value2 como tipo double e int, respectivamente. Estas variables no se utilizan en el código proporcionado y parecen no tener un propósito específico en este contexto.

```
int val_s1;
```

```
int val_s2;
```

```
int val_s3;
```

```
int val_s4;
```

```
float val_1,val_2,val_3,val_4;
```

Se declaran varias variables de tipo int y float para almacenar los valores leídos del sensor y enviarlos a través de Modbus IP. Los nombres de las variables sugieren que podrían estar relacionadas con diferentes sensores o entradas analógicas.

```
const int dir_s1 = 100;
```

```
const int dir_s2 = 200;
```

```
const int dir_s3 = 300;
```

```
const int dir_s4 = 400;
```

Se declaran constantes dir_s1, dir_s2, dir_s3 y dir_s4 con valores enteros que representan las direcciones de registro para los valores leídos. Estos valores se utilizan más adelante al registrar los valores en Modbus IP.

```
ModbusIP mb;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  bmp180.begin();
```

```
  byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
```

```
  byte ip[] = { 192, 168, 0, 30 };
```

```
  mb.config(mac, ip);
```

```
  mb.addlreg(dir_s1);
```

```
  mb.addlreg(dir_s2);
```

```
  mb.addlreg(dir_s3);
```

```
  mb.addlreg(dir_s4);
```

```
}
```

En la función setup(), se inicializan se configuran algunos parámetros iniciales. La transmisión serie se pone en marcha a 9600 baudios. A continuación, se configura la dirección MAC y la dirección IP para el módulo Ethernet utilizado por Modbus IP. Se configura mb (objeto ModbusIP) con la dirección MAC y la dirección IP proporcionadas. Además, se añaden registros de entrada (ireg) a mb utilizando las constantes dir_s1, dir_s2, dir_s3 y dir_s4 definidas anteriormente.

```
void loop() {
```

```
  char status;
```

```
  double T,P,A;
```




```
mb.task();

status = bmp180.startTemperature();

if (status != 0) {

    delay(status);

    status = bmp180.getTemperature(T);

    if (status != 0) {

        status = bmp180.startPressure(3);

        if (status != 0) {

            delay(status);

            status = bmp180.getPressure(P, T);

            if (status != 0) {

                val_1 = T;

                val_2 = P;

                val_3 = analogRead(1);

                val_4 = analogRead(2);

            }

        }

    }

}

mb.lreg(dir_s1, val_1);

mb.lreg(dir_s2, val_2);

mb.lreg(dir_s3, val_3);

mb.lreg(dir_s4, val_4);

delay(1000);

}
```



En la función `loop()`, se realiza el bucle principal del programa. Primero, se llama a `mb.task()` para manejar las comunicaciones Modbus IP. Luego, se realiza una serie de operaciones para leer los valores de los sensores.

Se inicia la lectura de la temperatura y presión del sensor. Si el estado devuelto es diferente de cero, se espera la cantidad de tiempo especificada por el estado y luego se llama a la función para obtener la temperatura leída en la variable `Ty P`.

A continuación, se llama a iniciar la lectura de los sensores de monóxido de carbono y de calidad del aire, y luego se llama a la función para la lectura de las variables de los sensores. Los valores de CO y calidad del aire se almacenan en las variables.

Después, se utiliza `analogRead()` para leer los valores de las entradas analógicas 1 y 2 y se almacenan en las variables `val_3` y `val_4`, en el mismo orden.

A continuación, se registran los valores leídos en Modbus IP utilizando las direcciones de registro y los valores almacenados en las variables correspondientes.

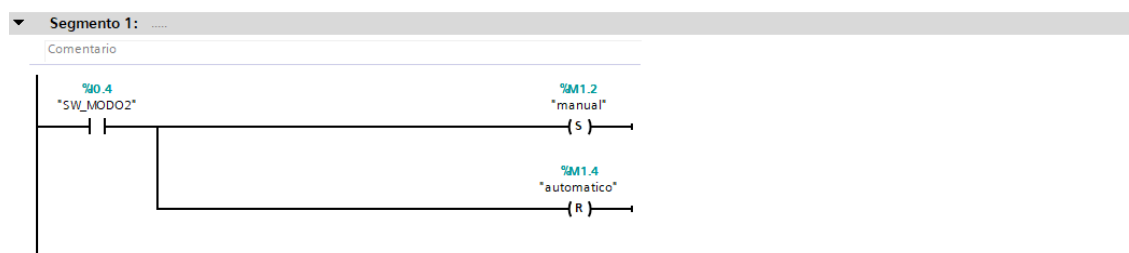
Finalmente, se agrega un retraso de 1 segundos antes de comenzar el siguiente ciclo del bucle.

En resumen, este programa lee las variables medio ambientales con los sensores, así como son los valores de las entradas analógicas. Luego, utiliza el protocolo Modbus IP para registrar estos valores y los muestra en el puerto serie.

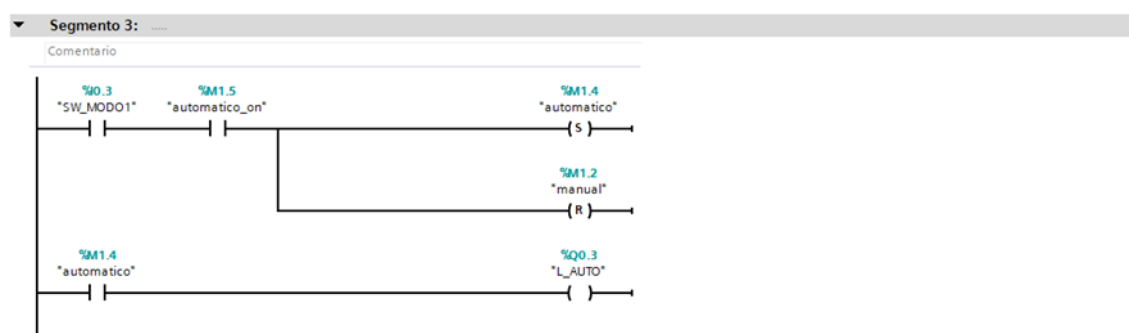
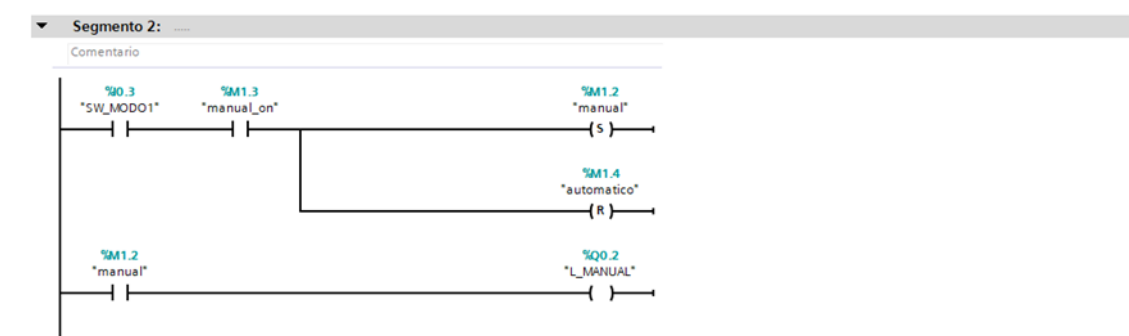
4. 8 Programación del PLC S7 1200.

La creación de la programación del PLC S7 1200 se hace mediante el lenguaje de programación Ladder en Tía Portal de Siemens versión 15PRO es así que se da a conocer los segmentos realizados para la supervisión de la vibración y control del motor eléctrico.

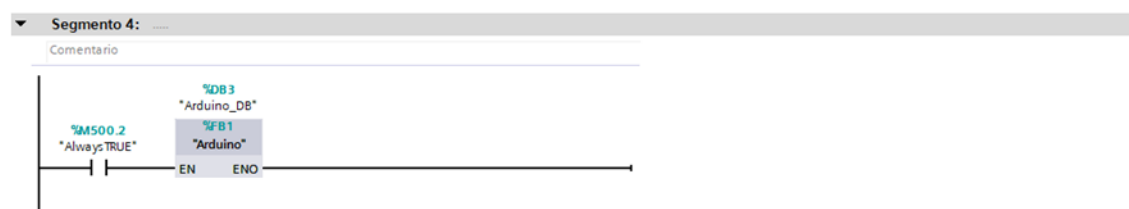
En el segmento 1 se realiza la selección del modo2 de operación con la entrada del selector.



