

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA NUEVA
ESPERANZA NIVEL 2 – ALGAMARCA - CAJABAMBA**

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

AUTOR:

BACH. REQUELME QUILICHE MIRIAM JACKELINE

ASESOR:

M.CS. ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO

CAJAMARCA-PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : REQUELME QUILICHE MIRIAM JACKELINE
DNI : 70227492
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
2. Asesor : M. CS. ING. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO
Facultad : INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
5. Título de Trabajo de Investigación:
"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA NUEVA ESPERANZA NIVEL 2 –
ALGAMARCA - CAJABAMBA"
6. Fecha de evaluación: 13 de mayo del 2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 8%
9. Código Documento: Oid:::3117:458952722
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 13/05/2025



FIRMA DEL ASESOR
M. CS. ING. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO
DNI: 29552145



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 13/05/2025 22:37:27-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA NUEVA ESPERANZA NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJABAMBA.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0227-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 21 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veinte días del mes de junio de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

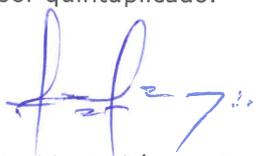
Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Secretario : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA NUEVA ESPERANZA NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJABAMBA*, presentado por la Bachiller en Ingeniería de Minas *MIRIAM JACKELINE REQUELME QUILICHE*, asesorada por el M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

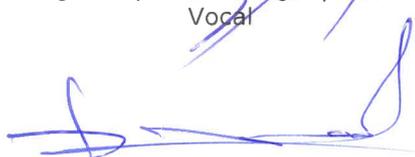
EVALUACIÓN PRIVADA : *4.0* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11.0* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *15.0* PTS. *QUINCE* (En letras)

En consecuencia, se la declara *APROBADA* con el calificativo de *QUINCE* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *10:00* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente


Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario


M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma Mater UNC y Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y especialmente a asesor M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca por los conocimientos brindados y su disposición para desarrollar esta investigación

A Dios por estar conmigo en todo momento, por darme fuerza y coraje de perseguir mis sueños.

A mis padres y hermanos por el amor y apoyo que me han dado desde el momento que comencé esta carrera.

A mis familiares y amigos que han estado para mí en los momentos más difíciles.

Miriam R.

DEDICATORIA

Con mucho amor para mis padres Víctor y Leonor que son mi razón de ser y la inspiración detrás de cada uno de mis logros.

A mi abuelita Francisca que fue como una madre y cuya memoria permanece viva en mí; su legado y esencia continúan guiándome, aún en su ausencia.

A mis hermanos José, Luz y Víctor que llenan mi vida de color y son mi mayor fuente de motivación.

Miriam R.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE FOTOS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.2	ANTECEDENTES TEÓRICOS	3
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	3
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	4
2.1.3.	Antecedentes Locales	5
2.2.	BASES TEÓRICAS	7
2.2.1.	Ventilación en Minería Subterránea	7
2.2.2.	Ventilación Natural	7
2.2.3.	Ventilación Auxiliar	8
2.2.3.1.	Tipos de Sistemas de Ventilación Auxiliar	8
2.2.4.	Caudal de Aire	12
2.2.5.	Requerimiento de Aire en Labores Subterráneas	12
2.2.6.	Requerimiento de Aire Total	12
2.2.6.1.	Caudal Requerido por el Número de Trabajadores (Q_{Tr})	13
2.2.6.2.	Caudal requerido por el Consumo de Madera (Q_{Ma})	13
2.2.6.3.	Caudal Requerido por Temperatura en Labores de Trabajo (Q_{Te})	14

	Pág.
2.2.6.4. Caudal Requerido por Fugas (Q_{Fu})	15
2.2.6.5. Caudal Requerido por Consumo de Explosivos (Q_{Ex}).....	15
2.2.7. Balance de Aire.....	15
2.2.8. Cobertura de Aire	16
2.2.8.1. Interpretación según el Porcentaje de Cobertura de Aire.....	16
2.2.9. Mangas de Ventilación.....	16
2.2.9.1. Accesorios de Mangas.....	17
2.2.10. Cámaras de Salvataje	18
2.2.10.1. Características de Las Cámaras de Salvataje	19
2.2.10.2. Tipos de Cámaras de Salvataje.....	19
2.2.10.3. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso	20
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	23

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	25
3.2. ACCESIBILIDAD	25
3.3. CLIMA.....	27
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.4.1. Definición de variables.....	27
3.4.2. Metodología	27
3.4.3. Población de estudio.....	28
3.4.4. Muestra	28
3.4.5. Unidad de análisis	29
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	29
3.5.1. Técnicas.....	29
3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos.....	30
3.5.3. Materiales y equipos	30
3.5.4. Softwares.....	31
3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	32

	Pág.
3.6.1. Etapa preliminar de gabinete.....	32
3.6.2. Etapa de campo	32
3.6.3. Etapa de gabinete	32
3.7. GEOLOGÍA LOCAL	33
3.8. GENERALIDADES DEL PROYECTO	33
3.8.1. Galería de Exploración Nv.2880.	33
3.8.2. Galería Principal Nv. 3060.	33
3.8.3. Labores de la Mina.....	35
3.8.3.1. Pique.....	35
3.8.3.2. Chimenea	35
3.8.3.3. Labores Abandonadas	36
3.8.4. Accesorios de Ventilación	37
3.8.4.1. Ventiladores	37
3.8.4.2. Plataformas.....	38
3.8.4.3. Tableros Eléctricos	38
3.8.4.4. Mangas de Ventilación.....	39
3.8.4.5. Alcayatas.....	40

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	41
4.1.1. Descripción del Sistema de Ventilación.....	41
4.1.2. Medición de Caudal de Aire.....	41
4.1.2.1. Evaluación de Ingreso de Caudal de Aire	42
4.1.2.2. Evaluación de Salida de Caudal de Aire	44
4.1.3. Requerimientos de Caudal de Aire.....	49
4.1.3.1. Requerimiento de aire total en la zona Norte – Nv. 3060	49
4.1.3.2. Requerimiento de aire total en la zona Centro – Nv. 3060	53
4.1.3.3. Requerimiento de aire total en la zona Sur – Nv. 3060.....	56

	Pág.
4.1.4. Formato de Verificación de acuerdo al DS N.º 024-2016-EM.....	61
4.1.5. Inventario de Ventiladores Principales	66
4.2. ÁREAS DE MEJORA EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	69
4.3. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL SISTEMA DE VENTILACIÓN... ..	75
4.3.1. Áreas para la construcción de Cámaras de Salvataje.....	75
4.3.2. Evaluación Geomecánica de las Áreas para las Cámaras de Salvataje	77
4.3.3. Consideraciones para la construcción de las Cámaras de Salvataje.....	83
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	84
4.4.1. Análisis de las Mediciones del Caudal de Aire	84
4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	86

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	87
5.2 RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
6. ANEXOS.....	92
A. Formatos	92
B. Planos	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.	14
Tabla 2. Velocidad mínima del requerimiento de aire.	15
Tabla 3. Interpretación de valores de RQD.....	20
Tabla 4. Calidad de macizo rocoso en relación con el Índice RMR.	21
Tabla 5. Tabla de valorización para el Índice RMR ₈₉	22
Tabla 6. Accesibilidad a la zona de Investigación.	25
Tabla 7. Variables de la Investigación.....	27
Tabla 8. Clasificación y tipo de investigación.	28
Tabla 9. Área de ingreso.	42
Tabla 10. Tiempo promedio de ingreso de caudal de aire.	44
Tabla 11. Área de salida.....	45
Tabla 12. Tiempo promedio de salida de caudal de aire.	46
Tabla 13. Cálculo de requerimiento de aire por trabajadores zona Norte.....	49
Tabla 14. Cálculo de requerimiento de aire por fugas zona Norte.....	51
Tabla 15. Cálculo de requerimiento de aire por consumo de explosivos zona Norte.....	52
Tabla 16. Resumen del requerimiento total de caudal de aire zona Norte.....	53
Tabla 17. Cálculo de requerimiento de aire por trabajadores zona Centro.....	53
Tabla 18. Cálculo de requerimiento de aire por temperatura zona Centro.	54
Tabla 19. Cálculo de requerimiento de aire por fugas zona Centro.....	55
Tabla 20. Cálculo de requerimiento de aire por consumo de explosivos zona Centro.	55
Tabla 21. Resumen del requerimiento total de caudal de aire zona Centro.....	56
Tabla 22. Cálculo de requerimiento de aire por trabajadores zona Sur.	57
Tabla 23. Cálculo de requerimiento de aire por temperatura zona Sur.....	59
Tabla 24. Cálculo de requerimiento de aire por fugas zona Sur.	59
Tabla 25. Cálculo de requerimiento de aire por consumo de explosivos zona Sur.....	60
Tabla 26. Resumen del requerimiento total de caudal de aire zona Sur.	61
Tabla 27. Inventario de Ventiladores Principales.....	67
Tabla 28. Cobertura de aire en zona Sur implementado.	73
Tabla 29. Análisis cinemático de la EG-01.....	80
Tabla 30. Análisis cinemático de la EG-02.....	81
Tabla 31. Análisis de estabilidad física de la cuña EG-01	82
Tabla 32. Balance de aire.....	84

	Pág.
Tabla 33. Cobertura de aire en zona Norte.	85
Tabla 34. Cobertura de aire en zona Centro.....	85
Tabla 35. Cobertura de aire en zona Sur.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de ventilación natural.....	7
Figura 2. Sistema de ventilación impelente en el frente de trabajo.	9
Figura 3. Sistema de ventilación impelente a la mina.	9
Figura 4. Sistema de ventilación aspirante en el frente de trabajo.	10
Figura 5. Sistema de ventilación aspirante en la mina.....	11
Figura 6. Sistema de ventilación combinado.	11
Figura 7. Curvas forzadas.	17
Figura 8. Accesorios que imponen cambios bruscos.	17
Figura 9. Empalmes entre tramos.	18
Figura 10. Ruta de acceso terrestre de Cajamarca a San Miguel de Algamarca.....	26
Figura 11. Cálculo de áreas.....	29
Figura 12. Instrumentos y equipos utilizado en la investigación.....	31
Figura 13. Estándar de especificación para chimeneas.....	36
Figura 14. Esquema conceptual del Sistema de Ventilación del área de estudio.....	41
Figura 15. Vista del plano: Estaciones de Monitoreo de la velocidad del aire de ingreso y salida.....	48
Figura 16. Porcentaje de cumplimiento de los artículos.	66
Figura 17. Vista del plano: Sistema de ventilación actual - zona Sur.	70
Figura 18. Chimeneas gemelas.	71
Figura 19. Vista del plano: Sistema de ventilación propuesta.	72
Figura 20. Vista del plano: Cámaras de Salvataje.....	76
Figura 21. Estación geomecánica EG-01. Formato tomado de Ausenco Perú SRL, 2021.	78
Figura 22. Estación geomecánica EG-02. Formato tomado de Ausenco Perú SRL, 2021.	79

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Vista de la Bocamina Nv. 2880 por donde ingresa el aire limpio a las labores de trabajo, tiene una longitud de 800 metros y cuenta con rieles al costado para el tránsito de las vagonetas.....	34
Foto 2. Vista de la Bocamina Nv. 3060. por donde sale el aire viciado de las labores de trabajo, tiene una longitud de 1500 metros hasta la zona Sur y cuenta con rieles al centro para el tránsito de las vagonetas.	34
Foto 3. Pique de Izaje de minerales polimetálicos Cu y Au, mediante unas chanchas de jebe con cable acerado, polea y winche de Izaje.....	35
Foto 4. Chimenea de tolva y echadero por donde baja el mineral de las galerías y cruceros principales a las vagonetas U35.....	35
Foto 5. Chimenea de acceso para el transporte de personal y servicios de agua, aire, energía y ventilación. Se conecta entre varios niveles.	36
Foto 6. Labores abandonadas cubiertas para restringir el acceso del personal en obra.....	37
Foto 7. Ventilador Impelente de 20 HP, colgado en la parte superior con pernos de anclaje y cable acerado a presión.....	37
Foto 8. Plataformas de soporte de madera que sirven para sostener, asegurar, facilitar la instalación y el mantenimiento de los ventiladores.	38
Foto 9. Tablero eléctrico para el control y distribución de energía de un ventilador.....	38
Foto 10. Mangas de Nylon blanco de 18” de ancho ubicadas al costado de la parte superior, son colgadas por alcayatas para inyectar aire limpio a las labores de trabajo.....	39
Foto 11. Mangas de tubería PVC de 18” ubicadas en la parte superior con pernos de anclaje y cable acerado a presión para inyectar aire limpio a las labores de trabajo.	39
Foto 12. Alcayatas para colocar las mangas de ventilación de Nylon al costado de la parte superior de las galerías.	40
Foto 13. Cálculo del área de la bocamina Nv. 2880 por donde ingresa el aire limpio.	42
Foto 14. Método experimental: Con una wincha se midió 3 metros de distancia entre dos personas. Nv. 2880 estación de monitoreo EV-03.....	43
Foto 15. Método experimental: Se enciende la bengala y se controla el tiempo que tarda en llegar el humo al otro punto en una distancia de 3 metros. Nv. 2880 EV-01.....	43
Foto 16. Cálculo del área de la bocamina Nv. 3060 por donde sale el aire viciado.	45
Foto 17. Método experimental: Con una wincha se midió 3 metros de distancia entre dos personas. Nv. 3060 estación de monitoreo EV-01.....	46

	Pág.
Foto 18. Método experimental: Se enciende la bengala y se controla el tiempo que tarda en llegar el humo al otro punto en una distancia de 3 metros. Nv. 3060 EV-07.	46
Foto 19. Veta Milagros ubicada en la zona Norte, con dirección SE - NW y cota 2910 m.s.n.m; cuenta con 3 frentes de trabajo.	50
Foto 20. Veta Chibolo ubicada en la zona Norte, con dirección NW - SE y cota 2990 m.s.n.m; cuenta con 3 frentes de trabajo.	50
Foto 21. Veta Victoria ubicada en la zona Centro, con dirección NW - SE y cota 3010 m.s.n.m; cuenta con 3 frentes de trabajo.	54
Foto 22. Veta Lucy ubicada en la zona Sur, con dirección SE - NW y cota 3020 m.s.n.m; cuenta con 2 frentes de trabajo.	58
Foto 23. Veta Esmeralda II ubicada en la zona Sur, con dirección W – E, cota 3000 m.s.n.m y 72° de buzamiento; cuenta con 3 frentes de trabajo.	58
Foto 24. Ventilador tipo Aspirante instalado sobre una plataforma de madera con un tablero eléctrico para su funcionamiento.	68
Foto 25. Ventilador tipo Impelente enganchado en la parte superior con pernos de anclaje y cable acerado a presión.	68
Foto 26. Ventilador en mal estado; chancado y deteriorado en la zona Sur. Ubicado en la parte superior de la galería sobre palos de madera.	74
Foto 27. Mangas de ventilación sin estar enganchadas en alcayatas, provocando deficiencias del flujo de aire hacia las zonas de trabajo.	74
Foto 28. Mangas de ventilación en mal estado presentan roturas mostrando falta de mantenimiento.	75
Foto 29. Cámara de salvataje 1: Ubicada en la zona Norte, tiene altura de 2.50 m y ancho 1.2m; el macizo rocoso es areniscas cuarzosas de buena calidad geomecánica (RMR ₈₉ 69).	83
Foto 30. Cámara de salvataje 2: Ubicada en la zona Centro, tiene altura de 2.20 m y ancho 1.50m; el macizo rocoso es areniscas cuarzosas de buena calidad geomecánica (RMR ₈₉ 72).	84

LISTA DE ABREVIATURAS

HP	: Caballos de fuerza
CFM	: Pies cúbicos por minuto
Q	: Caudal
m.s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar
SENARGEOMIN	: Servicio Nacional de Geología y Minería
DS	: Decreto Supremo
EM	: Energía y Minas
°C	: Grados centígrados
T	: Temperatura
CO	: Monóxido de carbono
CO ₂	: Dióxido de carbono
CH ₄	: Metano
O ₂	: Oxígeno
NO ₂	: Dióxido de nitrógeno
H	: Hidrogeno
m ³	: Metros cúbicos
min.	: Minutos
Nv.	: Nivel
m	: Metros
N.º	: Número
hrs.	: Horas
EV	: Estación de Monitoreo

RESUMEN

La presente investigación se ha desarrollado en la mina Nueva Esperanza - Nivel 2 en los Nv. 2880 y 3060, ubicada en el Centro Poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cacachi, provincia de Cajabamba y región Cajamarca. El sistema de ventilación empleado en la unidad minera está dividido en tres zonas Norte, Centro y Sur; donde se ha detectado que las condiciones de ventilación presentan deficiencias para la continuación de la operación extractiva. Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el Sistema de Ventilación de acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería aprobado por DS N.º 024-2016- EM, así como su modificatoria según el DS N.º 023-2017-EM, se realizó la medición del caudal de ingreso de aire en la bocamina Nv. 2880 y la salida de aire en la bocamina Nv. 3060, teniendo 9 247.27 CFM de ingreso de aire y 8 893. 85 CFM de salida de aire, teniendo una diferencia de caudales de 353.42 CFM el cual no excede el 10%. El cálculo del requerimiento de caudal de aire se realizó en las tres zonas de trabajo de acuerdo al número de trabajadores, la temperatura en labores de trabajo, las fugas de aire y por consumo de explosivo, obteniendo como resultado que la cobertura de caudal de aire en la zona Norte es de 172%, zona Centro 109% y zona Sur es de 28%. La verificación del cumplimiento del sistema de ventilación en base al formato del DS. N.º 024-2016-EM, muestra como resultado el cumplimiento de 3 artículos al 100% y 4 artículos no cumplidos; asimismo, se realizó un inventario de equipos ventilación constituidos por 6 ventiladores operativos ubicados en puntos estratégicos de la mina. La investigación concluye que la zona Sur presenta un déficit de aire requerido por lo cual se debe instalar 3 ventiladores enseriados con una capacidad de 10 000 CFM cada ventilador, obteniendo una cobertura de caudal de aire de 120%. Finalmente, como estrategia de mejora para el sistema de ventilación se propone la construcción de cámaras de salvataje en la zona Norte y Centro, cerca de las labores de trabajo, donde la ventilación es adecuada y el macizo rocoso es de calidad geomecánica buena con una valoración RMR_{89} de 69 y 73.