En el segmento 2 se realiza la selección del modo1 de operación con la entrada del selector.



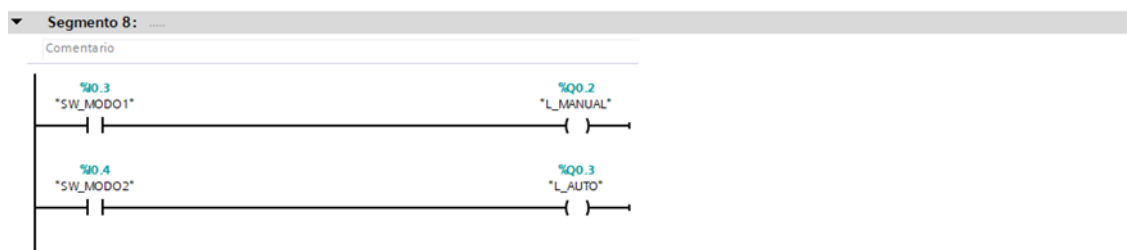
En el segmento 4 allí se lleva a cabo el intercambio de datos mediante Modbus entre el Arduino y el PLC S7-1200.



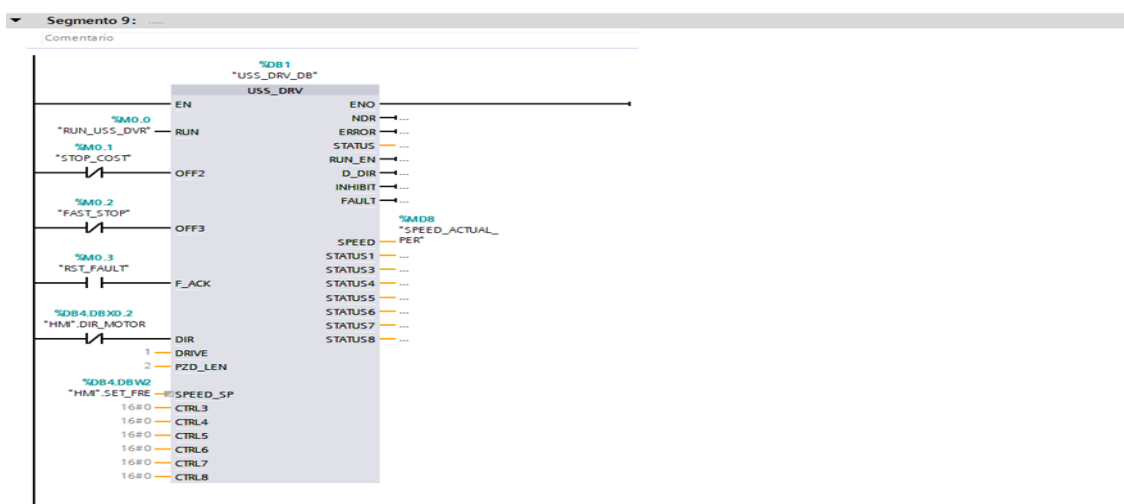


<http://repositorio.uancv.edu.pe/>

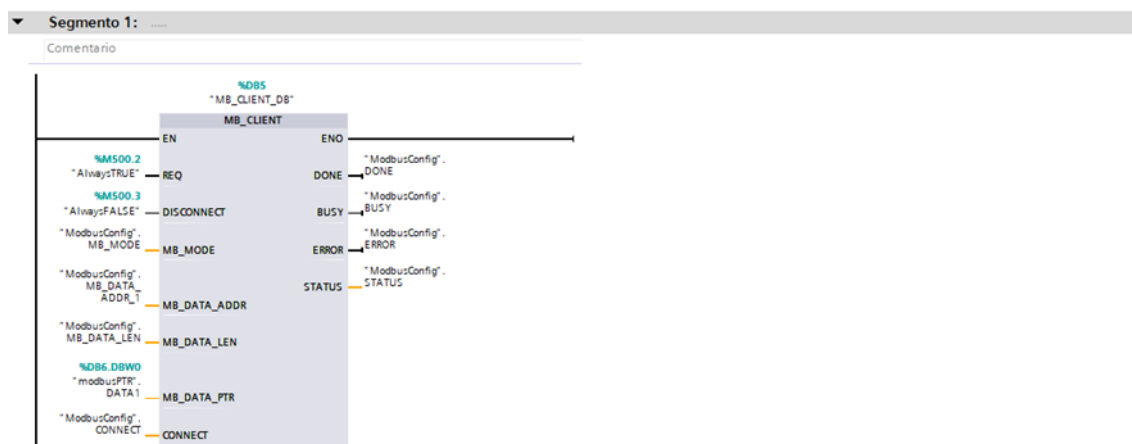
En el segmento 8 se encenderá las lámparas indicadoras de la selección en función del modo operativo, ya sea manual o automático.



En el segmento 9 se configura la comunicación para el PLC S7 1200 y el variador de frecuencia para aso poder controlar el motor.

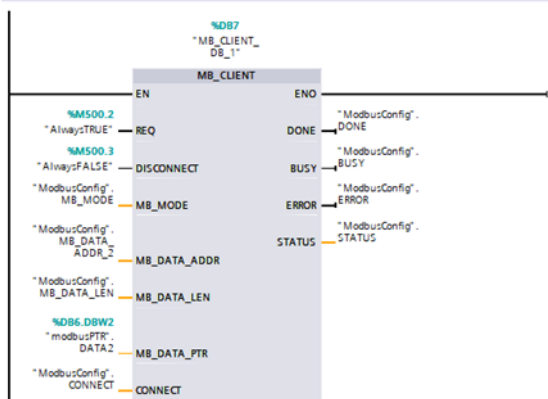


En los siguientes 4 segmentos corresponden a la función en donde se recibirán las cuatro variables en el PLC los cuales son enviados por el Arduino.



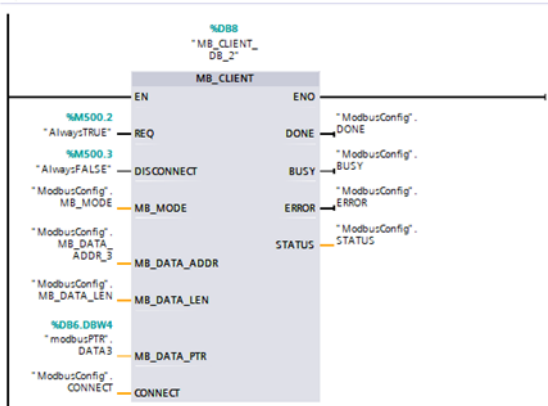
Segmento 2:

Comentario



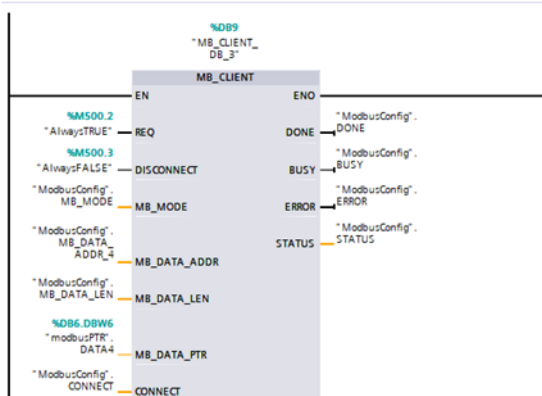
Segmento 3:

Comentario

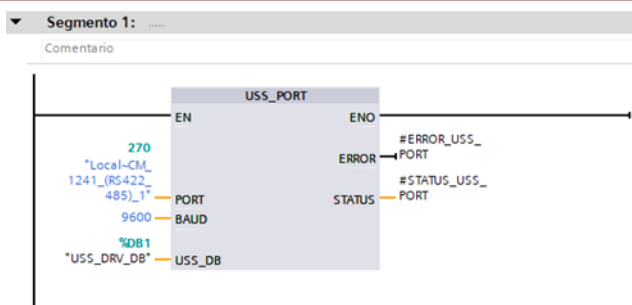


Segmento 4:

Comentario



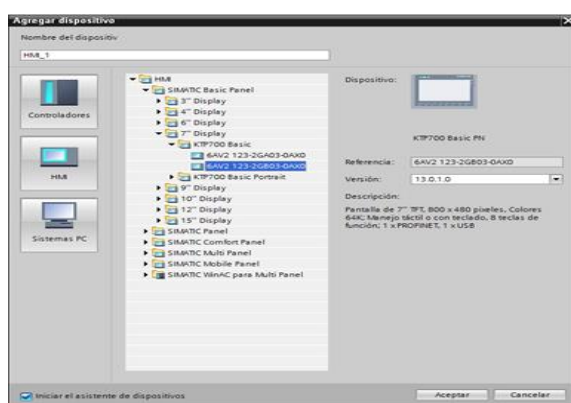
En el siguiente segmento corresponde a la recepción de comunicación serial RS485 por el cual se comunica el módulo CM1241 y el variador sinamics v20.



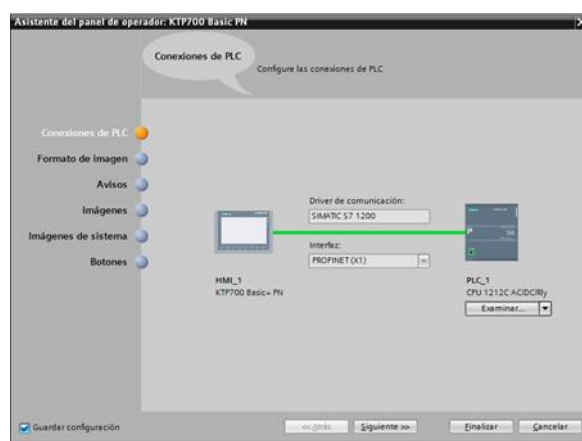
4. 9 Programación de la pantalla HMI KTP700.

Para poder realizar la programación de la pantalla HMI se procedió a la parametrización de la pantalla HMI KTP700 en TIA Portal, tal como se muestra en las imágenes a continuación.

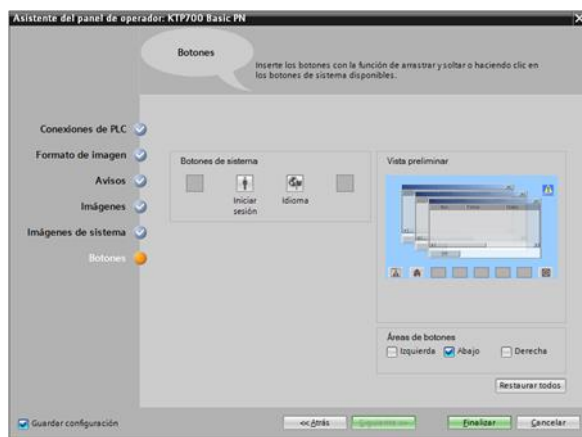
En primer lugar, se realiza la selección del modelo y versión de la pantalla HMI que corresponde a la pantalla HMI KTP700 con versión 15.



En segundo lugar, se realiza la conexión del HMI con el PLC mediante la comunicación profinet.



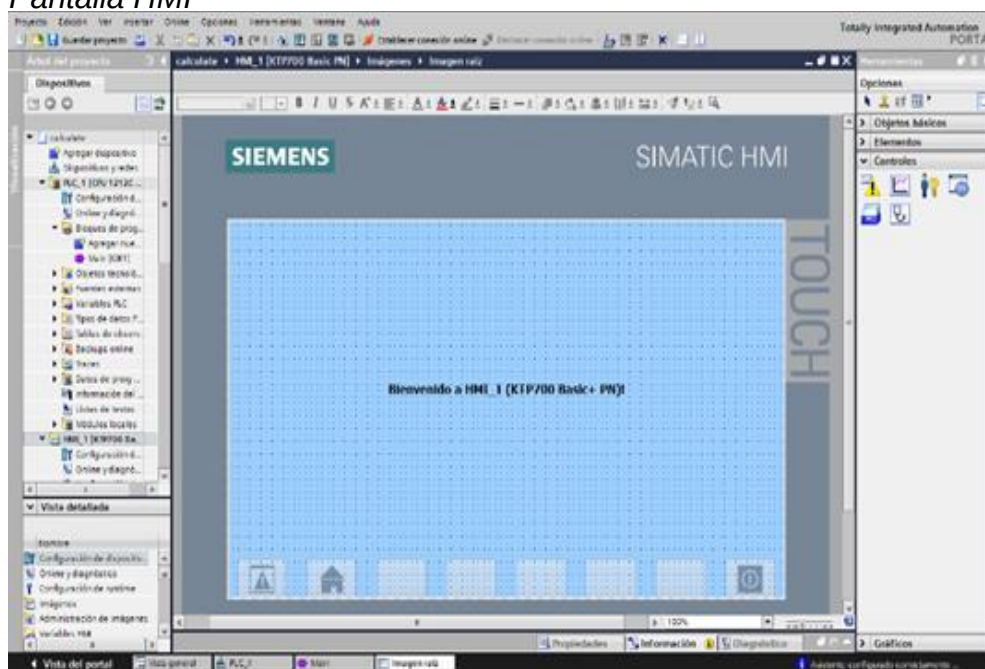
En tercer lugar, se realiza las configuraciones básicas de funcionamiento de la pantalla HMI.



Finalmente se puede observar el modelo de pantalla HMI en el Tía portal para así poder realizar la programación de la interfaz gráfica con el PLC.

Figura 43

Pantalla HMI

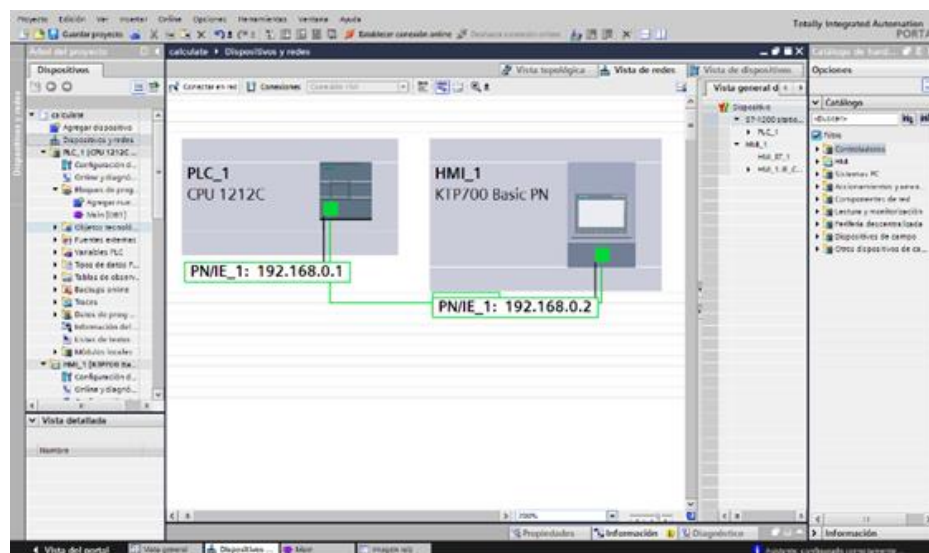


Nota: Elaboración Propia.

Designación de la dirección IP de la conexión de comunicación Profinet entre el PLC S7-1200 y la pantalla HMI KTP700.