Palabras Claves: Caudal de aire, cobertura de aire, sistema de ventilación, ventilador, Decreto Supremo, requerimiento.

ABSTRACT

This research was carried out at the Nueva Esperanza mine - Level 2 at Lv. 2880 and 3060, located in the San Miguel de Algamarca Population Center, Cacachi District, Cajabamba Province, Cajamarca Region. The ventilation system used in the mining unit is divided into three zones: North, Center, and South; where it has been detected that the ventilation conditions are deficient for the continuation of the extractive operation. The main objective of this research is to evaluate the Ventilation System in accordance with the Occupational Health and Safety Regulations in Mining approved by DS No. 024-2016- EM, as well as its amendment according to DS No. 023-2017-EM, the air inlet flow rate was measured at the Lv. 2880 mine entrance and the air outlet at the Lv. 3060, with 9,247.27 CFM of air intake and 8, 893. 85 CFM of air output, resulting in a flow rate difference of 353.42 CFM, which does not exceed 10%. The air flow requirement was calculated in the three work zones based on the number of workers, the temperature during work tasks, air leaks, and explosive consumption. The result was 172% air flow coverage in the North zone, 109% in the Central zone, and 28% in the South zone. Verification of compliance with the ventilation system based on the DS No. 024-2016-EM format showed 100% compliance in 3 items and 4 incomplete compliance. An inventory of ventilation equipment was also conducted, consisting of 6 operational fans located at strategic points in the mine. The investigation concludes that the southern zone presents a shortage of air, requiring the installation of three series fans with a capacity of 10,000 CFM each, achieving 120% airflow coverage. Finally, as an improvement strategy for the ventilation system, the construction of rescue chambers is proposed in the northern and central zones, near the work sites, where ventilation is adequate and the rock mass is of good geomechanical quality with an RMR89 rating of 69 and 73.

Keywords: Air flow, air coverage, ventilation system, fan, Supreme Decree, requirement.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las minas subterráneas de pequeña escala deben tener un correcto sistema de ventilación apropiado a sus condiciones, de lo contrario tendría problemas de seguridad y salud ocupacional en sus trabajadores y, además, conllevaría unos costos económicos considerables (Rivera, 2022). Para garantizar que la ventilación esté funcionando correctamente en una mina, se tiene que cumplir con una serie de requisitos técnicos y legales, entre los cuales es el desarrollo de buenas prácticas en seguridad y salud ocupacional, lo que incluye un sistema adecuado de ventilación en las minas subterráneas.

La ventilación en minas subterráneas es un factor crítico que a menudo se descuida, las condiciones de ventilación suelen ser extremadamente deficientes debido a la falta de personal y equipos técnicos especializados, ya que los pequeños productores mineros trabajan de manera empírica; por esta razón, realizar una evaluación del sistema de ventilación es esencial para asegurar que se están cumpliendo los estándares de seguridad y efectividad requeridos por la normativa Peruana de Minería.

En las operaciones de la Mina Nueva Esperanza Nivel 2, ubicada en Algamarca, Cajabamba, por ser una operación minera subterránea a pequeña escala presenta deficiencias que podrían afectar la salud y seguridad de los trabajadores, así como eficiencia operativa de la mina; es por ello que, el presente trabajo de investigación busca evaluar el sistema de ventilación en cuanto a la cantidad y calidad del aire requerido para garantizar la seguridad del personal y a la conservación de los equipos que se encuentran en el interior de las labores mineras.

A partir de ello, se formula el siguiente problema: ¿Cómo es el sistema de ventilación en la Mina Nueva Esperanza Nivel 2, Algamarca, Cajabamba?, basado en esto, la presente investigación tiene como hipótesis que: Al evaluar el sistema de ventilación de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2, Algamarca, se obtendrá como resultado que la cobertura de aire en la zona Norte y Centro es al 100%, pero en la zona Sur presenta un déficit de aire, presentando áreas que requieren mejoras para garantizar la seguridad y eficiencia operativa. Asimismo, el presente trabajo de investigación se justifica en la necesidad de evaluar y mejorar el sistema de ventilación de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2, conforme a los

estándares establecidos en el DS 024-2026-EM y sus respectivas modificaciones en el DS 023-2017-EM. Esta evaluación no solo permitirá determinar si la cantidad y calidad del aire en la mina cumplen con los requisitos de seguridad para el personal y la conservación de los equipos, sino que también será crucial para las posibles investigaciones futuras de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2.

Como objetivo principal se tiene: Evaluar el sistema de ventilación de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 - Algamarca, Cajabamba. Para mejor enfoque de la investigación, se tiene como objetivos específicos: Diagnosticar la situación actual del sistema de ventilación de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, identificar áreas de mejora en el sistema de ventilación y proponer estrategias para mejorar el sistema de ventilación.

El contenido de esta investigación se organizó en cinco capítulos y se describe de la siguiente manera: Capítulo I: Introducción, hace referencia al planteamiento y formulación del problema, hipótesis y los objetivos. Capítulo II: Marco teórico, se describe los antecedentes teóricos relacionado al tema de investigación, bases teóricas que fundamentan la investigación y la definición de términos básicos. Capítulo III: Materiales y métodos, se describe la ubicación geográfica, accesibilidad a la zona de estudio, clima del área de estudio, metodología de investigación, técnicas e instrumentos de recolección, el procedimiento siguiendo un orden establecido para las actividades de campo y gabinete. Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados, se realiza el análisis de los datos obtenidos en campo y la evaluación del sistema de ventilación en gabinete, mencionando los resultados obtenidos y contrastándose con las hipótesis planteadas para desarrollar la investigación. Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones, que permitan corroborar la consistencia de los objetivos planteados al empezar el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.2 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Castillo (2017), en su tesis titulada: “Evaluación del Sistema de Ventilación de la Mina El Roble”. concluye que, el sistema de ventilación de la Mina El Roble no se está cumpliendo el Reglamento 1886 de 2015, en los artículos 41, 43, 44, 46, 57 del Título II de Ventilación y que la cobertura del actual sistema de ventilación de la Mina El Roble es aproximadamente de 16%, y la cobertura propuesta aumenta un 77%. El monitoreo de la atmósfera al interior de la mina midiendo las concentraciones de los gases lo realiza la cuadrilla de salud y seguridad, y no son de forma permanente por lo cual no van de la mano con las actividades conjuntas que debería si existiera el componente de técnicos y/o expertos de la cuadrilla de control y mantenimiento de las condiciones y ductos de ventilación. La recomendación más importante que se realizó es la adquisición de un nuevo ventilador de 200 000 CFM el cual proporcionara una cobertura mayor y con óptimos resultados en el trabajo minero de la Mina El Roble.

Carrascal & Manzur (2014), realizó “Evaluación y propuesta del mejoramiento de la Ventilación para la Mina El Maracaibo” municipio de Samacá, departamento de Boyacá”. Se logró evaluar el sistema de ventilación actual de la Mina Maracaibo, encontrándose algunos factores importantes que afectan la corriente de aire del circuito principal de ventilación, logrando detectar los diferentes puntos críticos de ventilación. Se tiene que el caudal requerido de aire para la mina de carbón debe ser $7.605\text{m}^3/\text{seg}$ y que la ventilación principal propuesta busca diluir todos los gases al valor límite permisible. Para el diseño de la red de ventilación se examinó las labores mineras tanto actuales como proyectadas para conocer hacia donde dirigimos la corriente de aire limpio, de manera que se cumpliera con los estándares de ventilación estipulados en el Decreto 1335 de 1987 Reglamento de Seguridad en las labores subterráneas en Colombia. Asimismo, se realizó un estudio de emanación para reducir a su menor presencia posible los gases como el metano (CH_4) y

polvo de carbón que forma el grisú y que se encuentran en las labores donde están las operaciones de extracción, vías de retorno y circuito principal de la mina.

Chacha (2016), en su tesis titulada: “Sistema de Ventilación para labores subterráneas de la empresa Produmin S.A.”. concluye que, de acuerdo a los datos de campo que nos permitieron realizar el diseño de ventilación de la mina se necesita una ventilación mecánica que brindara un ambiente de trabajo óptimo para el personal de interior mina. El método escogido fue un sistema en serie, mixto impelente-aspirante con el uso de 4 ventiladores, turbinas de extracción y mangas de ventilación. Con este diseño propuesto de ventilación se consigue extraer y diluir los gases asfixiantes, tóxicos y polvo. Se obtuvo que el costo de implementación de este sistema de ventilación es de 1,51 US\$/CFM, siendo el más adecuado y rentable para determinar alternativas de un entorno de trabajo seguro, teniendo aire limpio en el frente de trabajo que permite acelerar el minado, disminuye la temperatura, mejora las condiciones de confort de los trabajadores, aumentando su rendimiento e incrementando la producción y sobre todo cumpliendo normas que exige el Reglamento de Seguridad Minera del Ecuador.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Avalos (2021), en su tesis titulada: “Evaluación del Sistema de Ventilación para el Diseño del circuito principal en la Mina Esperanza – U. M. San Juan de Arequipa”, tuvo como resultado que el diseño del nuevo sistema de ventilación se cumple con el objetivo de tener una ventilación mecánica, cumpliendo con la cobertura de caudal que es de 43 941 CFM que se requiere en la Zona Esperanza para disminuir la temperatura y eliminar la recirculación, ejecutándose el proyecto de chimeneas de ventilación. Con el nuevo diseño del sistema de ventilación se cumple con la cobertura de aire teniendo un 135 % con un superávit que representa a un caudal de 15 592 CFM, también se muestra incremento de caudal de aire en los ingresos principales que es de 177% y un incremento de estaciones de monitoreo con velocidad mayores a 20 m/min.

Zavala (2022), realizó “Evaluación del Sistema de Ventilación para mejorar deficiencia de aire en Mina Antapite de empresa Sierra Antapite S.A.C.”, el autor concluyó que, el resultado de las mediciones del actual sistema de ventilación del caudal de ingreso de aire es de 67 051.83 CFM y como salida 66 742.97 CFM. De modo que, la diferencia entre ingreso y salida es de 118 CFM. Considerando que el requerimiento de aire por personal equipos

consumo de madera, fugas de aire y dilución de gases es de 172 111 CFM y la salida es de 66 934 CFM, nos permite mencionar que la cobertura del sistema es solamente del 39%; por lo tanto, fue necesario rediseñar el sistema de ventilación de la Unidad Minera Antapite.

Portilla & Velarde (2018), en su investigación titulada, “Propuesta técnica de Mejora del Sistema de Ventilación Principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015”. Se presentó un procedimiento estructurado para el mejoramiento del sistema de ventilación principal de la mina basado en dos alternativas: primero la construcción de dos ductos “raise borer” principales con gran diámetro de RB-641 y 3,3m de longitud para asegurar la demanda de aire en la profundización de la veta principal y alcanzar el requerimiento de caudal de ingreso de aire, de acuerdo al D.S. 024-2016-EM., esta propuesta es a largo plazo; segundo uso de variadores de frecuencia de voltaje en los ventiladores principales de extracción, que tienen una capacidad de extracción de 300 000 CFM. Estas dos optimizaciones reducen costos operativos en más del 60, dando un margen de ahorro de más de 200 000 US\$ anuales y reduciendo en un 30% los agentes químicos en el aire.

Abad (2023), en su tesis titulada: “Evaluación del sistema de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM, en una mina de Huarochirí, Lima 2022”. Concluye que, la mina cumple con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM. Se estima el requerimiento teórico de aire fresco y el balance de flujo a partir del número de empleados y el número de equipos diésel utilizados en la operación, y se encuentra que la zona alta tiene una cobertura de 112.04 %, y en la región inferior con 103.92% de cobertura, obteniendo como resultados de que la cobertura de aire en ambas labores es superior al 100%.

2.1.3. Antecedentes Locales

García (2016), en su tesis titulada. “Evaluación de la situación actual del Sistema de Ventilación y Propuesta para su Optimización en Mina subterránea Carbonífera Mi Grimaldina I – Cajamarca-2016”. Se concluyó que de acuerdo a los resultados obtenidos el caudal promedio requerido por la producción es 5.63 m³/min y no se necesita ventilación artificial, solo se debe mejorar la ventilación natural realizando aperturas de cámaras para que la ventilación tenga una mejor circulación de aire. De acuerdo a la topografía de las labores subterráneas se tiene que los pilares son de 10m por 10m con un acceso promedio de 1.75 metros y la pendiente es menor 5%.

Raico (2019), realizó “Evaluación y Optimización del Sistema de Ventilación del Túnel de Exploración Chaquicocha Nivel 3750 - Minera Yanacocha, 2018”, aplicando el software Ventsim concluye que, el sistema de ventilación inicial tiene una cobertura de caudal de aire del 90%, por tal motivo no cumple con los requerimientos en cuanto a cantidad de aire en todas las labores y que el nuevo sistema de ventilación implementado es del tipo aspirante con apoyo impelente, el cual según la evaluación tiene una cobertura del 129%, es decir que el caudal de aire suministrado por el sistema cumple con los requerimientos.

Escobar & Rodas (2020), en su proyecto de Investigación titulada: “Evaluación del Sistema de Ventilación en la Minera Artesanal Subterránea de Algamarca, Cajabamba”, concluyen que, La Unidad Minera cuenta con un sistema de ventilación impelente en situaciones no óptimas, este resultado se obtuvo mediante una encuesta a los trabajadores sobre: cuentan con sistema de ventilación el 100% respondió que sí; las condiciones de la Unidad Minera el 10% respondieron que está en malas condiciones, un 33% respondió que esta de manera regular y un 56.67% respondió que se encuentra en óptimas condiciones; conocimiento del sistema de ventilación un 90% respondió que si tiene conocimiento; conocen los tipos de ventilación un 70% si conoce y un 30% desconoce; conocimiento de los gases un 76.67% si tienen conocimiento y un 23.3% desconoce el mineral que se extrae de la mina; supervisor en el área de ventilación un 86.67% dice que si cuentan con un profesional capacitado en el área de ventilación y un 13.33% afirma que no. Finalmente se tiene que las operaciones en el área de ventilación se encuentran en condiciones no favorables, debido a que los equipos utilizados son máquinas de segundo uso.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Ventilación en Minería Subterránea

La ventilación de minas es el proceso de acondicionar y distribuir el aire en la mina para mantener condiciones saludables y seguras de operación, las cuales se logran cuando la calidad y cantidad de aire en todos los recintos está bajo control de acuerdo al diseño. Debe cumplir con las exigencias que impone la normativa legal vigente (DS 132.) y la normativa de la compañía. (Valenzuela, 2017)

Sin un adecuado sistema de ventilación, los trabajadores estarían expuestos a concentraciones peligrosas de gases y otros contaminantes que pueden causar enfermedades pulmonares crónicas o incluso ser fatales. La regulación de los niveles de oxígeno es también crucial, ya que el oxígeno debe mantenerse en niveles adecuados para permitir la respiración segura. (De Souza, 2014)

2.2.2. Ventilación Natural

Este aire se introduce por la bocamina principal de ingreso, recorriendo el flujo del aire por la totalidad del circuito de ventilación, hasta la salida del aire por la bocamina de salida.

Para que funcione la ventilación natural tiene que existir una diferencia de alturas entre las bocaminas de entrada y salida, siendo lo más importante es el intercambio termodinámico que se produce entre la superficie y el interior. La energía térmica agregada al sistema se transforma a energía de presión, susceptible de producir un flujo de aire (el aire caliente desplaza al aire frío produciendo circulación). (SERNAGEOMIN, 2008)

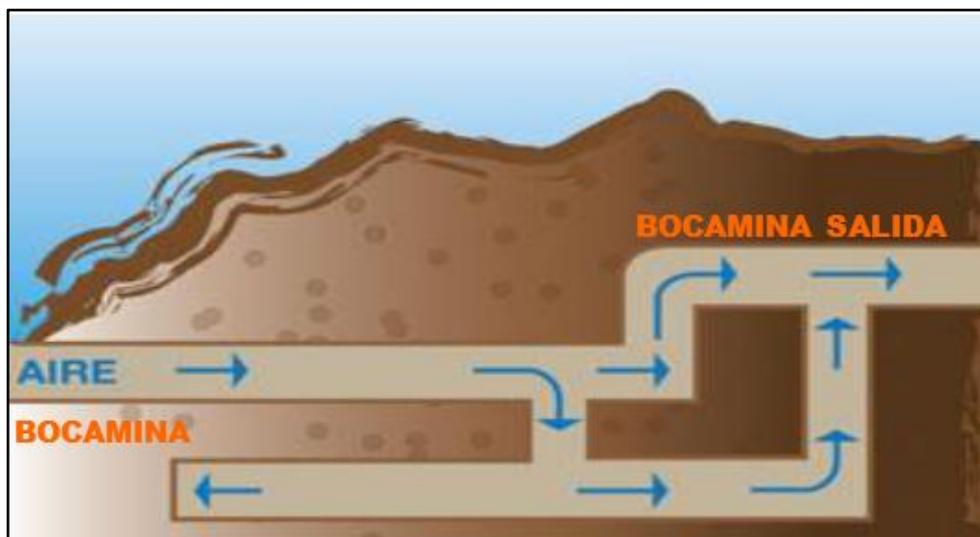


Figura 1. Esquema de ventilación natural.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2008.