Figura 44

Designación de la dirección IP

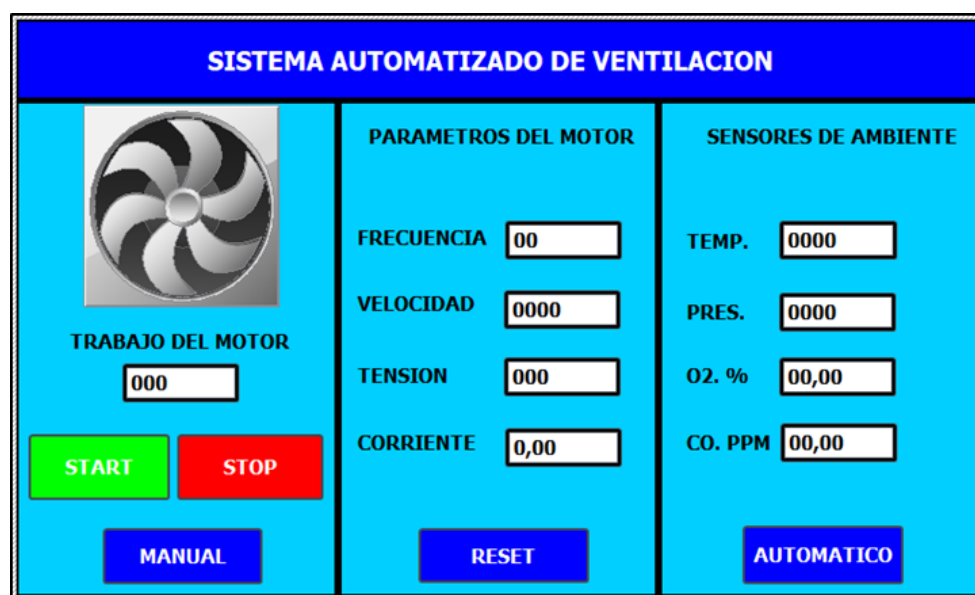


Nota: Elaboración Propia.

Finalmente se puede apreciar el monitoreo de sensores y el control del motor eléctrico en diseño de la interfaz gráfica desarrollada en el HMI.

Figura 45

Monitoreo de sensores



Nota: Elaboración Propia.

Requerimiento total del aire (QTo)

Se utiliza equipos con motor de combustión interna en las operaciones, la cantidad de aire requerida en el interior de la mina debe determinarse según el literal d) del artículo 252 del reglamento, aplicando la ecuación:

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{fu}$$

DONDE:

Q_{To} = caudal total necesario para la operatividad

Q_{T1} = La sumatoria del caudal requerido por:

- La cantidad de personal (Q_{Tr})
- El consumo de madera (Q_{Ta})
- Temperatura en labores de trabajo (Q_{Te})
- Equipos con motor petrolero (Q_{eq})

Q_{fu} = caudal según las fugas

Caudal de acuerdo con la cantidad de personal

El requerimiento de aire, en función del número de trabajadores, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{Tr} = F_p \cdot N_p$$

DONDE:

Q_{Tr} = caudal total para "n" trabajadores ($m^3/3$)

F_p = caudal mínimo por trabajador según lo establecido en la escala del artículo 247 del reglamento.

N_p = cantidad de operarios en la guardia más numerosa.

D.S. 024-2016-EM

ARTICULO 247. En los sitios de trabajo de las minas situadas a una altitud de hasta 1500 msnm, el caudal mínimo de aire requerido por persona será de ($3m^3/min$). Para altitudes mayores, la cantidad de aire se ajustará según la siguiente escala:

1500 a 3000 msnm incrementara en 40% alcanzando así los $4m^3/min$.

3000 a 4000 msnm incrementara en 70% alcanzando así los $5m^3/min$.

4000 msnm a más incrementara en 100% alcanzando así los 6m³/min.

Caudal según el consumo de madera (QMa). La fórmula para calcular la demanda de aire en función del consumo de madera es la siguiente:

$$QMa = u * T$$

Donde:

QMa= caudal rewuerto por toneladas de producción (m³/min)

U= Factor de producción, conforme a la escala especificada en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

T= Producción en toneladas métricas húmedas por cada turno de trabajo

D.S. 023-2017-EM

ARTICULO 252 LITERAL D SEGUNDO PARRAFO

La madera utilizada dentro de la mina para el sostenimiento, entre otras aplicaciones, genera emisiones de CO₂ y CH₄, lo que debe ser considerado en el cálculo del aire necesario para la mina este factor se define proporcionalmente a la producción. El cálculo debe basarse en la siguiente escala:

- En caso de que el consumo de madera esté entre el 20% y el 40% del total de la producción, el factor de producción debe establecerse en 0.60m³/min.
- En caso de que el consumo de madera esté entre el 41% y el 70% del total de la producción, el factor de producción debe ser 1m³/min.
- En caso de que el consumo de madera supere el 70% de la producción total, el factor de producción debe ser 1.25m³/min.

Tabla 5

Consumo de madera

CONSUMO DE MADERA %	FACTOR DE PRODUCCION m3/min
<20%	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
>70	1.25

Nota: Elaboración Propia.

Caudal según la temperatura (QTe)

La demanda de aire en función de la temperatura se determina mediante la siguiente fórmula:

$$QTe = Vm * A * N$$

Donde:

QTe=caudal por temperatura (m³/min)

Vm=velocidad mínima

A= área de la labor promedio

N= cantidad de niveles con temperatura superior a 23°C, según la escala indicada en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

✓ D.S. 023-2017-EM

ARTICULO 252. LITERAL D. TERCER PARRAFO

Para mantener una temperatura adecuada en el área de trabajo, el cálculo de la necesidad de aire debe considerar una velocidad mínima de 30 m/min., siempre que la temperatura esté entre 24 °C y un máximo de 29 °C. El cuadro siguiente presenta un resumen de esta información

Tabla 6

Velocidad mínima

TEMPERATURA SECA °C	VELOCIDAD MINIMA m/min
<24	0.00
24 a 29	30.00

Nota: Elaboración Propia.

Calculo según los equipos (QEq)

La determinación de la necesidad de aire para los equipos mineros con motor a gasolina se expresa mediante la ecuación:

$$QEq = 3HP * Dm * Fu$$

Donde:

QEq: caudal de aire requerido para fines de ventilación (m³/min)

HP: potencia efectiva operativa de los equipos (en HP)

Dm: porcentaje promedio de disponibilidad mecánica de los equipos

Fu: porcentaje promedio del factor de uso de los equipos

Caudal según las fugas (QFu)

El requerimiento de aire asociado a las fugas del sistema de ventilación se determina con la siguiente fórmula:

$$QFu = 15\% \cdot QT1$$

4. 10 Análisis e interpretación de resultados

Pruebas de funcionamiento.

Tabla 7

Valores de prueba de funcionamiento del motor.

TRABAJO DEL MOTOR (%)	FRECUENCIA DEL MOTOR (HZ)	VOLTAJE DEL MOTOR (V)	VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	AMPERAJE DEL MOTOR (A)
10	6	28	170	0.64
20	12	48	340	0.63
30	18	69	510	0.62
40	24	91	680	0.61
50	30	112	850	0.60
60	36	134	1020	0.60
70	42	155	1190	0.61
80	48	177	1360	0.62
90	54	198	1530	0.63
100	60	220	1700	0.64

Nota: Elaboración Propia

Prueba de funcionamiento del módulo de control.

Las pruebas realizadas se dieron en el funcionamiento del módulo de control del sistema de ventilación los cuales fueron lo siguiente.

-Se puso en marcha el módulo como se puede apreciar en la imagen tomada se observa que está en estado motor parado el cual indica el encendido de la lampara rojo.

Figura 46

Funcionamiento puesto en on.



Nota: Elaboración Propia.

Prueba de funcionamiento en modo 1.

Las pruebas realizadas del funcionamiento del módulo de control del sistema de ventilación en modo 1.

-Se puso en marcha el módulo como se puede apreciar en la imagen tomada se observa que está en estado motor parado el cual indica el encendido de la lampara rojo.

Figura 47

Funcionamiento en modo 1.



Nota: Elaboración Propia.

Prueba de funcionamiento en modo 2.

Las pruebas realizadas del funcionamiento del módulo de control del sistema de ventilación en modo 2.

-Se puso en marcha el módulo como se puede apreciar en la imagen tomada se observa que está en estado motor encendido el cual indica el encendido de la lampara verde.