2.2.3. Ventilación Auxiliar

Es la presión de ventilación que se establece como resultado de un efecto mecánico, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que les proporciona el sistema de ventilación general. (SERNAGEOMIN, 2008)

2.2.3.1. Tipos de Sistemas de Ventilación Auxiliar

➤ Sistema Impelente

Llamado también soplante, el aire es impulsado por la presión ejercida de un ventilador hacia los frentes de trabajo y desplaza el aire viciado hacia la corriente principal de aire arrastrando todos los gases y polvo. El ventilador auxiliar es ubicado a fuera de la labor, donde el aire no está contaminado. (Zitrón, 2010)

▪ Características de La Ventilación Impelente

Barrido del frente: La distribución de las líneas de flujo permite que el aire fresco sea efectivo a distancias mayores desde la salida del conducto en comparación con el sistema aspirante.

Ambiente de trabajo y polvo: La velocidad de la corriente de aire incidente genera un efecto refrigerador en el frente. Sin embargo, esta misma velocidad provoca que el polvo se suspenda y se disperse, lo que, en ambientes con alta concentración de polvo, requiere la instalación de un ventilador aspirante para remover el polvo del frente.

Circulación del gas: En caso de trabajar en frentes de grisú, el metano liberado en el frente es transportado a lo largo de toda la galería, aumentando la probabilidad de riesgo de encontrar fuentes de ignición.

Conductos de ventilación: El sistema facilita el uso de conductos flexibles sin esfuerzo, caracterizados por una superficie interior lisa. Estos conductos resultan más económicos, fáciles de manejar y presentan una resistencia reducida al flujo de aire.

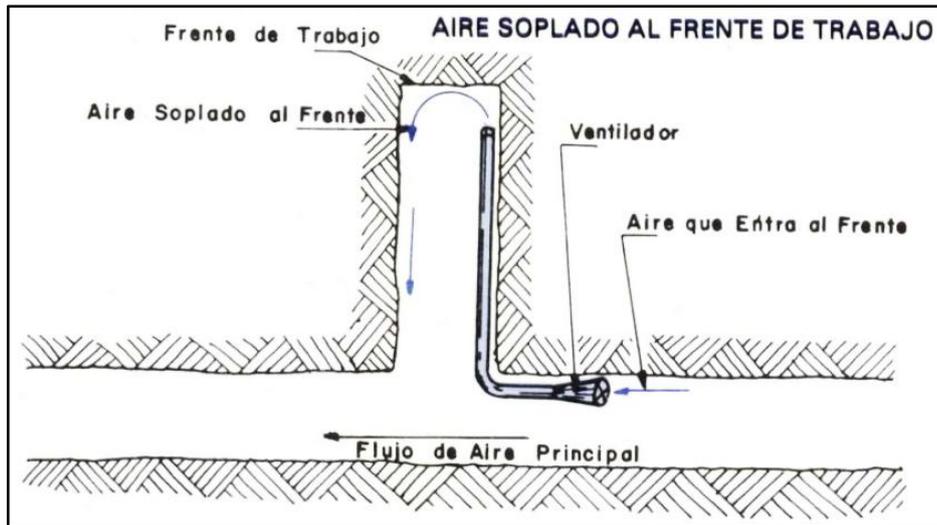


Figura 2. Sistema de ventilación impelente en el frente de trabajo.

Fuente: Centro Nacional Minero, 1987.

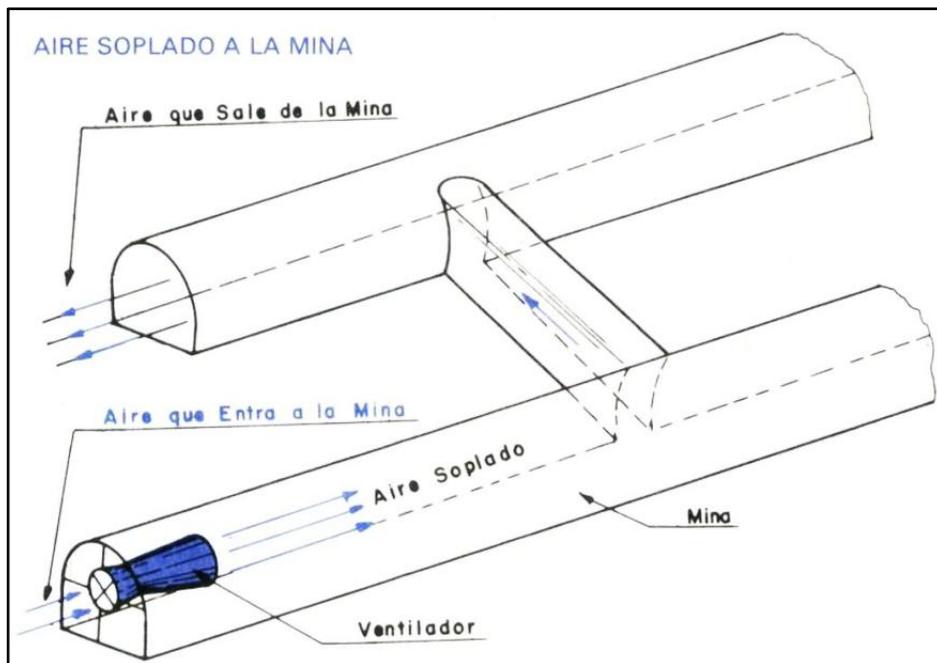


Figura 3. Sistema de ventilación impelente a la mina.

Fuente: Centro Nacional Minero, 1987.

➤ Sistema Aspirante

El aire contaminado del frente es succionado a través del conducto debido a la depresión generada por un ventilador situado en el extremo opuesto. Este aire se expulsa hacia la corriente principal de ventilación, mientras que el aire limpio ingresa al frente desde la galería. (Zitrón, 2010)

▪ Características de La Ventilación Aspirante

Barrido del frente: El aire fresco ingresa por la galería, cuya sección es significativamente mayor que la del conducto, lo que reduce su velocidad y turbulencia, resultando en una mezcla menos eficiente con el gas emitido por la galería y el frente.

Ambiente de trabajo y polvo: La corriente de aire incidente tiene una velocidad reducida, lo que disminuye el efecto refrigerador en el frente. Asimismo, la suspensión y dispersión del polvo se reduce. Este ventilador también se encarga de extraer el polvo del frente.

Circulación de gas: El gas producido en el frente se desplaza a través de la tubería, mientras que el aire limpio fluye por la galería. Este argumento, podría parecer una razón para favorecer el uso de ventilación aspirante en frentes con alta presencia de grisú, sin embargo, el gas debe pasar por la tubería de ventilación y los ventiladores secundarios que también son posibles fuentes de ignición.

Conductos de ventilación: El sistema demanda el uso de un conducto rígido, fabricado en materiales como acero o un conducto flexible con refuerzo en espiral. En casos donde se necesita un gran caudal de aire, su implementación puede presentar complicaciones técnicas, ya que requieren presiones muy altas que conducen a la utilización de múltiples ventiladores en serie.

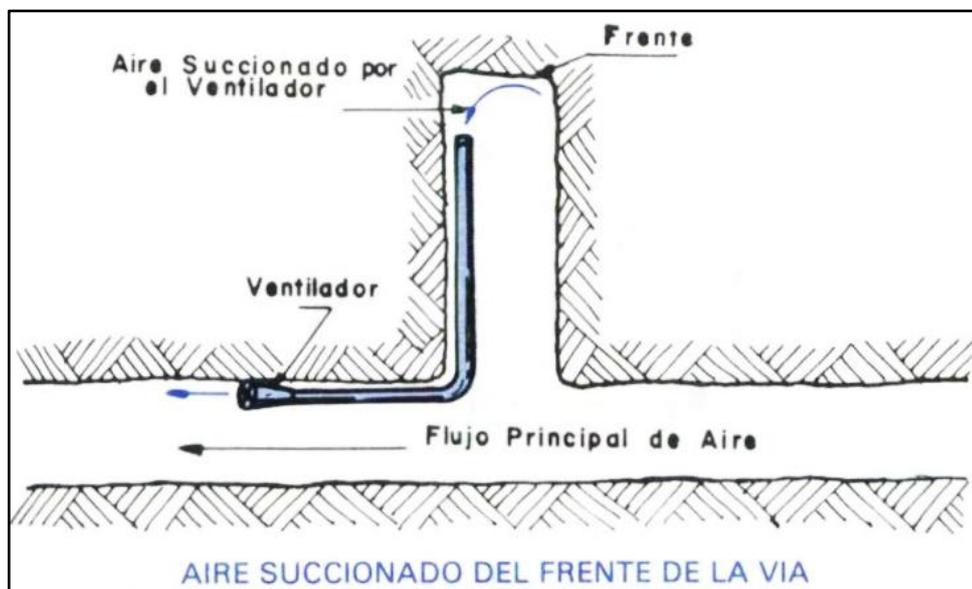


Figura 4. Sistema de ventilación aspirante en el frente de trabajo.

Fuente: Centro Nacional Minero, 1987.

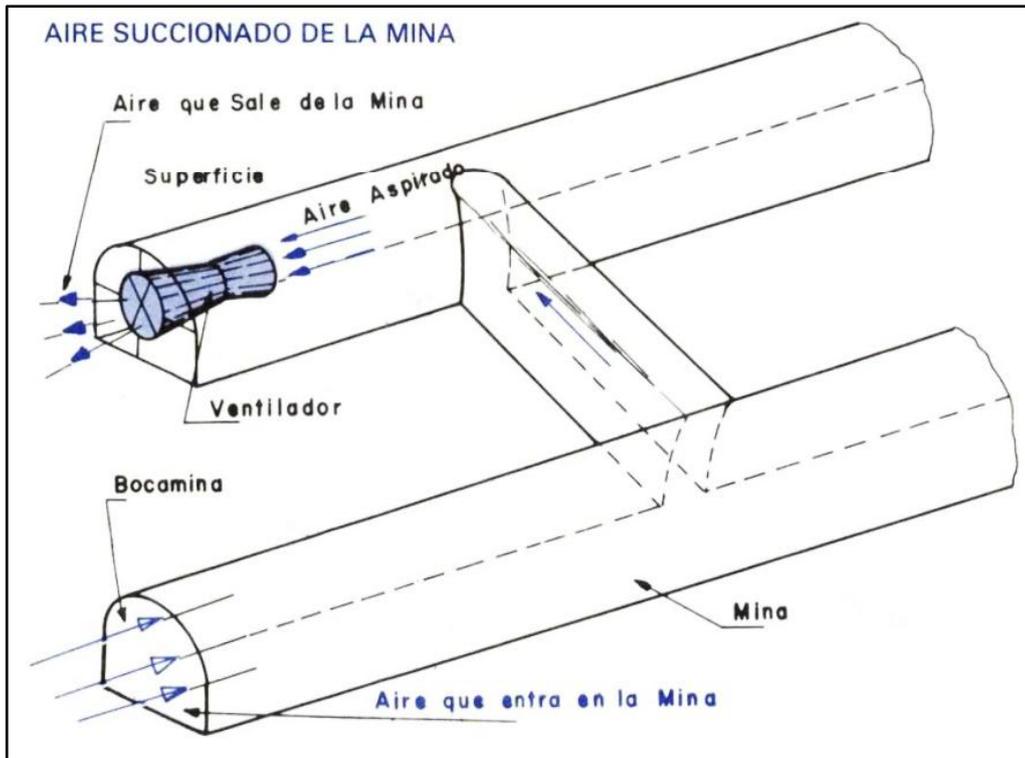


Figura 5. Sistema de ventilación aspirante en la mina.

Fuente: Centro Nacional Minero, 1987.

➤ Sistema Combinado

Este sistema de ventilación auxiliar es la combinación de impelente con apoyo aspirante, la función del ventilador aspirante es limpiar o arrastrar los humos que se generan en el frente y el ventilador impelente impulsa el aire con mayor velocidad hacia el frente de trabajo, evitando la formación de zonas muertas sin la ventilación adecuada. (Zitrón, 2010)

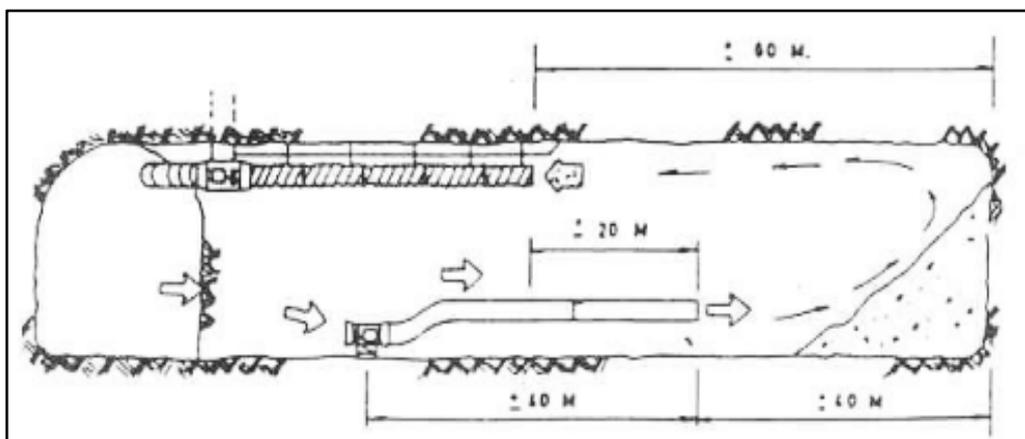


Figura 6. Sistema de ventilación combinado.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2008.

2.2.4. Caudal de Aire

El caudal de aire es fundamental para asegurar una adecuada dilución de gases peligrosos y mantener niveles seguros de oxígeno en el entorno minero, lo cual está directamente relacionado con las condiciones de seguridad de los trabajadores (McPherson, 1993).

En minería subterránea el caudal de aire está basada en la relación entre la velocidad del aire y el área de la sección transversal del conducto o galería por donde circula el aire. La fórmula general es:

$$Q = V \times A$$

Donde:

Q: Caudal del aire (m³/s)

V: Velocidad del aire (m/s)

A: Área de la sección transversal (m²)

2.2.5. Requerimiento de Aire en Labores Subterráneas

De acuerdo al Decreto Supremo N.º 024-2016-EM, el requerimiento de aire en minería subterránea se regula para garantizar condiciones seguras y saludables para los trabajadores y para diluir contaminantes. Para obtener el aire requerido se realizará los cálculos considerando el ANEXO 38 del Decreto Supremo N.º 023-EM-2017.

La cantidad de aire necesaria dentro de una mina debe ser suficiente para garantizar una temperatura confortable para los trabajadores y permitir el funcionamiento de los equipos que operan con motores a gasolina o diésel. Cuando en la operación no se usen equipos con motor petrolero debe considerarse el aire requerido para diluir los gases generados por las voladuras. (Art. 252. del DS. 024 - 2016 – EM)

2.2.6. Requerimiento de Aire Total

Cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero, debe calcularse el caudal total para la operación conforme la fórmula que se detalla a continuación y luego compararla con el caudal por el consumo de explosivos. Luego de obtener cada uno de los valores se determina como requerimiento de aire total el de mayor valor.

La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo al literal “d” del artículo 252 del reglamento, considerando la fórmula siguiente: (D.S. 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2017).

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

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación

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

- a) El número de trabajadores Q_{Tr}
- b) El consumo de madera Q_{Ma}
- c) Temperatura en labores de trabajo Q_{Te}

Q_{Fu} = 15% del Q_{T1}

2.2.6.1. Caudal Requerido por el Número de Trabajadores (Q_{Tr})

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para “n” trabajadores (m³/min)

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el **artículo 247** del reglamento

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

▪ **Artículo 247 del Decreto Supremo N.º 024-2016-EM**

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1 500) m.s.n.m., la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto (3m³/min). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- A una altitud de 1 500 a 3 000 m.s.n.m. aumentará en 40% que equivale a 4 m³/min.
- A una altitud de 3 000 a 4 000 m.s.n.m. aumentará en 70% que equivale a 5 m³/min.
- A una altitud sobre los 4 000 m.s.n.m. aumentará en 100% que equivale a 6 m³/min.

2.2.6.2. Caudal requerido por el Consumo de Madera (Q_{Ma})

$$Q_{Ma} = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min)

u = Factor de producción, de acuerdo a escala establecida en el **segundo párrafo del literal “d” del artículo 252** del reglamento.

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

▪ **Artículo 252 del Decreto Supremo N.º 024-2016-EM**

d) - La madera utilizada dentro de la mina para tareas de sostenimiento, entre otros usos, libera gases como CO₂ y CH₄. Este aspecto es relevante en la estimación de la cantidad de aire necesaria dentro de la mina y se calcula en función de la producción. Para ello, se debe tener en cuenta la siguiente escala:

- Cuando el consumo de madera representa entre el 20 % hasta el 40 % de la producción total, se requiere un factor de producción de 0.60 m³/min.
- Cuando el consumo de madera representa entre el 41 % hasta el 70 % de la producción total, se requiere un factor de producción de 1.00 m³/min.
- Cuando el consumo de madera es mayor al 70 % de la producción total, se requiere un factor de producción de 1.25 m³/min.

Tabla 1. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.

CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m³/min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 71	1.25

Fuente: DS. 023 - 2017 – EM.

2.2.6.3. Caudal Requerido por Temperatura en Labores de Trabajo (Q_{Te})

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min)

V_m = Velocidad mínima.

A = Área de la labor promedio.

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo a escala establecida en el **tercer párrafo del literal d) del artículo 252** del reglamento.

▪ **Artículo 252 del Decreto Supremo N.º 024-2016-EM**

d) - Para asegurar una temperatura confortable en el área de trabajo, en el cálculo del aire necesario se debe considerar una velocidad mínima de 30 m/min cuando la temperatura esté entre 24°C y un máximo de 29°C.

Tabla 2. Velocidad mínima del requerimiento de aire.

VELOCIDAD MÍNIMA	
Temperatura Seca (°C)	Velocidad Mínima (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

Fuente: DS. 023 - 2017 – EM.