Figura 48

Funcionamiento en arranque.



Nota: Elaboración Propia.

Prueba de funcionamiento del HMI.

Las pruebas realizadas del funcionamiento del HMI en el módulo de control del sistema de ventilación.

-Se puso en marcha el HMI como se puede apreciar en la imagen tomada se observa que está en estado de monitoreo y control del motor.

Figura 49

Funcionamiento del HMI.



Nota: Elaboración Propia.

Prueba de funcionamiento de frecuencia del motor.

El variador de frecuencia es el encargado de inducir la frecuencia sobre el motor eléctrico para que se produzca la variación de voltaje necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico.

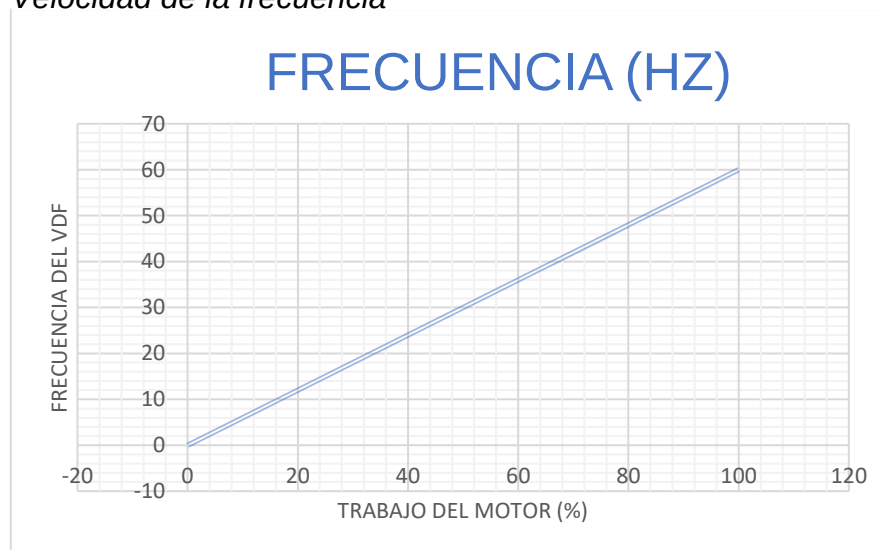
Resultados registrados de prueba.

- El motor opera dentro del siguiente rango de parámetros: 10 a 60 (HZ).

La prueba realizada y su resultado se reflejan en la tabla en el funcionamiento del trabajo del motor en función a la frecuencia del variador de frecuencia.

Tabla 8

Velocidad de la frecuencia



Nota: Elaboración Propia.

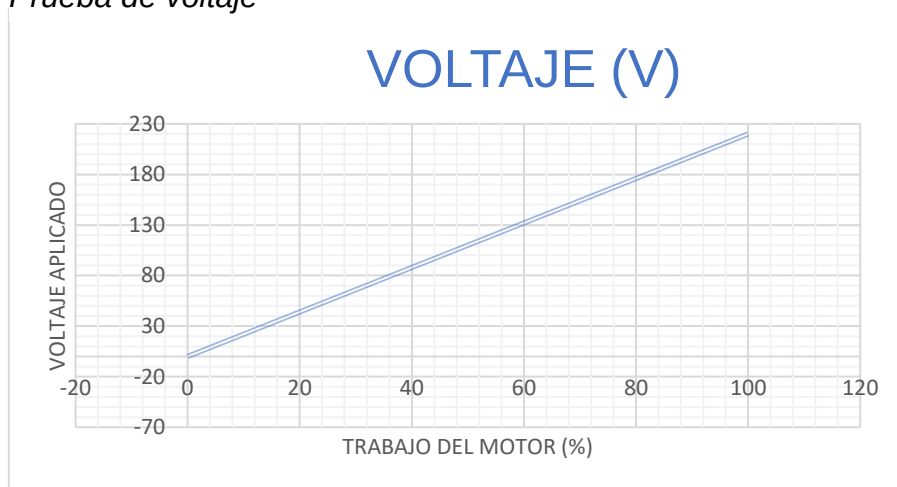
Prueba de funcionamiento de voltaje del motor.

El variador de frecuencia es el encargado de inducir la frecuencia sobre el motor eléctrico para que se produzca la variación de voltaje necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico.

Datos alcanzados durante la prueba

- El rango de operación del motor se encuentra entre 28 y 220 (VAC).

La tabla presenta los resultados conseguidos en la prueba y su desempeño del trabajo del motor en función a la variación del voltaje.

Tabla 9*Prueba de voltaje*

Nota: Elaboración Propia.

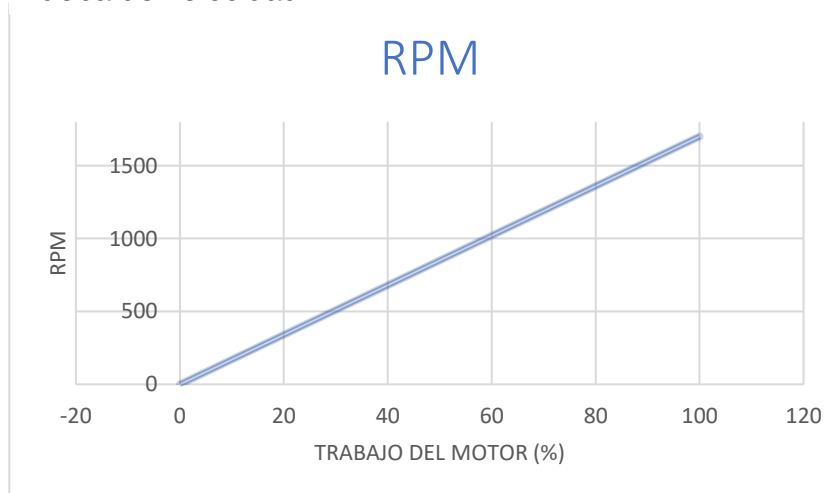
Prueba de funcionamiento de velocidad del motor.

El variador de frecuencia es el encargado de inducir la frecuencia sobre el motor eléctrico para que se produzca la variación de RPM necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico.

Datos alcanzados durante la prueba

- El rango de operación del motor se encuentra entre 170 a 1700 (RPM).

La tabla muestra los resultados de la prueba y su desempeño del trabajo del motor en función a la velocidad en RPM.

Tabla 10*Prueba de velocidad*

Nota: Elaboración Propia.

Prueba de funcionamiento del sensor monóxido de carbono.

El sensor de monóxido de carbono es quien se encarga de inducir la señal sobre el PLC para que se produzca la variación de frecuencia necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico.

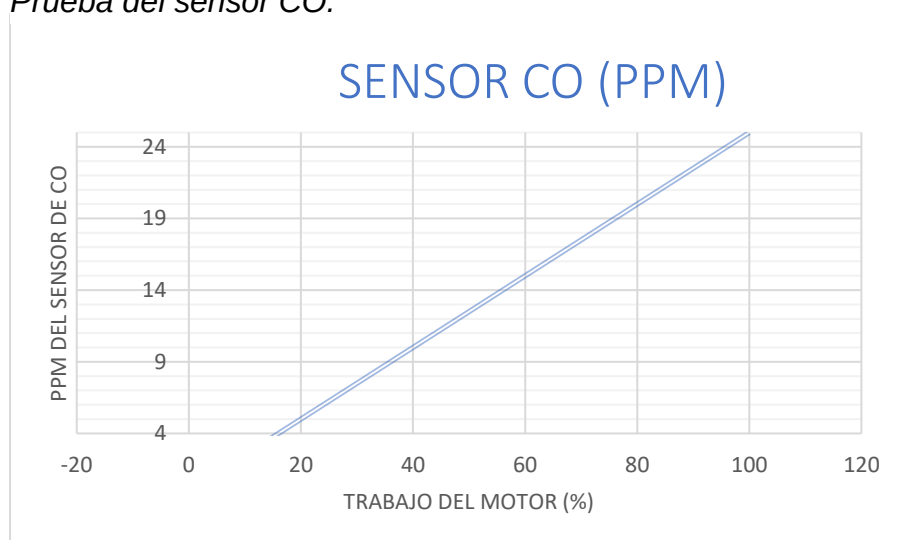
Datos alcanzados durante la prueba.