2.2.6.4. Caudal Requerido por Fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15 \% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma}$$

2.2.6.5. Caudal Requerido por Consumo de Explosivos (Q_{Ex})

Si en la operación NO se utiliza equipo con motor petrolero, se debe calcular la necesidad de aire requerido por consumo de explosivos, de acuerdo a la siguiente formula.

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Ex} = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m³/min)

A = Área promedio de labores (m²)

V = Velocidad mínima requerida según norma en el Art. 248 (m/min)

N = Número de niveles en voladura.

▪ Artículo 248 del Decreto Supremo N.º 024-2016-EM

La velocidad del aire en las labores de explotación, incluyendo el desarrollo y la preparación, no debe ser inferior a 20 m/min ni exceder los 250 m/min en ningún caso. Cuando se utilicen explosivos como ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto (25 m/min).

2.2.7. Balance de Aire

Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el diez por ciento (10 %) (Artículo 252 – c, DS. 023 - 2017 – EM).

2.2.8. Cobertura de Aire

La cobertura de aire en una mina subterránea es la cantidad de aire fresco disponible que circula en la mina y se puede calcular como el porcentaje de la relación entre el caudal de aire disponible ($Q_{disponible}$) y el caudal de aire requerido ($Q_{requerido}$). (Osinergmin, Boletín Informativo de la Gerencia de Supervisión Minera, 2020)

$$Cobertura\ de\ Aire\ (\%) = \left(\frac{Q_{disponible}}{Q_{requerido}} \right) \times 100\%$$

- **$Q_{disponible}$:** Es el caudal total de aire fresco que ingresa y realmente circula en la mina (medido en m^3/min o cualquier otra unidad que utilices).
- **$Q_{requerido}$:** Es el caudal de aire necesario o requerido para mantener las condiciones seguras en la mina, según el número de trabajadores, maquinaria y condiciones de operación (determinada en m^3/min).

2.2.8.1. Interpretación según el Porcentaje de Cobertura de Aire

- **Cobertura del 100%:** Significa que el caudal de aire disponible es exactamente igual al caudal requerido.
- **Cobertura Superior al 100%:** Hay más aire disponible del necesario, lo cual es generalmente positivo, ya que provee un margen de seguridad.
- **Cobertura Inferior al 100%:** El caudal de aire es insuficiente, lo que implica un riesgo para la seguridad, y se debe corregir.

2.2.9. Mangas de Ventilación

Una manga de ventilación es un ducto diseñado para la extracción de aire, gas y polvo en las distintas actividades propias de la minería. También se utiliza para ingresar aire a presión dentro de la mina. Se destaca por ser ligero y altamente resistente, lo cual se debe a su estructura reforzada con aros metálicos o sintéticos a lo largo de la manga. Esto lo convierte en un sistema eficiente, liviano y resistente para implementar un sistema de ventilación apropiado. (Gutiérrez, 2021)

2.2.9.1. Accesorios de Mangas

Los accesorios de las mangas son esenciales para garantizar un sistema de ventilación eficiente y seguro en la minería subterránea. Los accesorios más comunes son:

- Curvas forzadas (Ver figura 7).
- Accesorios que imponen cambios bruscos (Ver figura 8).
- Empalmes entre tramos (Ver figura 9).

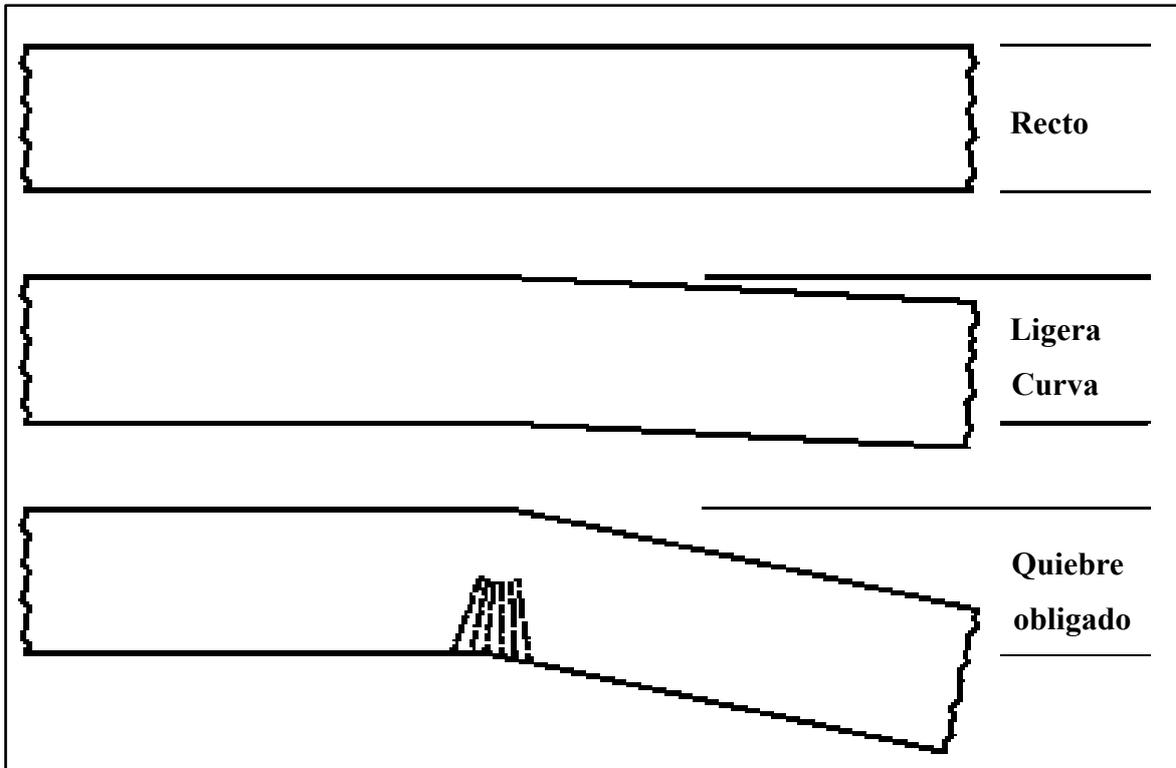


Figura 7. Curvas forzadas.

Fuente: CIDELSA - Mangas de ventilación.

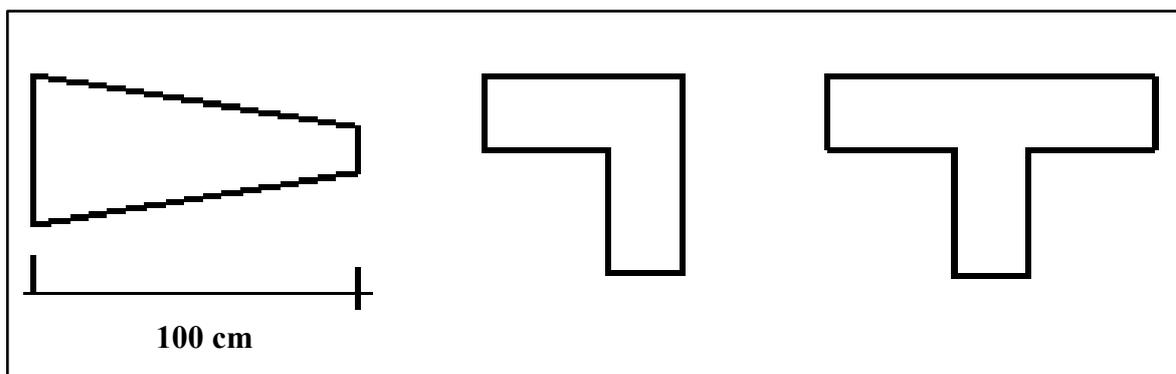


Figura 8. Accesorios que imponen cambios bruscos.

Fuente: CIDELSA - Mangas de ventilación.

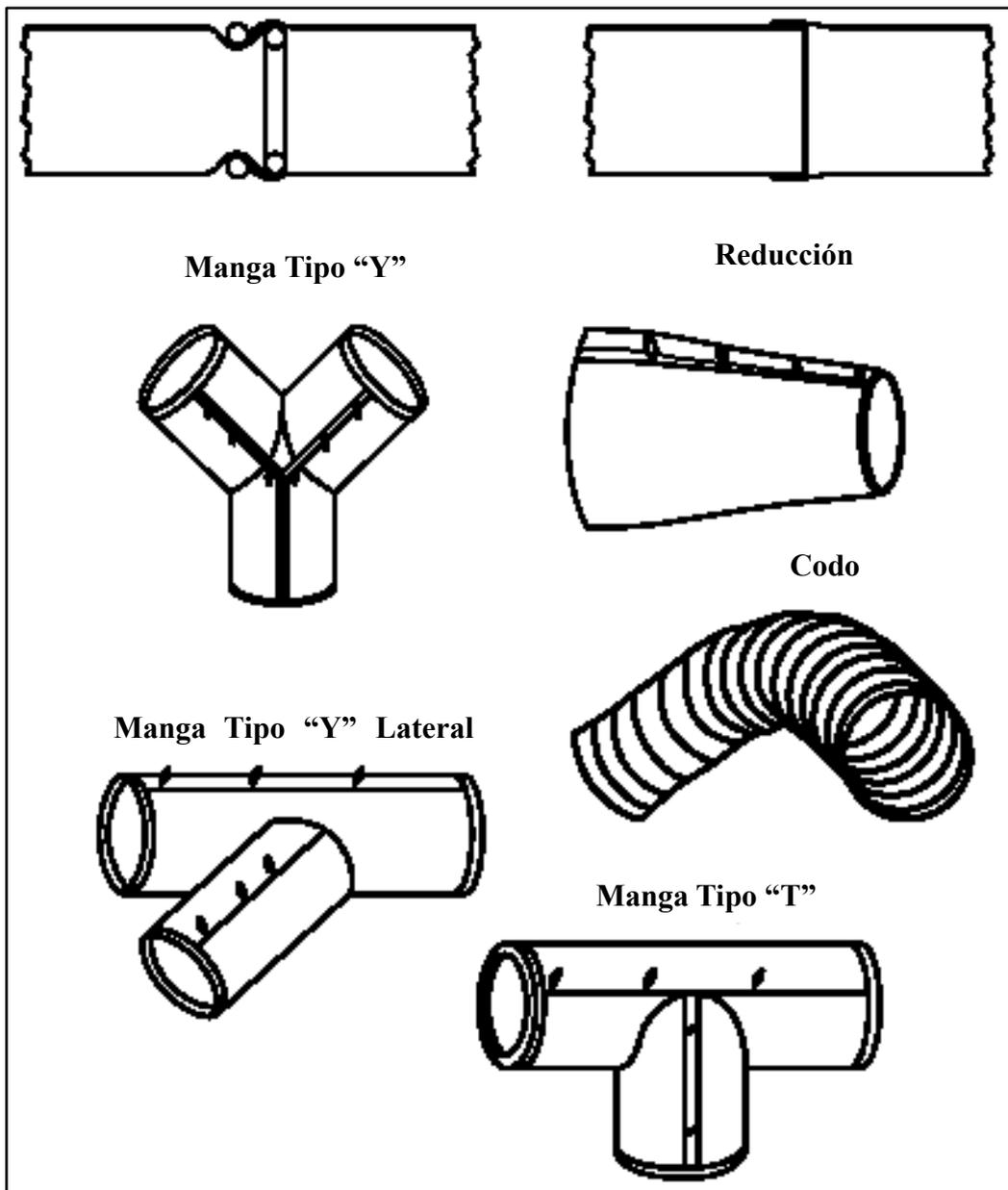


Figura 9. Empalmes entre tramos.

Fuente: CIDELSA - Mangas de ventilación.

2.2.10. Cámaras de Salvataje

Según (Potvin, 2009) las cámaras de salvataje en minería subterránea son estructuras especialmente diseñadas para proporcionar un refugio seguro a los mineros en caso de emergencia, como incendios, explosiones o acumulación de gases peligrosos. Estas cámaras están equipadas con suministro de aire, agua, alimentos y sistemas de comunicación, permitiendo a los trabajadores sobrevivir mientras esperan ser rescatados. Su implementación es fundamental para mejorar la seguridad en entornos subterráneos de alto riesgo.

2.2.10.1. Características de Las Cámaras de Salvataje

Estructura y Diseño: Las cámaras de salvataje deben ubicarse en zonas donde las características geomecánicas del macizo rocoso garanticen la estabilidad física de la excavación, de preferencia que el macizo rocoso tenga autosostenimiento. Estas cámaras deben ser construidas con materiales resistentes, diseñadas para soportar explosiones y la exposición a altas temperaturas; son selladas herméticamente para evitar la entrada de gases peligrosos desde el exterior.

Suministro de Aire: Están equipadas con sistemas de suministro de aire autónomos o sistemas de purificación de aire que permiten filtrar los gases tóxicos. El aire puede ser suministrado desde tanques de oxígeno comprimido o a través de sistemas de regeneración de aire.

Capacidad y Duración: Las cámaras están diseñadas para albergar un cierto número de personas y deben contar con suministros esenciales como: agua, alimentos y primeros auxilios, que garanticen la supervivencia por un período de tiempo prolongado, generalmente entre 24 a 96 horas, dependiendo del diseño y las normas locales de seguridad.

Sistemas de Comunicación: Las cámaras deben estar equipadas con sistemas de comunicación que permiten a los mineros atrapados contactar con los equipos de rescate en la superficie, facilitando las labores de socorro y coordinando las operaciones de evacuación.

Protección Contra Condiciones Extremas: Las cámaras también deben ser capaces de proteger a los mineros de condiciones de alta temperatura y fuego, que son riesgos comunes tras incendios o explosiones en minas subterráneas.

2.2.10.2. Tipos de Cámaras de Salvataje

Existen dos tipos principales de cámaras de salvataje en las minas subterráneas:

Cámaras Fijas: Estas se ubican en puntos estratégicos de la mina y permanecen en un lugar fijo. Generalmente se instalan cerca de las áreas de trabajo principales y están diseñadas para proteger a un número considerable de personas.

Cámaras Móviles: Son cámaras portátiles que pueden trasladarse a lo largo de la mina según sea necesario. Son más flexibles y se puede colocar cerca de las operaciones de avance en minas de gran desarrollo.

2.2.10.3. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso

Conocer las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en las excavaciones subterráneas es de vital importancia, ya que nos permiten identificar áreas donde la estabilidad física del macizo rocoso muestra factores de seguridad aptos para la ubicación de equipos y estructuras como cámaras de salvataje y áreas de refugio. A continuación, se describe las propiedades físicas del macizo rocoso para su evaluación geomecánica utilizando la metodología Rock Mass Rating propuesta por Bieniawski 1989 (RMR₈₉).

➤ Índice de Calidad de Roca (RQD)

El índice de calidad de roca conocido como RQD, fue propuesto por Deere (1964) y asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (más competente) a 0% (menos competente), este sistema se basa en medir la frecuencia del número de fracturas naturales presentes en el macizo rocoso, en la dirección que mide. Si la frecuencia de fracturas aumenta, la valoración del RQD disminuye. (Osinergmin, 2017)

Tabla 3. Interpretación de valores de RQD.

Valor del RQD	Descripción del índice de calidad de roca
0 – 25%	Muy pobre
25 – 50%	Pobre
50 – 75%	Regular
75 – 90%	Buena
90 – 100%	Excelente

Fuente: Deere, 1967.

➤ Sistema RMR₈₉

El sistema Rock Mass Rating (RMR) desarrollado por Bieniawski en 1976, fue modificada hasta 1989 por el mismo autor y se utiliza para determinar la calidad del macizo rocoso. La clasificación RMR₈₉ se basa en varios parámetros geomecánicos del macizo rocoso y son los siguientes:

- Resistencia de la roca intacta.
- Parámetro RQD: grado de fracturamiento del macizo rocoso.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto al corte o talud.

Según (González, 2004) para aplicar la clasificación RMR₈₉ se divide el macizo rocoso en tramos que representen características geológicas uniformes de acuerdo a las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo las medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. Para calcular el índice de RMR₈₉ correspondientes a cada una de las zonas se sigue un procedimiento (Ver tabla 5), teniendo la puntuación de los parámetros se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso y se expresara de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Calidad de macizo rocoso en relación con el Índice RMR.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (kg/cm²)	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 -81	> 4	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4	35° - 45°
III	Media	60 – 41	2 - 3	25° - 35°
IV	Mala	40 – 21	1 -2	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1	< 15°

Fuente: González (2004).

Tabla 5. Tabla de valorización para el Índice RMR₈₉.

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple		
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	< 0.06m		
	Puntuación		20	151	0	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3m	3-10m	10-20m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Apertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 litros/m in	10 - 25 litros/min	25 -125 litros/m in	> 125 litros/min		
		Relación: presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
RESULTADO DE RMR									

Fuente: González (2004).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Área: Es la sección transversal de una galería o túnel a través de la cual fluye el aire. El área de la sección es crucial para calcular el caudal de aire que puede ser transportado a través de la mina. Cuanto mayor sea el área, mayor será la cantidad de aire que puede circular, siempre que la velocidad del flujo de aire se mantenga constante. (McPherson, 1993)

Caudal de Aire: El caudal de aire es la cantidad de aire que circula a través de las galerías subterráneas en un periodo de tiempo determinado, medido generalmente en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Un caudal es adecuado para mantener la calidad del aire en la mina y reducir los riesgos asociados a la exposición de contaminantes. (De Souza, 2014)

Chimenea: Pocillo de conexión entre dos galerías, para ventilación, paso de mineral o personal (Herrera, 2019).

Cubierta de Aire: La cubierta de aire es el porcentaje de aire fresco que circula por la mina en relación con el caudal total requerido, lo cual es un indicador de cuán efectiva es la distribución del aire dentro de la red de ventilación. (Belle, 2013)

Detector de Gases: Son instrumentos de detección de gases, están diseñados para detectar y controlar la presencia de concentraciones de gases inflamables, tóxicos o deficiencia de oxígeno dentro de la mina, los cuales podrían provocar un incendio, explosión y una atmósfera tóxica durante la faena. (HCA Minería, 2023)

Dilución: La dilución es el proceso mediante el cual el aire fresco reduce las concentraciones de contaminantes en el aire viciado, permitiendo mantener niveles seguros para los trabajadores y mejorar la seguridad de la operación minera (McPherson, 1993).

Gases Nocivos: Los gases nocivos presentes en minas subterráneas, como el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH_4), representan un peligro significativo si no son controlados. Estos gases pueden acumularse y causar explosiones o intoxicaciones si no se cuenta con un sistema de ventilación adecuado. (McPherson, 1993)

Pique: Son labores pequeña sección dirigido hacia abajo y sobre la veta partiendo de un nivel. Son de poca profundidad y sirven para ver la continuidad del depósito del mineral en sentido vertical, también sirven para subir o bajar al personal, material, equipos y el mineral. (De la Cruz, 2000)

Seguridad: La seguridad en minería subterránea abarca un conjunto de medidas, normativas y procedimientos diseñados para proteger a los trabajadores de los riesgos inherentes a las operaciones mineras (Joy, 2004).

Socavón: Galería de acceso desde el exterior horizontal con pendiente de drenaje (Herrera, 2019).

Subnivel: Galería desde la que se ejecutan labores de arranque y / o carga a una cota determinada (Herrera, 2019).

Velocidad: La velocidad del aire en un sistema de ventilación se refiere a la rapidez con la que el aire se desplaza a través de las galerías y conductos de una mina. Esta velocidad, medida compuesta en metros por segundo (m/s), es un parámetro crítico en el diseño de sistemas de ventilación, ya que influye tanto en la distribución del aire como en las pérdidas de presión dentro del sistema. (De Souza, 2014)

Ventilación Forzada: La ventilación forzada implica el uso de ventiladores mecánicos para empujar el aire fresco hacia las galerías subterráneas y remover el aire viciado, lo que es esencial en minas de mayor profundidad y complejidad (Belle, 2013).

Ventilación Minera: Conjunto de trabajos que se ejecuta en mina para suministrar aire que debe circular por las distintas labores subterráneas, ya sea por medios naturales o mecánicos, con el objetivo de obtener un ambiente seguro, saludable y cómodo para los trabajadores durante su jornada de trabajo. (Quispe, 2019)

Winche: Son cilindros metálicos donde se enrolla el cable. Podríamos hablar del enrollado activo que es el cable que verdaderamente trabaja y el enrollado de reserva para los cortes reglamentarios que dispone la ley de seguridad y para reducir el esfuerzo ejercido por el cable, a la unión con el tambor. (De la Cruz, 2000)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 se encuentra ubicada en el Centro Poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cacachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca. Geográficamente, de acuerdo con el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) DATUM WGS-84 está ubicado en la zona 17S, a 38 KM al Noroeste de la ciudad de Cajabamba. La bocamina Nv. 2880 se ubica en la coordenada E: 803566.68, N: 8158212.33 y la bocamina Nv. 3060 se ubica en la coordenada E: 803957.03, N: 9158588.92.

3.2. ACCESIBILIDAD

EL acceso a la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 desde la ciudad de Cajamarca es mediante la carretera Cajamarca – Cajabamba y luego de Cajabamba – Algamarca, a una distancia promedio de 160.5 km, con un tiempo aproximado de 4 horas de viaje.

Tabla 6. Accesibilidad a la zona de Investigación.

Destino	Distancia (Km)	Tiempo (hrs)	Tipo Vía
Cajamarca – Cajabamba	122	3.0	Asfaltada afirmada
Cajabamba – Algamarca	38.5	1.0	Trocha carrozable
Destino	Distancia (m)	Tiempo (min)	Tipo Vía
Algamarca – Bocamina Nv. 3060	538	10	Trocha carrozable
Bocamina Nv. 3060 - Bocamina Nv. 2880	600	15	Trocha carrozable

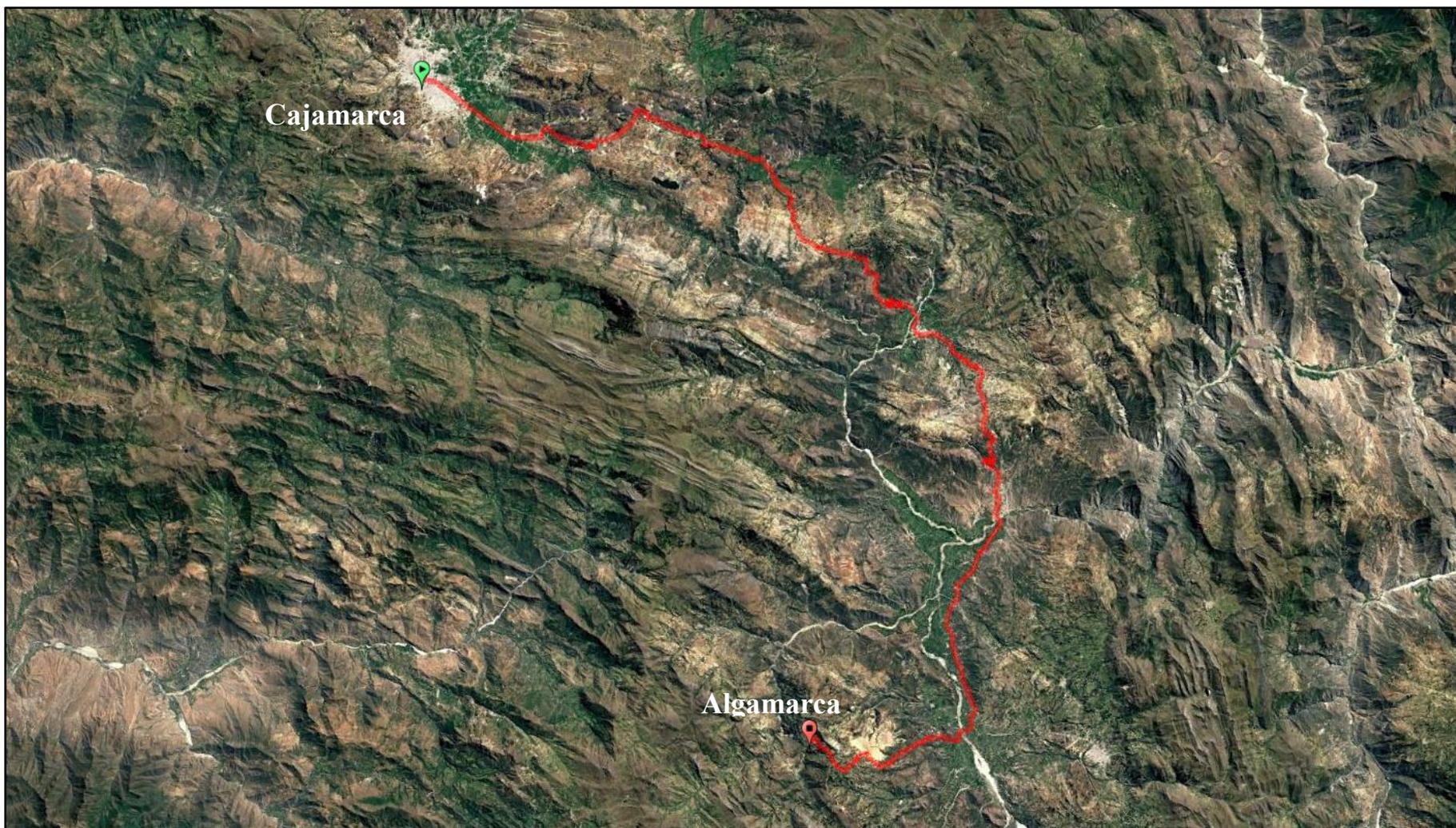


Figura 10. Ruta de acceso terrestre de Cajamarca a San Miguel de Algamarca.

Fuente: Google Earth Pro.

3.3. CLIMA

Para la zona de estudio, la temperatura a lo largo del año varía entre 14°C a 17°C, siendo poco común que desciendan por debajo de 1 °C o superen los 20 °C. Las temperaturas máximas medias mensuales suelen oscilar ente 19°C a 20°C y las temperaturas mínimas medias mensuales se presentarían entre 5°C a 7°C, siendo Julio el mes más frío y el mes más cálido setiembre. El clima en los veranos se caracteriza por ser frescos y nublados, mientras que los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Las precipitaciones mensuales presentan una distribución irregular, dividiéndose en dos períodos bien definidos, el primer periodo abarca de diciembre a marzo con un 60% de las precipitaciones anuales y el segundo período, caracterizado por lluvias escasas, se extiende de abril a noviembre, acumulando solo el 40%. (SENAMHI, 2023)

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Definición de variables

Las variables de la investigación se especifican en la tabla 7.

Tabla 7. Variables de la Investigación.

Variables	
Variable independiente	Variable dependiente
Cobertura de aire, cantidad de aire y calidad de aire.	Sistema de Ventilación

3.4.2. Metodología

Esta investigación según su tipo, su nivel, su diseño y su método se describe en la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación y tipo de investigación.

Clasificación	Tipos de investigación
Según su objetivo	Aplicativa: Porque se utilizaron conocimientos teóricos del DS-024-2016-EM y su modificatoria el DS-023-2017-EM - ANEXO 38, para calcular el caudal de aire actual y requerida en la mina.
Según su nivel	Descriptiva: La investigación observa, analiza y describe la situación actual del sistema de ventilación de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2, de acuerdo con lo establecido en el DS-024-2016-EM y su modificatoria el DS-023-2017-EM - ANEXO 38.
Según su naturaleza	Cuantitativa: La investigación es cuantitativo, porque se fundamenta en cálculos numéricos, como la medición del caudal de aire que ingresa y sale de la mina. Asimismo, se realizan cálculos de los requerimientos de caudal de aire, considerando el número de trabajadores, la temperatura en las áreas de trabajo, las fugas de aire y el consumo de explosivos.
Según su diseño	No experimental: la investigación es no experimental, debido a que no se manipulan las variables. Los datos se recolectaron directamente en campo, observando el sistema en su entorno natural y analizándolo en su contexto real, con el fin de determinar el porcentaje de cobertura de aire en cada zona.
Según el periodo	Transversal: La investigación estudió en un determinado tiempo el caudal de aire que actualmente ingresa y sale, así como el caudal de aire requerido para las zonas Norte, Centro y Sur de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2.

Fuente: Modificado de Arias, (2012).

3.4.3. Población de estudio

La Mina Nueva Esperanza - Nivel 2.

3.4.4. Muestra

El sistema de ventilación del Nv. 2880 y Nv. 3060.

3.4.5. Unidad de análisis

Labores de la zona Norte, Centro y Sur.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

3.5.1. Técnicas

Para el desarrollo de la investigación se aplicará la técnica observacional que consta de la verificación de sistema de ventilación de acuerdo al Reglamento de Seguridad, inspección del estado de los conductos de ventilación y el análisis documental de toda la información recopilada del proyecto. En los Nv. 2880 y Nv. 3060 se realizará mediciones de velocidad mediante una técnica experimental con el propósito de determinar los caudales de aire que ingresa y sale de la mina.

➤ Medición de Área

El cálculo de área de una labor minera depende de la geometría de la sección transversal de dicha labor. A continuación, tenemos algunas fórmulas geométricas para los diferentes tipos de secciones comunes que hay en una mina subterránea.

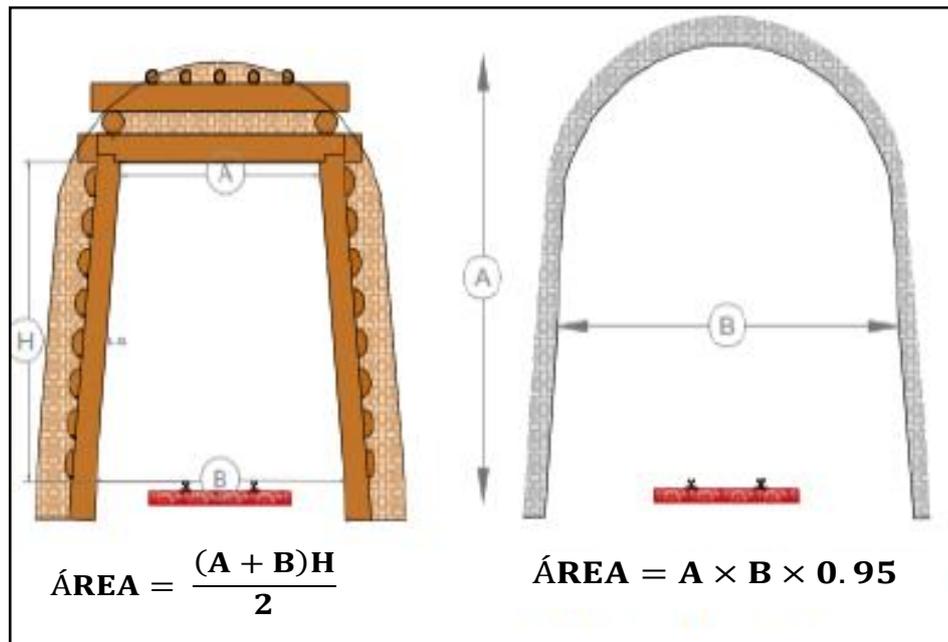


Figura 11. Cálculo de áreas.

Fuente: Avalos, 2021.

3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Ficha de cálculo de requerimiento de aire y formato de verificación para la ventilación de los Nv. 2880 y Nv. 3060 de acuerdo al DS-024-2016-EM y su modificatoria del DS- 023-2017-EM - ANEXO 38.

3.5.3. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en la ejecución de la presente investigación para recopilar datos son:

- **Wincha 5m:** utilizado para medir la distancia de los dos puntos en la técnica experimental.
- **Bengala de Humo:** utilizado para generar humo en la técnica experimental.
- **Libreta de Campo:** usado para apuntar datos en campo.
- **Cronómetro:** se utilizó para medir el tiempo que tarda en llegar el humo de un punto al otro punto en la técnica experimental.
- **Brújula Bruton:** se utilizó para medir el rumbo y buzamiento del macizo rocoso.
- **GPS:** utilizado para ubicar la zona de estudio mediante sus coordenadas.
- **Cámara Fotográfica:** se utilizó para tomar fotos a los conductos ventilación y ventiladores.
- **Laptop:** se utilizó para realizar la redacción de la tesis y procesar los datos de campo.
- **Lápiz Rayador:** se utilizó para estimar la dureza de los minerales.
- **Lupa Geológica:** se utilizó para observar las texturas y estructuras geológicas.
- **Martillo Geólogo:** utilizado para romper estructuras del macizo rocoso.

 <p>Wincha</p>	 <p>Cronómetro</p>	 <p>Bengala de Humo</p>
 <p>Cámara Fotográfica</p>	 <p>Brújula Brunton</p>	 <p>GPS</p>
 <p>Martillo Geólogo</p>	 <p>Lápiz Rayador</p>	 <p>Lupa Geológica</p>
 <p>Laptop</p>	 <p>Libreta de Campo</p>	

Figura 12. Instrumentos y equipos utilizado en la investigación.

3.5.4. Softwares

- Google Earth Pro.
- Microsoft Office 2019.
- Google EarthPro
- AutoCAD 2023.
- ArcGIS 10.5.
- Swedge.
- Dips.

3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. Etapa preliminar de gabinete

En esta etapa se hizo el plan de trabajo recopilando información en base a libros, análisis de documentos, revistas, artículos, proyectos de investigación, páginas de internet y de repositorios virtuales en diversas investigaciones locales, nacionales e internacionales, para tener una mejor información sobre el tema.

3.6.2. Etapa de campo

En esta etapa se visitó la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, para recopilar datos del caudal de aire de ingreso en el Nv. 2880 y el caudal de aire de salida en el Nivel 3060, con el fin de realizar el balance de aire. Se hizo la Evaluación del Sistema de Ventilación de acuerdo con el ANEXO 38 del DS-024-2016-EM del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería con su modificatoria según el DS-023-2017-EM; estos cálculos se realizaron para la zona Norte, Centro y Sur del Nv. 3060 de acuerdo al número de trabajadores, a la temperatura, consumo de explosivos y fugas de aire. Asimismo, se realizó la verificación de cumplimiento de todo el sistema de ventilación de acuerdo al título IV - capítulo I – subcapítulo VIII – Ventilación del DS-024-2016-EM y su modificatoria según el DS-023-2017-EM; por último, se observó e identificó áreas de mejora para proteger la salud, integridad y vida de los trabajadores.

3.6.3. Etapa de gabinete

En esta etapa final, se lleva a cabo el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en el campo con la finalidad de obtener la cobertura de caudal de aire necesario en la zona Norte, Centro y Sur; finalmente, se analiza dos propuestas de mejora para el Sistema de Ventilación y la estrategia de construir cámaras de salvataje en la zona Norte y Centro, haciendo el análisis geomecánico en ambas zonas y un análisis del factor de seguridad mediante el software Swedge para la Cámara de Salvataje 1.

3.7. GEOLOGÍA LOCAL

La Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 geológicamente se ubica dentro de formaciones rocosas sedimentarias clásticas pertenecientes al grupo Goyllarisquizga del cretáceo inferior; estas formaciones son: Formación Chimú compuesta por areniscas cuarzosas blanquecinas que a la vez son roca caja de la mineralización. La Formación Santa, sobreyace concordantemente a la Formación Chimú, está conformada por arcillolitas grises a negras en estratos de poco espesor y laminares, estratos de areniscas limosas de color gris oscuro, en el techo de la formación aparece calizas gris oscuras. La Formación Carhuaz sobreyace a la Formación Santa, ha sido identificada en el Nv. 2880, y está conformada por la intercalación de lutitas, limolitas y areniscas de color gris amarillento, moderadamente meteorizadas.