- El rango de operación del sensor CO está dada entre 4 a 24 (PPM).

La tabla muestra los resultados de la prueba y su desempeño del trabajo del motor en función al sensor de CO.

Tabla 11

Prueba del sensor CO.



Nota: Elaboración Propia.

4. 11 Discusión de resultados

Según mi objetivo E1, El diseño de un sistema automatizado de ventilación para mejorar la calidad de aire en minería subterránea de la región puno, 2024. A partir de los resultados obtenidos, acepto que mi objetivo general es satisfactorio logrando la supervisión y mejorar la calidad de aire aportando a la creación de un entorno medio ambiente saludable y al proceso de mejora continua. Según mi objetivo E2 el volumen de aire exigido es determinando el lugar de instalación tomando en consideración Las normativas que rigen las condiciones laborales ambientales en minería subterránea en el Perú (OSINERGIM), la cual se opta por tomar consideraciones para el criterio de flujo de

aire necesario en minería subterránea ya mencionado. Por lo tanto, mi objetivo favorece a mejorar la calidad del aire mientras se mantiene una supervisión permanente de datos de la calidad de aire en interior mina y de esta manera aumentando la seguridad y confianza de ingreso de los trabajadores para un buen desempeño laboral.

4. 12 Análisis de los resultados obtenidos

La automatización ha adquirido una relevancia creciente en este campo, proporcionando soluciones avanzadas que optimizan la eficiencia y precisión de los sistemas de ventilación.

En la minería, la ventilación es esencial para asegurar la seguridad y salud de los trabajadores, La ventilación en la minería subterránea cumple una función clave en la mejora de la eficiencia operativa, facilita la supervisión de la calidad del aire, la reducción de la contaminación y el aseguramiento de un entorno laboral seguro., contribuyendo así a la eficiencia y sostenibilidad de las actividades mineras. Una ventilación eficiente en las minas subterráneas es esencial para prevenir accidentes relacionados con la concentración de gases tóxicos o inflamables, así como para disipar el calor generado por las operaciones minera.

La automatización de La ventilación en minería requiere la adopción de sistemas avanzados de monitoreo y control que regulan automáticamente las condiciones de ventilación según distintos parámetros, como la concentración de gases, la temperatura, la humedad y el nivel de contaminación.

Lo cual mi sistema automatizado utiliza una red de sensores ubicados en distintos sectores de la mina para obtener información en tiempo inmediato relacionados con la calidad del aire y las condiciones ambientales. Los datos recopilados son procesados mediante algoritmos avanzados hacen posible la detección y anticipación de anomalías, lo que favorece una reacción rápida y exacta frente a condiciones desfavorables.



Dicho sistema cuenta con un control activo de ventilación lo cual se puede realizar ajustes automáticos:

- la rapidez de funcionamiento de los ventiladores
- las orientaciones del flujo de aire
- otros parámetros operativos

Esto mejora la eficiencia del sistema de ventilación, logrando una distribución más homogénea del aire fresco en toda la mina, lo que mejora la calidad del ambiente de trabajo y la eficiencia operativa, esto ayuda a reducir los lugares donde se acumulan contaminantes y mejora la calidad del aire en el lugar de trabajo.

Dado que la automatización de la ventilación en minería puede integrarse con otros sistemas de gestión, Tales como los sistemas de supervisión de la producción y los de gestión de seguridad, con el fin de ofrecer una perspectiva integral de las operaciones mineras y respaldar decisiones basadas en información precisa.

Lo cual el logro más importante es el beneficio de:

Mejorar la seguridad, disminuir el riesgo de accidentes asociados a la calidad del aire y la acumulación de gases tóxicos.

Mejorar la eficiencia energética mediante el ajuste automático del rendimiento de los ventiladores y otros dispositivos.

Reduce los costos asociados con el mantenimiento y la operación manual de los sistemas de ventilación.

CONCLUSIONES

Primero: Al maximizar el flujo de aire, reducir los contaminantes y establecer un entorno de trabajo más seguro y saludable, el diseño del sistema de ventilación automatizado demuestra que es posible mejorar la calidad del aire en la minería subterránea de Puno.

Segundo: Al garantizar un flujo de aire suficiente y reducir la concentración de contaminantes, el desarrollo de un sistema de ventilación automatizado y eficaz mejoró considerablemente la calidad del aire en el entorno subterráneo. Como resultado, se logró con éxito el objetivo planteado, proporcionando a los operadores un ambiente de trabajo más cómodo, seguro y saludable.

Tercero: El establecimiento de los parámetros necesarios para proporcionar una ventilación suficiente en la minería subterránea en la región de Puno durante todo 2024 fue posible gracias a la determinación del volumen de aire requerido. Para lograr el objetivo previsto y proporcionar una base técnica sólida para el diseño y funcionamiento de sistemas de ventilación efectivos, los cálculos realizados garantizaron un suministro adecuado de aire para diluir los contaminantes, regular la temperatura y mantener condiciones de trabajo seguras para los empleados.



RECOMENDACIONES

Primero: Se recomienda que el sistema de ventilación automático se instale gradualmente en las minas profundas de Puno, con monitoreo continuo de la calidad del aire y modificaciones periódicas según los hallazgos. También se aconseja fomentar la investigación en nuevas tecnologías que puedan optimizar aún más la ventilación y proporcionar un entorno de trabajo seguro y saludable, así como capacitar a los empleados en la gestión del sistema.

Segundo: Se recomienda instalar y mantener el sistema de ventilación automática de manera constante, evaluando la calidad del aire regularmente para asegurarse de que esté funcionando correctamente y para identificar áreas de mejora. Para seguir mejorando la ventilación y garantizar condiciones de trabajo más seguras y saludables, también es crucial capacitar a los empleados sobre cómo operar y mantener el sistema, y fomentar los avances tecnológicos.

Tercero: En la minería subterránea en la región de Puno, se recomienda seguir de manera constante los requisitos establecidos de volumen de aire e incorporarlos en el diseño, operación y supervisión del sistema de ventilación. Para proporcionar una ventilación efectiva y un entorno de trabajo seguro para los operadores, también es necesario realizar evaluaciones frecuentes para actualizar estos valores de acuerdo con los cambios en las condiciones operativas y tecnológicas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABURTO, R. (2019). ANALISIS DE LAS CONDICIONES DE VENTILACION Y CALIDAD DE AIRE INTERIOR DE UNA VIVIENDA TIPO 3 DE LA OBRA FORESTA 4 DE LA COMUNA DE SAN PEDRO DE LA PAZ. *Ingenpieras*. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11673/46819>
- Aranda, R. (2020). Relación de la automatización del sistema de ventilación para el control de gases presentes en interior mina con la optimización de la distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019. *Ingemierías*. Universidad Continental, Peru. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8168>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: EDITORIAL EPISTEME, C.A. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION
- Atalaya, J. (2022). Diseño de un sistema de ventilación para reducir gases tóxicos en la mina subterránea Nazareno Ady S. R. L., Cajamarca, 2022. *Ingenierías*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Peru. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/31891>
- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas Programables*. Marcombo. Obtenido de <https://www.rinconingenieril.com/2016/08/automatas-programables-josep-balcells-y.html>
- Cares, F., & Andrades, B. (2022). Implementación de PLC S7-1200 con pantalla HMI KTP700. *Ingenierias*. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11673/54003>