3.8. GENERALIDADES DEL PROYECTO

3.8.1. Galería de Exploración Nv.2880.

La galería de exploración Nv. 2880 tiene una longitud de 800 metros, las paredes de la entrada esta pintada de amarillo unos 5 metros, en este tramo se encuentra diversos taladros para las tuberías de servicios de drenaje de agua con dimensiones de 3m x 2' profundidad cada uno, no hay un número exacto de taladros por no ser un trabajo técnico, después de este tramo cementado presenta un sostenimiento de 150 metros cónicos de madera, debido a la baja calidad de la roca de la formación Santa y Carhuaz (Ver Foto 1).

3.8.2. Galería Principal Nv. 3060.

La galería principal Nv. 3060 tiene una longitud de 1500 metros hasta la zona Sur, las paredes de la entrada esta pintada de amarillo unos 5 metros, en este tramo se encuentra diversos taladros para las tuberías de servicios de drenaje de agua con dimensiones de 3m x 2' profundidad cada uno, no hay un número exacto de taladros por no ser un trabajo técnico, después de este tramo cementado presenta un sostenimiento de 130 metros de cimbras, debido a la baja calidad de la roca de la formación Santa. En la entrada de este crucero se encuentra el ingreso de tuberías para los servicios de luz y aire comprimido para la perforación (Ver Foto 2).



Foto 1. Vista de la Bocamina Nv. 2880 por donde ingresa el aire limpio a las labores de trabajo, tiene una longitud de 800 metros y cuenta con rieles al costado para el tránsito de las vagonetas.



Foto 2. Vista de la Bocamina Nv. 3060. por donde sale el aire viciado de las labores de trabajo, tiene una longitud de 1500 metros hasta la zona Sur y cuenta con rieles al centro para el tránsito de las vagonetas.

3.8.3. Labores de la Mina

3.8.3.1. Pique

Los piques son labores verticales, tienen una dimensión de 1 x 2 metros y se utilizan para exploración, preparación y operación mina principalmente para el wincheo. Para mayor seguridad estos piques son cerrados por tapas de madera.



Foto 3. Pique de Izaje de minerales polimetálicos Cu y Au, mediante unas chanchas de jebe con cable acerado, polea y winche de Izaje

3.8.3.2. Chimenea

Las chimeneas son labores verticales, tiene una dimensión de 1 x 1.5 metros y se utilizan para exploración, preparación y operación mina. Estas chimeneas funcionan puntualmente como tolvas, caminos y servicios de mangas de ventilación, agua y aire comprimido en tuberías para la perforación.



Foto 4. Chimenea de tolva y echadero por donde baja el mineral de las galerías y cruceros principales a las vagonetas U35.



Foto 5. Chimenea de acceso para el transporte de personal y servicios de agua, aire, energía y ventilación. Se conecta entre varios niveles.

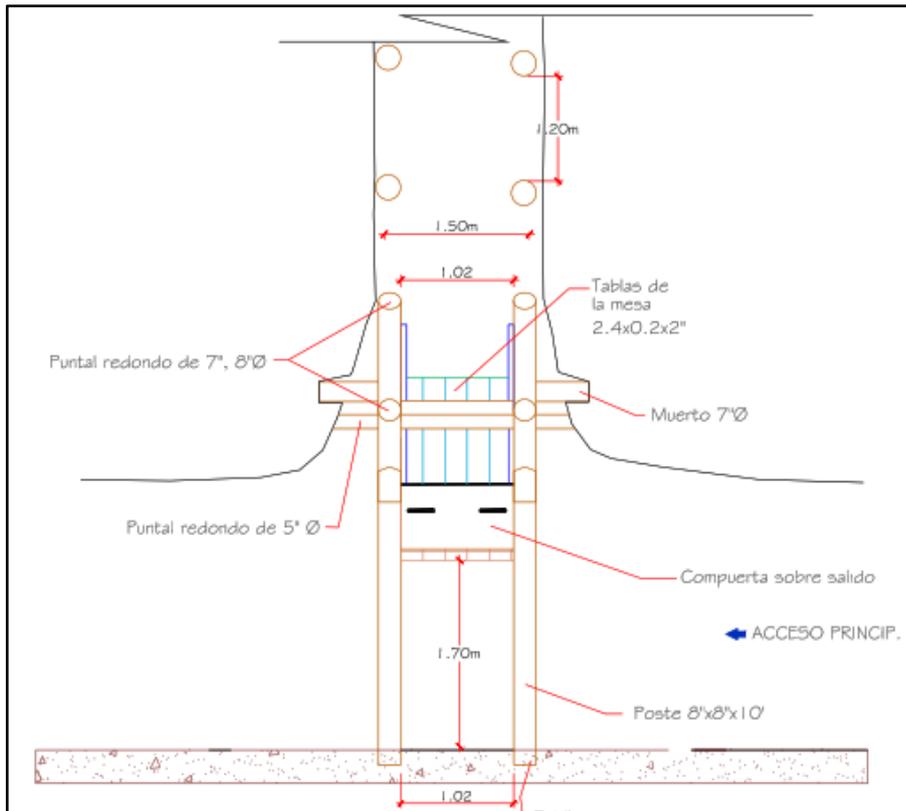


Figura 13. Estándar de especificación para chimeneas.

Fuente: Mina Nueva Esperanza Nivel 2, 2025.

3.8.3.3. Labores Abandonadas

Hay labores abandonadas porque ya han sido explotadas y también porque estas labores han sido exploradas, pero no se ha tenido éxito en la exploración. Estas labores abandonadas son cerradas por una manta blanca para restringir el acceso de los trabajadores y evitar accidentes e incidentes.



Foto 6. Labores abandonadas cubiertas para restringir el acceso del personal en obra.

3.8.4. Accesorios de Ventilación

3.8.4.1. Ventiladores

La mina cuenta con ventiladores 20 y 15 HP de potencia y de 10 000 a 25 000 CFM de capacidad.



Foto 7. Ventilador Impelente de 20 HP, colgado en la parte superior con pernos de anclaje y cable acerado a presión.

3.8.4.2. Plataformas

Las plataformas para los ventiladores son de madera y tienen una dimensión de 1m de ancho, 1.2 de largo y 1m de altura.



Foto 8. Plataformas de soporte de madera que sirven para sostener, asegurar, facilitar la instalación y el mantenimiento de los ventiladores.

3.8.4.3. Tableros Eléctricos

Estos tableros eléctricos son para dar energía a los ventiladores y los winches. Se encuentran en cada labor de trabajo.



Foto 9. Tablero eléctrico para el control y distribución de energía de un ventilador.

3.8.4.4. Mangas de Ventilación

El material de las mangas varía por motivo de precios, en algunas partes es de nylon, polietileno y en otras de tubería.



Foto 10. Mangas de Nylon blanco de 18'' de ancho ubicadas al costado de la parte superior, son colgadas por alcatayas para inyectar aire limpio a las labores de trabajo.



Foto 11. Mangas de tubería PVC de 18'' ubicadas en la parte superior con pernos de anclaje y cable acerado a presión para inyectar aire limpio a las labores de trabajo.

3.8.4.5. Alcayatas

Las alcayatas son de 5/8" x 80 cm y se utilizan para colgar las mangas de ventilación.



Foto 12. Alcayatas para colocar las mangas de ventilación de Nylon al costado de la parte superior de las galerías.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

4.1.1. Descripción del Sistema de Ventilación

El túnel del Nv. 2880 y Nv. 3060, cuenta con un sistema de ventilación natural y mecánica forzada, ambos niveles se conectan con la finalidad del ingreso de aire limpio por la bocamina del Nv. 2880 y salida de aire viciado por la bocamina del Nv. 3060.

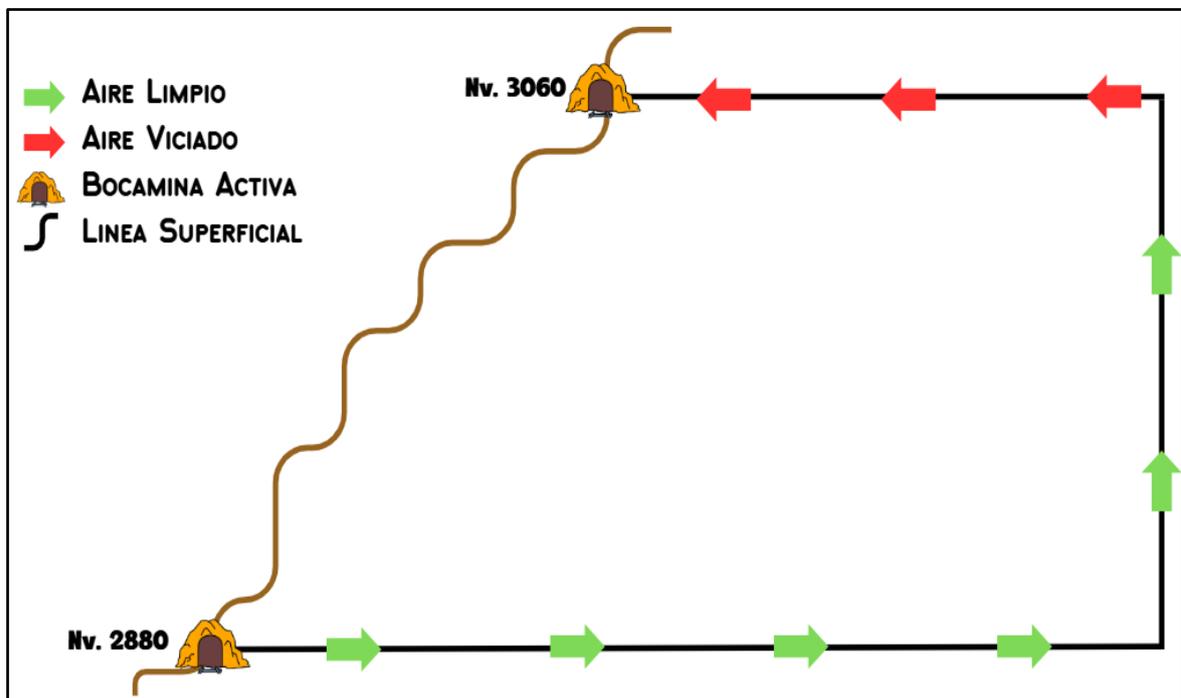


Figura 14. Esquema conceptual del Sistema de Ventilación del área de estudio.

4.1.2. Medición de Caudal de Aire

Las mediciones de aire se realizaron utilizando una técnica experimental. En la bocamina del Nv. 2880 y Nv. 3060 se tomaron 2 valores de velocidad para poder determinar una velocidad promedio y para el área se utilizó una forma geométrica.

4.1.2.1. Evaluación de Ingreso de Caudal de Aire

Se tiene un punto de ingreso del caudal de aire limpio y fresco que es la bocamina del Nv. 2880.

- **Área:** La bocamina Nv. 2880 geoméricamente tiene una sección trapezoidal, el área dependerá de las dimensiones de la base menor, base mayor y la altura de la labor minera.



Foto 13. Cálculo del área de la bocamina Nv. 2880 por donde ingresa el aire limpio.

Tabla 9. Área de ingreso.

GALERÍA Nv. 2880

A	1.7
B	2.1
H	2.45

$$\text{ÁREA} = \frac{(A + B)H}{2}$$

$$\text{ÁREA} = 4.65 \text{ m}^2$$

- **Velocidad:** Debido a la restricción económica de la mina para calcular la velocidad del aire se utilizó una técnica experimental. Se acondicionó con elementos que tienen encendido y emanan humo con la finalidad de controlar el tiempo que tarda en llegar el humo de un punto a otro, para luego realizar el cálculo de la velocidad utilizando la fórmula física:

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$



Foto 14. Método experimental: Con una wincha se midió 3 metros de distancia entre dos personas. Nv. 2880 estación de monitoreo EV-03.

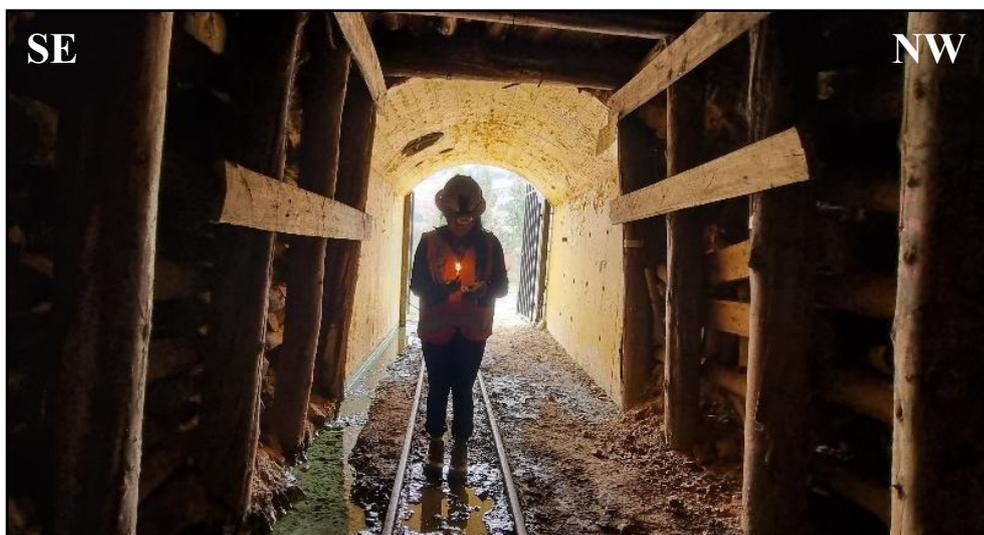


Foto 15. Método experimental: Se enciende la bengala y se controla el tiempo que tarda en llegar el humo al otro punto en una distancia de 3 metros. Nv. 2880 EV-01.

Tabla 10. Tiempo promedio de ingreso de caudal de aire.

Estación de monitoreo	Tiempo (s)
EV- 01	2.5
EV-02	3.0
EV-03	3.5
EV-04	3.9
Tpromedio	3.2

- **Cálculo de la velocidad**

$$V = \frac{\text{Distancia}}{T_{\text{Promedio}}}$$

$$V = \frac{3}{3.2}$$

$$V = 0.94 \text{ m/s}$$

- **Cálculo del caudal de ingreso de aire**

$$Q = V \times A$$

$$Q_{\text{Ingreso}} = 0.94 \text{ m/s} \times 4.65 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{Ingreso}} = 4.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Ingreso}} = 261.84 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{Ingreso}} = 9\ 247.27 \text{ CFM}$$

4.1.2.2. Evaluación de Salida de Caudal de Aire

Se tiene un punto de ingreso de caudal de aire limpio y fresco que es la bocamina del Nv. 3060.

- **Área:** La bocamina Nv. 2880 geoméricamente tiene una sección irregular, el área dependerá de las dimensiones de la base y la altura de la labor minera.



Foto 16. Cálculo del área de la bocamina Nv. 3060 por donde sale el aire viciado.

Tabla 11. Área de salida.

GALERÍA Nv. 3060

A	3
B	2.7
Constante	0.95

$$\mathbf{\acute{A}REA = A \times B \times 0.95}$$

$$\mathbf{\acute{A}REA = 7.69 \text{ m}^2}$$

- **Velocidad:** Debido a la restricción económica de la mina para calcular la velocidad del aire se utilizó una técnica experimental. Se acondicionó con elementos que tienen encendido y emanan humo con la finalidad de controlar el tiempo que tarda en llegar el humo de un punto a otro, para luego realizar el cálculo de la velocidad utilizando la fórmula física:

$$V = \frac{\mathbf{Distancia}}{\mathbf{Tiempo}}$$



Foto 17. Método experimental: Con una wincha se midió 3 metros de distancia entre dos personas. Nv. 3060 estación de monitoreo EV-01.



Foto 18. Método experimental: Se enciende la bengala y se controla el tiempo que tarda en llegar el humo al otro punto en una distancia de 3 metros. Nv. 3060 EV-07.

Tabla 12. Tiempo promedio de salida de caudal de aire.