- Carpio, D. (2022). Optimización del sistema de ventilación en minería subterránea usando VENTSIM. *Ingenierías*. Universidad Nacional de Moquegua, Peru. Obtenido de <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/366>
- Castillo, D. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina El Roble. *Ingenierías*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1886>
- Espinoza, C. (2014). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1148/mit2.pdf?sequence=1>
- Fernande, C., & Rengifo, M. (2022-). Optimización del sistema de ventilación y la calidad de aire en la Empresa Minera Artesanal La Chira S. R. L. *Ingenierías*. Universidad Privada del Norte, Peru. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/32981>
- Herrera, J. (2019). *Introducción a la ventilación minera*. Madrid, Espana: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/70227/3/VENTILACION_DE_MINA_LM2B5T3_R0-20190418.pdf
- Núñez, L., & Valarezo, M. (2020). Diseño del sistema de ventilación en la concesión minera "Cebral" y diseño del sistema de desagüe en la concesión minera "R-Nivel", Zaruma-El Oro. *Ingenierías*. Universidad del Azuay, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10146>
- Petruszella, ,. F. (2014). *Controladores lógicos programáveis*. AMGH Editora Ltda. Obtenido de



https://www.academia.edu/42970210/Controladores_Logicos_Programavei

S

Ramírez, N., & Notas, F. (2019). Modelamiento del sistema de ventilación y control de Metano con el simulador "ventsin" tm en la mina subterránea de carbón fezmine, Polonia. *Ingenierías*. Universidad de Concepción., Chile. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/332>

Rodríguez, J., Cerdá, L., & Sánchez, R. (2014). *Automatismos industriales*. Ediciones Paraninfo, SA. Obtenido de <https://pdfdrive.to/filedownload/automatismos-industriales>

Rozan, M. (2023). Diseño e implementación de un sistema de gestión para incremento de la productividad y seguridad del sistema de ventilación en un mina subterránea - Colombia. *Ingenierías*. Universidad Nacional de Ingeniería, Peru. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/26647>

Tamayo, M. (2004). *El Proceso de la Investigación Científica*. Mexico: EDITORIAL LIMUSA. S.A. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/>

Vidal, H. (2020). Diseño del sistema de ventilación de la Compañía Minera San Valentín S. A. U. P. Satanás. *Ingenierías*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Peru. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6861>

zitron. (2007). CONFERENCIAS SOBRE VENTILACIÓN DE MINAS. *CONFERENCIAS*. zitron, Lima, Peru. Obtenido de https://www.academia.edu/7878886/Libro_de_ventilaci%C3%B3n



ANEXOS



Apéndice 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE LA REGIÓN PUNO, 2024					
AUTOR: DAVID MORALES BELLIDO					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOSTESIS	VARIABLES E INDICADORES		
PROBLEMA GENERAL ¿Cómo se diseña un sistema automatizado de ventilación para mejorar la calidad de aire en minería subterránea de la región Puno, 2024? Problemas específicos PE1: ¿De qué manera se desarrolla un sistema de ventilación automático y eficiente que mejore la calidad del aire y genere un ambiente de trabajo más cómodo y saludable? PE2: ¿Como se determina el volumen de aire requerido para asegurar una ventilación adecuada en la minería subterránea de la región Puno, 2024?	OBJETIVOS GENERAL OG: Diseñar un sistema automatizado de ventilación para mejorar la calidad de aire en minería subterránea de la región Puno, 2024 Objetivos específicos OE1: Desarrollar un sistema de ventilación automático y eficiente que mejore la calidad del aire y genere un ambiente de trabajo más cómodo y saludable. OE2: Determinar el volumen de aire requerido para asegurar una ventilación adecuada en la minería subterránea de la región Puno, 2024.	HIPOSTESIS GENERAL El diseño de un sistema automatizado de ventilación en la minería subterránea de la región Puno en 2024 mejorará significativamente la calidad del aire, reduciendo la concentración de contaminantes y optimizando las condiciones de trabajo. Hipótesis específicas HE1: El desarrollo de un sistema de ventilación automático y eficiente mejora la calidad del aire y contribuye a un ambiente de trabajo más cómodo y saludable. HE2: El cálculo del volumen de aire basado en las características operativas y geológicas de la minería subterránea de la región Puno permitirá asegurar una ventilación adecuada que cumpla con los estándares de calidad del aire en 2024.	Variables	Dimensiones	Indicadores
			Variable Independiente - Diseño del sistema automatizado de ventilación Variable dependiente - Calidad de aire en minería subterránea.	Arquitectura del sistema. Automatización y control. Seguridad y cumplimiento normativo. Concentración de gases contaminantes Material particulado y polvo.	- Identificación de componentes - Integración entre sensores, actuadores y controlador - Programación del controlador PLC. - Exactitud de respuesta del sistema - Nivel de automatización del flujo de aire - Cumplimiento con normas de ventilación minera. - Alarmas y paradas de emergencia - Redundancia del sistema. - Niveles de CO (monóxido de carbono) - Niveles de CO₂ (dióxido de carbono) - Niveles de NOx (óxidos de nitrógeno) - Niveles de O₂ disponible



				Ventilación y circulación del aire. Índice de habitabilidad minera (seguridad respiratoria)	- Concentración de PM10 - Concentración de PM2.5 - Densidad de partículas en suspensión. - Velocidad del flujo de aire (m/s) - Renovación de aire por minuto (m³/min) - Distribución del flujo en frentes de trabajo. - Cumplimiento de límites máximos permisibles - Riesgo de exposición del trabajador - Nivel general de seguridad respiratoria.
--	--	--	--	---	---



Apéndice2: Instrumentos.

Apéndice2: Instrumentos.

1.- Datos del experto

1.- Apellidos y nombres: MALEDONADO MAMANI RICARDO ANIBAL

2.- Cargo e institución donde labora: DOCENTE DE LA U.A.N.C.V.

Se detalla una lista de instrumentos electrónicos que se utilizaron para el proyecto **"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACION PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERIA SUBTERRANEA DE LA REGION PUNO, 2024"**, en donde se utilizaron los instrumentos de investigación de Observación directa y experimentación.

Tabla de instrumentos electrónicos.

INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS	DESCRIPCIÓN
Multímetro	Para medir Voltaje, Corriente, Ohm, Continuidad
Pantalla HMI Siemens	Interfaz hombre-maquina
Controlador Lógico Programable S7 1200 Siemens	Lógica de proceso
Tarjeta electrónica Arduino	Interfaz sensores - PLC
Variador de Velocidad Siemens	Control de velocidad
Sensor de CO	PPM
Sensor O	%
Sensor de Temperatura	°C
Sensor de Presión	hPa

Nota: Instrumentos electrónicos en la experimentación.

Dr. Ricardo A. Maldonado Mamani
INGENIERO INDUSTRIAL
C.I.P: 88118



Apéndice3: Validación de instrumentos.

Se ha realizado un cuadro de validación de instrumentos que se ha realizado en esta investigación.

Validación de instrumentos Electrónicos

INSTRUMENTOS	VALIDACIÓN
Multímetro TRUPPER	Certificado de calibración
Pantalla HMI Siemens	Multímetro
Controlador Lógico Programable S7 1200 Siemens	Multímetro
Tarjeta electrónica Arduino uno	Multímetro
Variador de Velocidad Siemens	Multímetro

Nota: Se valida datos con instrumentos tecnológicos




Dr. Ricardo A. Maldonado Mamani
INGENIERO INDUSTRIAL
C.I.P. 88118

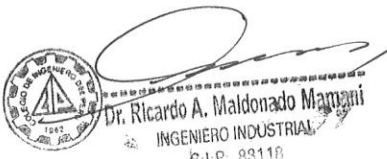


Apéndice 4: Tratamiento de Datos.

Se realiza un cuadro de tratamiento de datos de los componentes electrónicos con el fin de poder realizar la adquisición y procesamiento de algoritmos según los datos obtenidos.

INSTRUMENTOS DE ESTUDIO	INSTRUMENTOS ELECTRONICOS	PARAMETROS	DATOS	VALIDACION
Observación directa	Multímetro	Voltaje	0-800V	Certificado de calibración
		Amperaje	0-	
		Ohm	60Amp	
		Continuidad	0-100Ω	
	HMI siemens	Interfaz Hombre-Maquina	Pitido Visual 0-1	Operatividad HMI
	PLC s7 1200	Lógica de proceso BITS	0-27648	Operatividad PLC
	VDF siemens	Frecuencia (Hz)	Hz	Operatividad VDF
	Sensores de Oxígeno Monóxido Temperatura Presión Atm.	%	0-25%	Multímetro
		PPM	0-100	Multímetro
		°C	0-50	Multímetro
		hPa	300-	Multímetro
			1100	
Experimentación	Regulación de frecuencia	0-60hz	Hz	Multímetro PLC HMI

Nota: El estudio y la validación de datos obtenidos.