Estación de monitoreo	Tiempo (s)
EV-05	6.1
EV-06	5.6
EV-07	5.3
EV-08	5.1
Tpromedio	5.5

- **Cálculo de la velocidad**

$$V = \frac{\textit{Distancia}}{\textit{T Promedio}}$$

$$V = \frac{3}{5.5}$$

$$V = 0.545 \text{ m/s}$$

- **Cálculo del caudal de salida de aire**

$$Q = V \times A$$

$$Q_{\textit{salida}} = 0.545 \text{ m/s} \times 7.69 \text{ m}^2$$

$$Q_{\textit{salida}} = 4.19 \text{ m}^3/\textit{s}$$

$$Q_{\textit{salida}} = 251.83 \text{ m}^3/\textit{min}$$

$$Q_{\textit{salida}} = 8\,893.85 \text{ CFM}$$

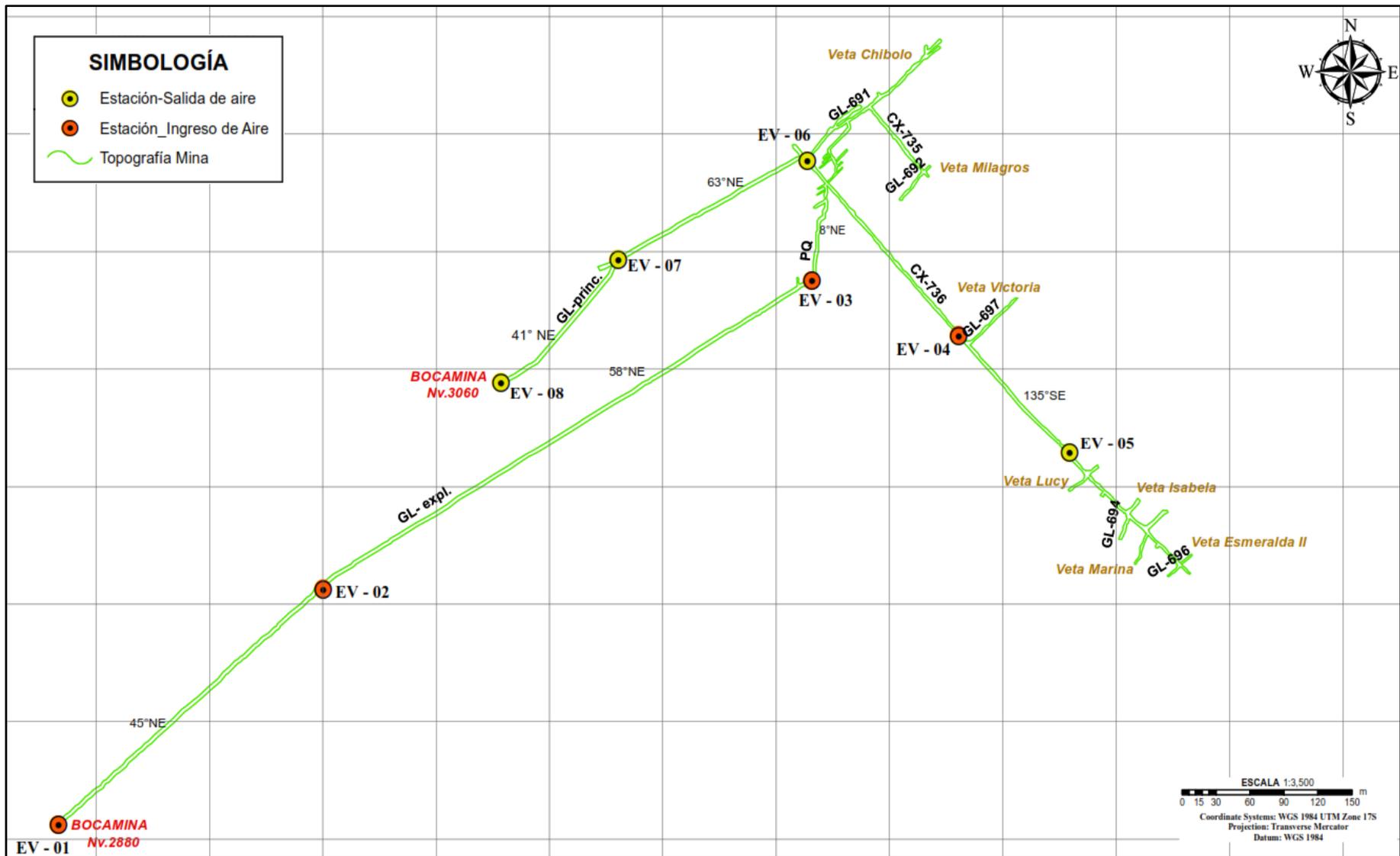


Figura 15. Vista del plano: Estaciones de Monitoreo de la velocidad del aire de ingreso y salida.

4.1.3. Requerimientos de Caudal de Aire

El cálculo de los requerimientos de caudal de aire se realizó conforme al ANEXO 38 del Decreto Supremo N.º024-2016-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, y su modificación mediante el Decreto Supremo N.º023-2017-EM y teniendo en cuenta que en las operaciones de esta mina no se usan equipos con motor petrolero.

Para determinar los requerimientos de aire en las operaciones de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2 se ha trabajado teniendo en cuenta la zona Norte, Centro y Sur del Nv. 3060, solo se consideraron únicamente los cálculos de:

- Caudal de aire requerido por número de trabajadores.
- Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo.
- Caudal requerido por fugas de aire.
- Caudal requerido por consumo de explosivo.

El cálculo de caudal requerido por consumo de madera fue excluido, ya que no aplica al área estudiada pues no se utiliza madera para el sostenimiento estructural, excepto que se ha utilizado madera en un tramo de 150 metros a la entrada de la bocamina del Nv. 2880, debido a que en ese tramo la roca no tiene autosostenimiento al presentar baja calidad geomecánica.

4.1.3.1. Requerimiento de aire total en la zona Norte – Nv. 3060

a) Caudal requerido por el número de trabajadores

Tabla 13. Cálculo de requerimiento de aire por trabajadores zona Norte.

Veta	Niveles Operativos	Labores	N.º de personas	Altitud m ³ /min
Veta Milagros	2910	Frente 1: Pique E	6	4
		Frente 2: Subnivel 15	7	
		Frente 3: Chimenea	3	
Veta Chibolo	2990	Frente 1: Pique	5	4
		Frente 2: Subnivel 7 W	6	
		Frente 3: Subnivel 7 E	6	
TOTAL			33	

$$Q_{Tr} = F \times N (m^3/min)$$

Datos:

- Altura de la mina: Bajo los 3 000 m.s.n.m.
- $F = 5 \text{ m}^3/\text{min}$ (Art. 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 024-2016 EM)
- $N = 33$ trabajadores

$$Q_{Tr} = 33 \times 4 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 132 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 4\,661.7 \text{ CFM}$$



Foto 19. Veta Milagros ubicada en la zona Norte, con dirección SE - NW y cota 2910 m.s.n.m; cuenta con 3 frentes de trabajo.



Foto 20. Veta Chibolo ubicada en la zona Norte, con dirección NW - SE y cota 2990 m.s.n.m; cuenta con 3 frentes de trabajo.

b) Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo Q_{Te}

La temperatura para los Nv. 2910 y Nv. 2990 está por debajo de los 24°C y de acuerdo a la escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del Decreto Supremo N.º 024-2016-EM solo se debe considerar los niveles con temperatura mayor a 23°C.

c) Caudal requerido por fugas Q_{Fu}

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma}$$

Tabla 14. Cálculo de requerimiento de aire por fugas zona Norte.

Q_{T1}	Cálculo en m^3/min
Q_{Tr} : caudal requerido por el número de trabajadores	132
Q_{Te} : caudal requerido por temperatura	0
Q_{Ma} : caudal requerido por el consumo de madera	0
Total = Q_{T1}	132

$$Q_{Fu} = 15 \% \times Q_{T1} (m^3/min)$$

Datos:

- $Q_{T1} = 165 m^3/min$

$$Q_{Fu} = 15 \% \times 132 m^3/min$$

$$Q_{Fu} = 19.8 m^3/min$$

$$Q_{Fu} = 699.3 CFM$$

d) Caudal requerido por el consumo de explosivo Q_{Ex}

Tabla 15. Cálculo de requerimiento de aire por consumo de explosivos zona Norte.

Niveles Operativos	Labores	Sección		
		Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Nivel 2910	Frente 1: Pique E	1	2	2
	Frente 2: Subnivel 15	1	2.20	2.20
	Frente 3: Chimenea	1	1.5	1.5
Nivel 2990	Frente 1: Pique	1	2	2
	Frente 2: Subnivel 7 W	1	2.20	2.20
	Frente 3: Subnivel 7 E	1	2.20	2.20
PROMEDIO DE ÁREA				2.0

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Datos:

- V: 25m/min (Art. 248 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 024-2016 -EM).
- Área = 2.0 m²
- N = 2 niveles en voladura.

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

$$Q_{Ex} = 2.0 \text{ m}^2 \times 25 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times 2$$

$$Q_{Ex} = 100.83 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Ex} = 3\,560.9 \text{ CFM}$$

Teniendo los datos calculados del requerimiento de caudales en la zona Norte, se realiza la comparación entre la suma de requerimiento de caudal de aire por persona más la temperatura en labores de trabajo que es 4 661.7 CFM. (Ver Tabla 16) con el consumo de explosivos que es 3 560.9 CFM. De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 023-2017- EM se debe considerar el MAYOR de los resultados que es 4 661.7 CFM más el caudal de fugas es igual 5 361 CFM. Se tiene que el caudal de aire requerido en la zona Norte es de: 5 361 CFM.

Tabla 16. Resumen del requerimiento total de caudal de aire zona Norte.

Resumen de Caudal de Aire Total		
Caudal de aire	m ³ /min	CFM
Q_{Tr}: Número de trabajadores	132	4 661.7
Q_{Te}: Temperatura en labores de trabajo	0	0.0
Q_{Total}	132	4 661.7
Q_{Ex}: Consumo de explosivos	100.83	3 560.9
Q_{Fu}: Fugas	19.8	699.3
Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}	151.8	5 361

4.1.3.2. Requerimiento de aire total en la zona Centro – Nv. 3060

a) Caudal requerido por el número de trabajadores

Tabla 17. Cálculo de requerimiento de aire por trabajadores zona Centro.

Veta	Niveles Operativos	Labor	Nº de personas	Altitud m ³ /min
Veta Victoria	3010	Frente 1: Pique	5	5
		Frente 2: Subnivel 5	5	
		Frente 3: Chimenea	3	
		TOTAL	13	

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Datos:

- Altura de la Mina: Mayor a 3 000 m.s.n.m.
- F = 5 m³/min (Art. 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 024-2016-EM).
- N = 13 trabajadores

$$Q_{Tr} = 13 \times 5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 65 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 2 295.5 \text{ CFM}$$



Foto 21. Veta Victoria ubicada en la zona Centro, con dirección NW - SE y cota 3010 m.s.n.m; cuenta con 3 frentes de trabajo.

b) Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo Q_{Te}

Tabla 18. Cálculo de requerimiento de aire por temperatura zona Centro.

Niveles Operativos	Veta	T °C	Sección de Galería		
			Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Nivel 3010	Veta Victoria	25	2	2.4	4.8

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Datos:

- V_m : 30 m/min (d. Art. 252 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 024-2016 EM)
- Área = 4.8 m²
- N = 1 niveles con temperatura mayor a 23°C.

$$Q_{Te} = 30 \frac{m}{min} \times 4.8m^2 \times 1$$

$$Q_{Te} = 144 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Te} = 5\,085.5 \text{ CFM}$$

c) **Caudal requerido por fugas Q_{Fu}**

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma}$$

Tabla 19. Cálculo de requerimiento de aire por fugas zona Centro.

Q_{T1}	Cálculo en m^3/min
Q_{Tr} : caudal requerido por el número de trabajadores	65
Q_{Te} : caudal requerido por temperatura	144
Q_{Ma} : caudal requerido por el consumo de madera	0
Total = Q_{T1}	209

$$Q_{Fu} = 15 \% \times Q_{T1} (m^3/min)$$

Datos:

- $Q_{T1} = 214 m^3/min$

$$Q_{Fu} = 15 \% \times 209 m^3/min$$

$$Q_{Fu} = 31.35 m^3/min$$

$$Q_{Fu} = 1\ 107.2 CFM$$

d) **Caudal requerido por el consumo de explosivo Q_{Ex}**

Tabla 20. Cálculo de requerimiento de aire por consumo de explosivos zona Centro.

Niveles Operativos	Labores	Sección		
		Ancho (m)	Altura (m)	Área (m^2)
Nivel 3010	Frente 1: Pique	1	2	2
	Frente 2: Subnivel 5	1	2.20	2.20
	Frente 3: Chimenea	1	1.5	1.5
TOTAL				1.9

$$Q_{Ex} = A \times V \times N (m^3/min)$$

Datos:

- V: 25m/min (Art. 248 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 024-2016 EM).
- Área = 1.9 m²
- N = 1 niveles en voladura.

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$Q_{Ex} = 1.9 \text{ m}^2 \times 25 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times 1$$

$$Q_{Ex} = 47.5 \text{ m}^3\text{/min}$$

$$Q_{Ex} = 1\,677.5 \text{ CFM}$$

Teniendo los datos calculados del requerimiento de caudales en la zona Centro, se realiza la comparación entre la suma de requerimiento de caudal de aire por persona más la temperatura en labores de trabajo que es 7 381 CFM. (Ver Tabla 21) con el consumo de explosivos que es 1 677.5 CFM. De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 023-2017-EM se debe considerar el MAYOR de los resultados que es 7 381 CFM más el caudal de fugas es igual 8 488.2 CFM. Se tiene que el caudal de aire requerido en la zona Centro es de: 8 488.2 CFM.

Tabla 21. Resumen del requerimiento total de caudal de aire zona Centro.

Resumen de Caudal de Aire Total		
Caudal de aire	m³/min	CFM
Q_{Tr}: Número de trabajadores	65	2 295.5
Q_{Te}: Temperatura en labores de trabajo	144	5 085.5
Q_{Total}	209	7 381
Q_{Ex}: Consumo de explosivos	47.5	1 677.5
Q_{Fu}: Fugas	31.35	1 107.2
Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}	240.35	8 488.2

4.1.3.3. Requerimiento de aire total en la zona Sur – Nv. 3060

a) Caudal requerido por el número de trabajadores

Tabla 22. Cálculo de requerimiento de aire por trabajadores zona Sur.

Vetas	Nivel	Labor	Nº de personas	Altitud m ³ /min
Veta Lucy	3020	Frente 1: Pique W	4	5
		Frente 2: Subnivel 4	7	
Veta Isabela	3010	Frente 1: Pique Inclinado	10	5
Veta Marina	3030	Frente 1: Chimenea	3	5
		Frente 2: Subnivel 3	5	
Veta Esmeralda II	3000	Frente 1: Pique	4	5
		Frente 2: Subnivel 9	9	
		Frente 3: Chimenea	3	
TOTAL			45	

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Datos:

- Altura de la Mina: Sobre los 3 000 m.s.n.m.
- $F = 5\text{m}^3/\text{min}$ (Art. 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 024-2016 EM)
- $N = 45$ trabajadores

$$Q_{Tr} = 45 \times 5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 225 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 7\,946.1\text{CFM}$$



Foto 22. Veta Lucy ubicada en la zona Sur, con dirección SE - NW y cota 3020 m.s.n.m; cuenta con 2 frentes de trabajo.



Foto 23. Veta Esmeralda II ubicada en la zona Sur, con dirección W – E, cota 3000 m.s.n.m y 72° de buzamiento; cuenta con 3 frentes de trabajo.

b) **Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo Q_{Te}**

Tabla 23. Cálculo de requerimiento de aire por temperatura zona Sur.

Niveles Operativos	Vetas	T °C	Sección de Galería		
			Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Nivel 3020	Veta Lucy	27	2	2.4	4.8
Nivel 3010	Veta Isabela	27	2	2.4	4.8
Nivel 3030	Veta Marina	25	2	2.4	4.8
Nivel 3000	Veta Esmeralda II	28	2	2.4	4.8
PROMEDIO DE ÁREA					4.8

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Datos:

- V_m : 30 m/min (d. Art. 252 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 024-2016 EM)
- Área = 4.8 m²
- N = 4 niveles con temperatura mayor a 23°C.

$$Q_{Te} = 30 \frac{m}{min} \times 4.8m^2 \times 4$$

$$Q_{Te} = 576 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Te} = 20\,342.0 \text{ CFM}$$

c) Caudal requerido por fugas Q_{Fu}

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma}$$

Tabla 24. Cálculo de requerimiento de aire por fugas zona Sur.

Q_{T1}	Cálculo en m ³ /min
Q_{Tr} : caudal requerido por el número de trabajadores	225
Q_{Te} : caudal requerido por temperatura	576
Q_{Ma} : caudal requerido por el consumo de madera	0
Total = Q_{T1}	801

$$Q_{Fu} = 15 \% \times Q_{T1} (m^3/min)$$

Datos:

- $Q_{T1} = 801 m^3/min$

$$Q_{Fu} = 15 \% \times 801 m^3/min$$

$$Q_{Fu} = 120.15 m^3/min$$

$$Q_{Fu} = 4\,243.2 CFM$$

d) Caudal requerido por el consumo de explosivo Q_{Ex}

Tabla 25. Cálculo de requerimiento de aire por consumo de explosivos zona Sur.

Niveles Operativos	Labores	Sección		
		Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Nivel 3020	Frente 1: Pique W	1	2	2
	Frente 2: Subnivel 4	1	2.20	2.20
Nivel 3010	Frente 1: Pique Inclinado	1	20	20
Nivel 3030	Frente 1: Chimenea	1	1.5	1.5
	Frente 2: Subnivel 3	1	2.20	2.20
Nivel 3000	Frente 1: Pique	1	2	2
	Frente 2: Subnivel 9	1	2.20	2.20
	Frente 3: Chimenea	1	1.5	1.5
PROMEDIO DE ÁREA				4.29

$$Q_{Ex} = A \times V \times N (m^3/min)$$

Datos:

- V: 25 m/min (Art. 248 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 024-2016 EM).
- A = 4.29 m²
- N = 4 niveles en voladura.

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

$$Q_{Ex} = 4.29 \text{ m}^2 \times 25 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times 4$$

$$Q_{Ex} = 428.75 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Ex} = 15\ 141.7 \text{ CFM}$$

Teniendo los datos calculados del requerimiento de caudales en la zona Sur, se realiza la comparación entre la suma de requerimiento de caudal de aire por persona más la temperatura en labores de trabajo que es 28 288.1 CFM. (Ver Tabla 26) con el consumo de explosivos que es 15 141.7 CFM. De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS N.º 023-2017 -EM se debe considerar el MAYOR de los resultados que es 28 288.1 CFM más el caudal de fugas es igual 32 531.3 CFM. Se tiene que el caudal de aire requerido en la zona SUR es de: 32 531.3 CFM.

Tabla 26. Resumen del requerimiento total de caudal de aire zona Sur.