Dr. Ricardo A. Maldonado Mamani
INGENIERO INDUSTRIAL
C.I.P. 83118

Apéndice: 5 HMI HTP 700 Siemens

SIEMENS

Data sheet

6AV2123-2GA03-0AX0

SIMATIC HMI, KTP700 BASIC DP, BASIC PANEL, KEY AND TOUCH OPERATION, 7" TFT DISPLAY, 65536 COLORS, PROFIBUS INTERFACE, CONFIGURATION FROM WINCC BASIC V13/ STEP7 BASIC V13, CONTAINS OPEN SOURCE SW WHICH IS PROVIDED FREE OF CHARGE FOR DETAILS SEE CD



Product type designation	
Display	
Design of display	TFT widescreen display, LED backlighting
Screen diagonal	7 in
Display width	154.1 mm
Display height	85.9 mm
Number of colors	65 536
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	800
• Vertical image resolution	480
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	20 000 h
• Dimmable backlight	Yes
Control elements	
Keyboard	
• Function keys	
— Number of function keys	8
• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric/alphabetical input	
— Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
— Alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7215-1BG40-0XB0



SIMATIC S7-1200, CPU 1215C, CPU compacta, AC/DC/relé, 2 puertos PROFINET, E/S integradas: 14 DI 24 V DC; 10 DO, relé 2 A, 2 AI 0-10 V DC, 2 AO 0-20 mA DC, alimentación: AC 85-264 V AC con 47-63 Hz, memoria de programas/datos 200 kB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1215C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.6
Ingeniería con	
• Paquete de programación	STEP 7 V18 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	
• 120 V AC	Si
• 230 V AC	Si
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	265 V
Frecuencia de red	
• Rango admisible, límite inferior	47 Hz
• Rango admisible, límite superior	63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
Consumo, máx.	300 mA con 120 V AC; 150 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
I _t	0,8 A ² ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
• 24 V	20,4 a 28,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	14 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
• integrada	200 kbyte
Memoria de carga	
• integrada	4 Mbyte
• enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
• existente	Si
• libre de mantenimiento	Si
• sin pila	Si
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, tip.	0,08 µs; /instrucción
para operaciones a palabras, tip.	1,7 µs; /instrucción
para aritmética de coma flotante, tip.	2,3 µs; /instrucción

6ES72151BG400XB0
Página 1/6

11/4/2024

Sujeto a cambios
© Copyright Siemens

Apéndice: 6 VARIADOR DE FRECUENCIA Siemens

SINAMICS V20: datos técnicos

SIEMENS

0,12 a 15 kW



SINAMICS V20	
Tensión de red/frecuencia de red	1AC 200 a 240 V (+/-10%); 3AC 380 a 480 V (-15% ...+10%) con 50/60 Hz
Potencia asignada/tamaños	0,12 a 15 kW/4 tamaños
Tipo de configuración	Variador compacto que reúne en un equipo las unidades funcionales Control Unit (CU) y Power Module (PM) + accesorios opcionales
Grado de protección	IP20/IUL open type
Temperatura de servicio	Hasta 60 °C sin reducción de potencia/40 a 60 °C con reducción de potencia
Humedad ambiental, máx.	95% (no condensada)
Capacidad de sobrecarga	Sobrecarga: 150% durante 60 s dentro de un ciclo de carga de 300 s
Interfaces de comunicación integradas	USS/Modbus RTU
Entradas/salidas de señal (I/Os)	4 DI/2 DO/2 AI/1 AO
Tipos de control y regulación	U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO)
Safety Integrated	-
Frenado	Chopper de freno opcional para FSA, FSB, FSC (0,37 a 5,5 kW); chopper de freno integrado para FSD (7,5 a 15 kW)
Interfaces de herramienta	Tarjeta de memoria: Tarjeta SD SINAMICS, panel de mando: Parameter Loader con V20 BOP
Normas	CE, CULus, C-tick, KC
Compatibilidad electromagnética (CEM)	Para más detalles, véase el capítulo 4: Más información
Longitudes del cable de motor	Cable sin apantallar: 50 m; cable apantallado: 25 m, 10 m para FSA; son posibles cables de motor más largos con bobina de salida: 3AC 400 V: cable apantallado/sin apantallar 150 m 1AC 230 V: cable apantallado/sin apantallar 200 m
Funciones de energía	Modo ECO (reducción automática de flujo), modo de ahorro de energía en Standby, calculadora de consumo energético
Funciones	Consigna de velocidad fija, regulador PID

! Encontrará la documentación técnica de SINAMICS V20 en:
siemens.com/sinamics-v20/documentation

2_09

Apéndice 7 Module RS 485 Siemens

SIEMENS

Data sheet

6ES7241-1CH32-0XB0

SIMATIC S7-1200, Communication module CM 1241, RS422/485, 9-pole D-sub (socket) supports Freepoint



General information	
Product type designation	CM 1241 RS 422 / 485
Supply voltage	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption, max.	220 mA; From backplane bus 5 V DC
Power loss	
Power loss, typ.	1.1 W
Interfaces	
Interfaces/bus type	RS 422 / 485 (X.27)
Number of interfaces	1
Point-to-point connection	
• Cable length, max.	1 000 m
Integrated protocol driver	
— Freepoint	Yes



— ASCII	Yes; Available as library function
— Modbus RTU master	Yes
— MODBUS RTU slave	Yes
— USS	Yes; Available as library function

Protocols

Integrated protocols

Freeport

— Telegram length, max.	1 kbyte
— Bits per character	7 or 8
— Number of stop bits	1 (Standard), 2
— Parity	No parity (standard); even, uneven, mark (parity bit always 1); space (parity bit always 0)

3964 (R)

— Telegram length, max.	1 kbyte
— Bits per character	7 or 8
— Number of stop bits	1 (Standard), 2
— Parity	No parity (standard); even, uneven, mark (parity bit always 1); space (parity bit always 0)

Modbus RTU master

— Address area	1 through 49 999 (Standard Modbus addressing)
— Number of slaves, max.	247; slave numbers 1 through 247, per MODBUS network segment maximum 32 devices, additional repeaters needed to expand the network to maximum configuration

MODBUS RTU slave

— Address area	1 through 49 999 (Standard Modbus addressing)
----------------	---

Interrupts/diagnostics/status information

Diagnostics function	Yes
----------------------	-----

Diagnostics indication LED

• for status of the outputs	Yes
-----------------------------	-----

Degree and class of protection

IP degree of protection	IP20
-------------------------	------

Standards, approvals, certificates

CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	Yes

Ambient conditions



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 21/08/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: <u>DAVID MORALES BELLIDO</u>			
Dirección: <u>URB. VILLA MEDICA R2 S/N</u>			
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: <u>70539585</u>			
Teléfono: <u>944011144</u>		email: <u>smorbell123@gmail.com</u>	
Nombres y Apellidos: _____			
Dirección: _____			
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____			
Teléfono: _____		email: _____	
Facultad y/o Escuela de Posgrado: <u>INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS</u>			
Escuela Profesional o Mención: <u>INGENIERÍA MECATRÓNICA</u>			
Título o Grado Académico a optar: <u>INGENIERO MECATRÓNICO</u>			
Asesor: <u>Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI</u>			
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:			
Trabajo de Investigación	☐	Tesis	☒
Trabajo de Suficiencia Profesional	☐	Trabajo Académico	☐
Título: <u>DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE LA REGION PUNO, 2024</u>			
Palabras claves, (3 a 5 términos): <u>Sistema Automatizado, Ventilación, Calidad De Aire, Minería Subterránea</u>			
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2} ?			
<u>1</u>			
¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.			
² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.			



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☒ Sí autorizo
- ☐ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☒

Internacional

☐

Nacional

Línea de investigación: **Tecnología de la Instrumentación – P21**

Firma de Autor



huella digital

21 de agosto del 2025

Fecha