Resumen de Caudal de Aire Total		
Caudal de aire	m³/min	CFM
Q_{Tr}: Número de trabajadores	225	7 946.1
Q_{Te}: Temperatura en labores de trabajo	576	20 342.0
Q_{Total}	801	28 288.1
Q_{Ex}: Consumo de explosivos	428.75	15 141.7
Q_{Fu}: Fugas	120.15	4 243.2
Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}	921.15	32 531.3

4.1.4. Formato de Verificación de acuerdo al DS N.º 024-2016-EM

Se realizó una verificación de todo el Sistema de Ventilación de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 de acuerdo al Decreto Supremo N.º 024-2016-EM con su modificatoria del Decreto Supremo N.º 023-2017-EM, para verificar el cumplimiento que prescribe los artículos 246, 249, 251, 252, 255, 256 y 257 (Ver Anexo 01). Los formatos que se propone en el trabajo de investigación son los siguiente:

**DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL
DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM**

TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN

ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
246	<p>El titular de actividad minera debe garantizar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.</p> <p>Cualquier sistema de ventilación en la minería debe asegurar que la calidad del aire se mantenga dentro de los límites establecidos para la exposición ocupacional a agentes químicos, según lo indicado en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo. Asimismo, debe cumplir con los siguientes requisitos:</p>	
	<p>a) Antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deben realizarse mediciones de gases de CO, CO₂, NO₂, O₂ y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento y al uso de explosivos. Estos resultados deben ser registrados y comunicados a los trabajadores que ingresarán a dicha labor.</p>	
	<p>b) En todas las labores subterráneas se debe tener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % de oxígeno.</p>	
	<p>c) Las labores de entrada y salida de aire deben ser completamente independientes. El circuito general de ventilación debe dividirse dentro de la mina en ramales, de manera que todas las áreas de trabajo reciban su cantidad proporcional de aire fresco, evitando cualquier tipo de recirculación.</p>	
	<p>d) Cuando la ventilación natural no pueda cumplir con los artículos precedentes, debe emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.</p>	

**DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL
DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM**

TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN

ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
246	e) Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del aire. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado.	
	f) En las labores que cuenten con una sola vía de acceso y un avance superior a 60 m, es obligatorio utilizar ventiladores auxiliares. Para avances menores a 60 m, también se deben emplear ventiladores auxiliares cuando las condiciones ambientales lo requieran. En las actividades de desarrollo y preparación, las mangas de ventilación deben colocarse a una distancia no mayor de 15 m del frente de disparo.	
	g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se deben efectuar taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos 10 m de avance.	
249	Se toman todas las providencias del caso para evitar el deterioro y la interrupción del funcionamiento de los ventiladores principales, los cuales deben cumplir con las siguientes condiciones:	
	1. Ser instalados en casetas incombustibles y resguardadas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños. Los ventiladores en superficie, así como las instalaciones eléctricas deben contar con cercos perimétricos adecuados para evitar el acceso de personas extrañas.	
	2. Contar con al menos dos (2) fuentes de energía eléctrica independientes, las cuales, en la medida de lo posible, deben ser suministradas a través de rutas diferentes.	

DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM		
TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN		
ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
249	3. Estar provistos de silenciadores para reducir el ruido en las áreas de trabajo o en zonas pobladas, donde pudiera afectar la salud de las personas.	
	4. Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para caso de paradas.	
	5. Cumplir estrictamente las especificaciones técnicas dispuestas por el fabricante para el mantenimiento preventivo y correctivo de los ventiladores.	
251	<p>Para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2 831 metros cúbicos por minuto (o 100 000 pies cúbicos por minuto), se deben instalar paneles de control que faciliten el monitoreo de su operación, la regulación a los parámetros necesarios, la emisión de señales de alarma en caso de paradas, y el arranque automático de los equipos de emergencia si ocurre un corte de energía.</p> <p>En el caso de los ventiladores extractores de aire utilizado, el monitoreo también incluirá la medición de gases como monóxido de carbono, gases nitrosos, oxígeno y la temperatura en el aire circulante.</p>	
252	Se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando. La evaluación integral de ventilación debe considerar:	
	a) Ubicación de estaciones de control de ventilación.	
	b) Circuitos de aire de la mina.	
	c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el 10 %.	
	f) Cobertura de la demanda de aire de la mina con el aire que ingresa a la misma.	

DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM		
TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN		
ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
252	g) Cobertura de las demandas de aire en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la mina.	
	h) Mediciones de O ₂ , CO ₂ , gases tóxicos y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.	
	i) Ubicación de ventiladores, indicando capacidad de diseño y operación.	
	j) Disponibilidad de las curvas de rendimiento de los ventiladores.	
	k) Planos de ventilación de la mina, indicando los circuitos de aire y estaciones de control, ubicación de ventiladores, puertas de ventilación, taponés y otros.	
255	En toda mina subterránea, donde se utilicen explosivos y equipos con motores petroleros, el titular de actividad minera debe proveer a sus trabajadores el respirador de auto rescate para su protección contra gases de monóxido de carbono, en función a la evaluación de riesgo de los trabajos a realizarse.	
256	En las labores mineras subterráneas donde haya liberación de gases o labores abandonadas gaseadas deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad:	
	a) Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.	
	b) Clausurar las labores por medio de puertas o taponés herméticos que impidan el escape de gases y señalizarlos para evitar el ingreso de personas.	
257	La sala o estación de carguío de baterías, deberán estar bien ventiladas con un volumen suficiente de aire para prevenir la acumulación de gas hidrógeno. La sala o estación debe tener avisos de prohibición de fumar y del uso de llamas abiertas.	
TOTAL DE CUMPLIMIENTOS		
TOTAL DE “NO” CUMPLIMIENTOS		

De acuerdo con el formato de verificación del Decreto Supremo N.º 024-2016-EM y su modificatoria del Decreto Supremo N.º 023-2017-EM, TÍTULO IV - CAPÍTULO I – SUBCAPÍTULO VIII - Ventilación, se tiene que los artículos: 246-a, d;249-1,2,3,4;251 y 252-j no están siendo aplicados en la mina Nueva Esperanza Nivel 2, debido a que es una mina subterránea de pequeña escala que tiene carencias en cuanto al cumplimiento de reglamentos y normativas a causa de sus limitaciones económicas y técnicas. A continuación, (Ver Figura 16) se muestra los porcentajes del cumplimiento de cada artículo obtenidos durante la etapa de campo en base al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

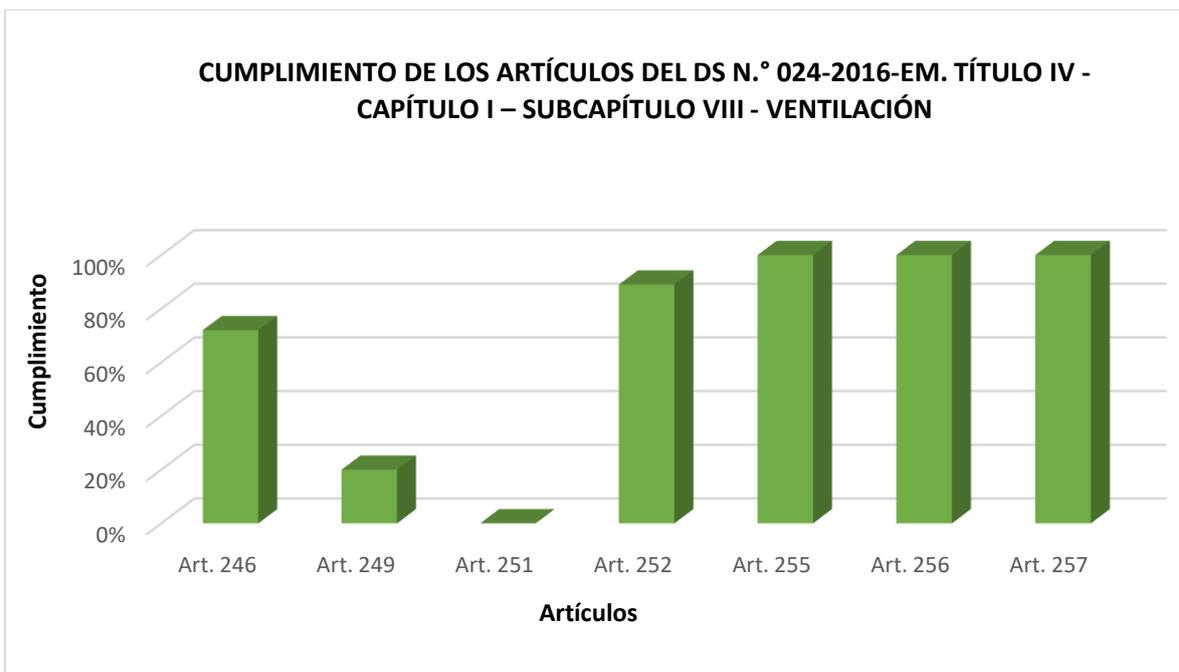


Figura 16. Porcentaje de cumplimiento de los artículos.

4.1.5. Inventario de Ventiladores Principales

El Sistema de Ventilación de la mina Nueva Esperanza Nivel 2 tiene 6 ventiladores principales que están operativos y distribuidos en el interior de la mina, de los cuales uno es aspirante (Ver Foto 24) y cinco son impelentes (Ver Foto 25), los siguientes datos de los ventiladores fueron tomados en campo.

Tabla 27. Inventario de Ventiladores Principales.

FORMATO					
INVENTARIO DE VENTILADORES					
DIVISIÓN: Seguridad y Salud Ocupacional				CÓDIGO: HC-SST-F-05	
UNIDAD MINERA: HNS CONSORCIO SRL.				VERSIÓN: 01	
ÁREA: Seguridad				FECHA: 03/12/2024	
CÓDIGO	TIPO	UBICACIÓN	POTENCIA (HP)	CAPACIDAD (CFM)	CONDICIÓN
V1	Impelente	Crucero	20	20 000	Operativo
V2	Impelente	Zona Norte	15	10 000	Operativo
V3	Impelente	Zona Norte	15	15 000	Operativo
V4	Impelente	Zona Sur	15	10 000	Operativo
V5	Impelente	Zona Sur	15	10 000	Operativo
V6	Aspirante	Zona Sur	20	25 000	Operativo



Foto 24. Ventilador tipo Aspirante instalado sobre una plataforma de madera con un tablero eléctrico para su funcionamiento.



Foto 25. Ventilador tipo Impelente enganchado en la parte superior con pernos de anclaje y cable acerado a presión.

4.2. ÁREAS DE MEJORA EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN

En una mina subterránea la ventilación es una de las operaciones más importantes para la seguridad de los trabajadores, la cual está regulada por el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del Decreto Supremo N° 024-2016-EM y su modificatoria del Decreto Supremo N° 023-2017-EM; después de realizar las diferentes mediciones de requerimiento de caudal de aire en las tres zonas del actual Sistema de Ventilación se obtuvo que en la zona Sur se tiene un déficit de cobertura de aire, teniendo como consecuencia: bajo rendimiento de los colaboradores, paradas en los frentes de trabajo y uso de la tercera línea para ventilar; provocando un alza de costos de operación. Por lo tanto, se tiene dos propuestas para mejorar la ventilación en la zona Sur (Ver Figura 17).

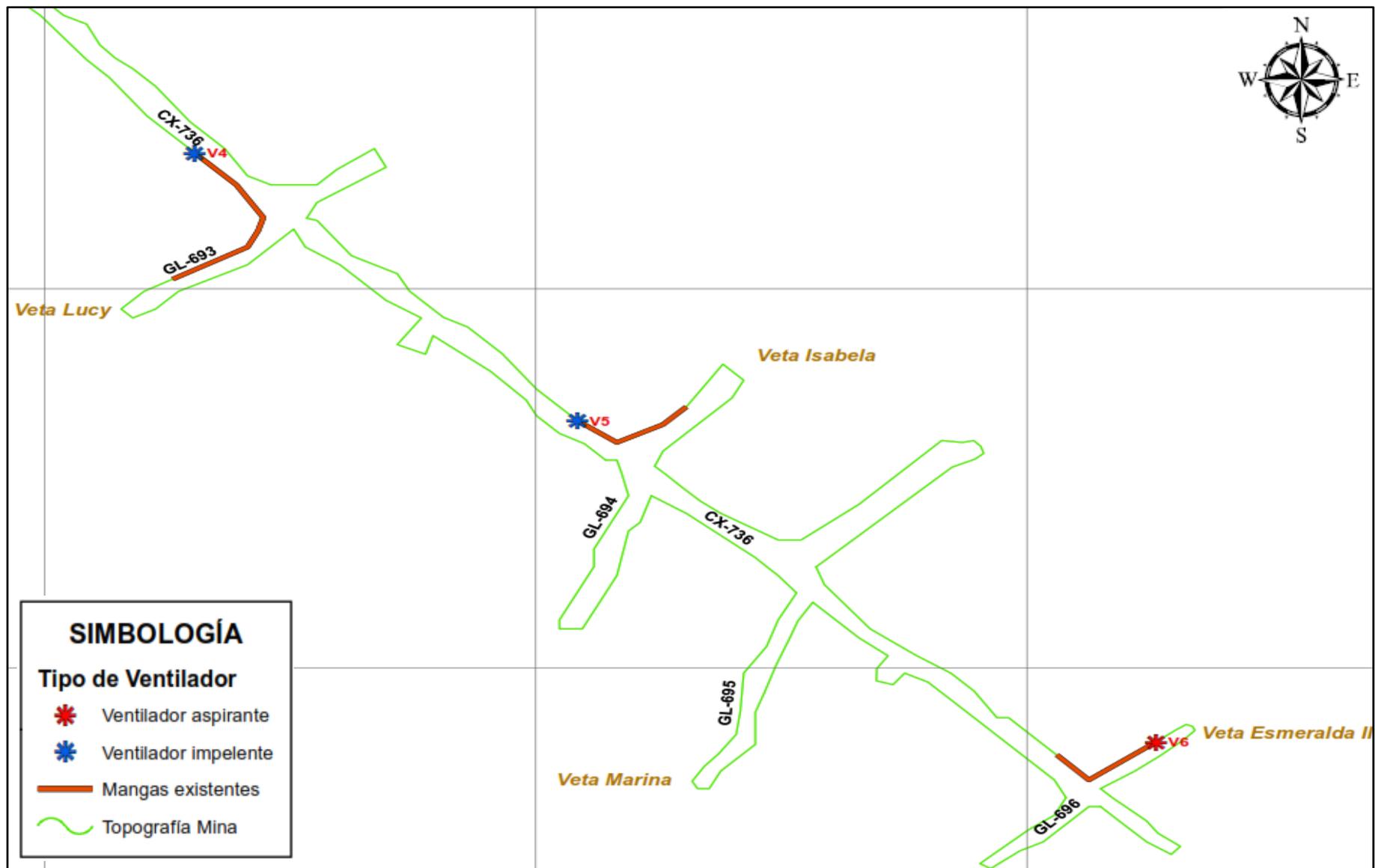


Figura 17. Vista del plano: Sistema de ventilación actual - zona Sur.

PRIMERA PROPUESTA: En la galería principal de la zona Sur se debe hacer dos chimeneas gemelas de ventilación con el equipo Alimak, estas deben estar ubicadas entre las vetas Isabela y Marina, las chimeneas tendrían una sección de 2.40 x 2.40 m y una altura de 250 m hasta la superficie, con la finalidad que el aire limpio que va ingresar desde el exterior abastezca los subniveles de cada veta. Son dos chimeneas gemelas por el motivo que no se puede realizar una sola chimenea mayor a 50 m, mientras que con dos chimeneas gemelas se tiene ventilación, acceso y comodidad de operar (Ver Figura 18).

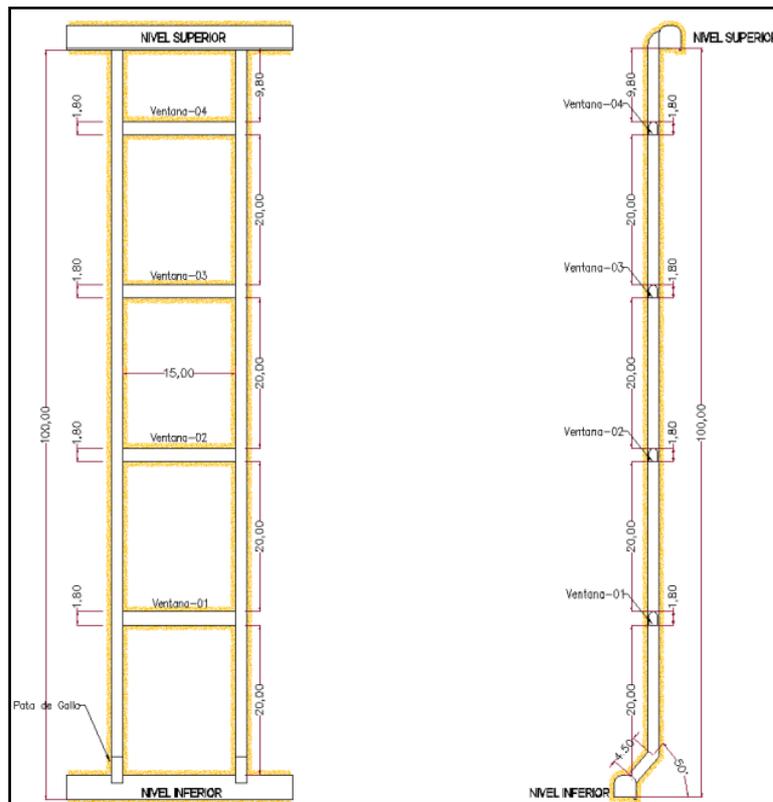


Figura 18. Chimeneas gemelas.

Fuente: Tomado de Andia, 2019.

SEGUNDA PROPUESTA: Llevar aire limpio que sale del Nv. 2880 con tres ventiladores enseriados, el primer ventilador se debe colocar desde la conexión de los Nv. 2880 y Nv. 3060, el segundo ventilador debe ir antes de la veta Victoria y el tercer ventilador debe ir antes del ventilador de la veta Lucy. Las mangas de ventilación tienen que estar justo donde capta el otro ventilador, y es importante que estos ventiladores tengan una potencia de 20 HP y un caudal de 10 000 CFM. El caudal de cada ventilador sumaría al caudal que ingresa por el Nv. 2880 y así se tendría una cobertura mayor al 100% en la zona Sur (Ver Figura 19).

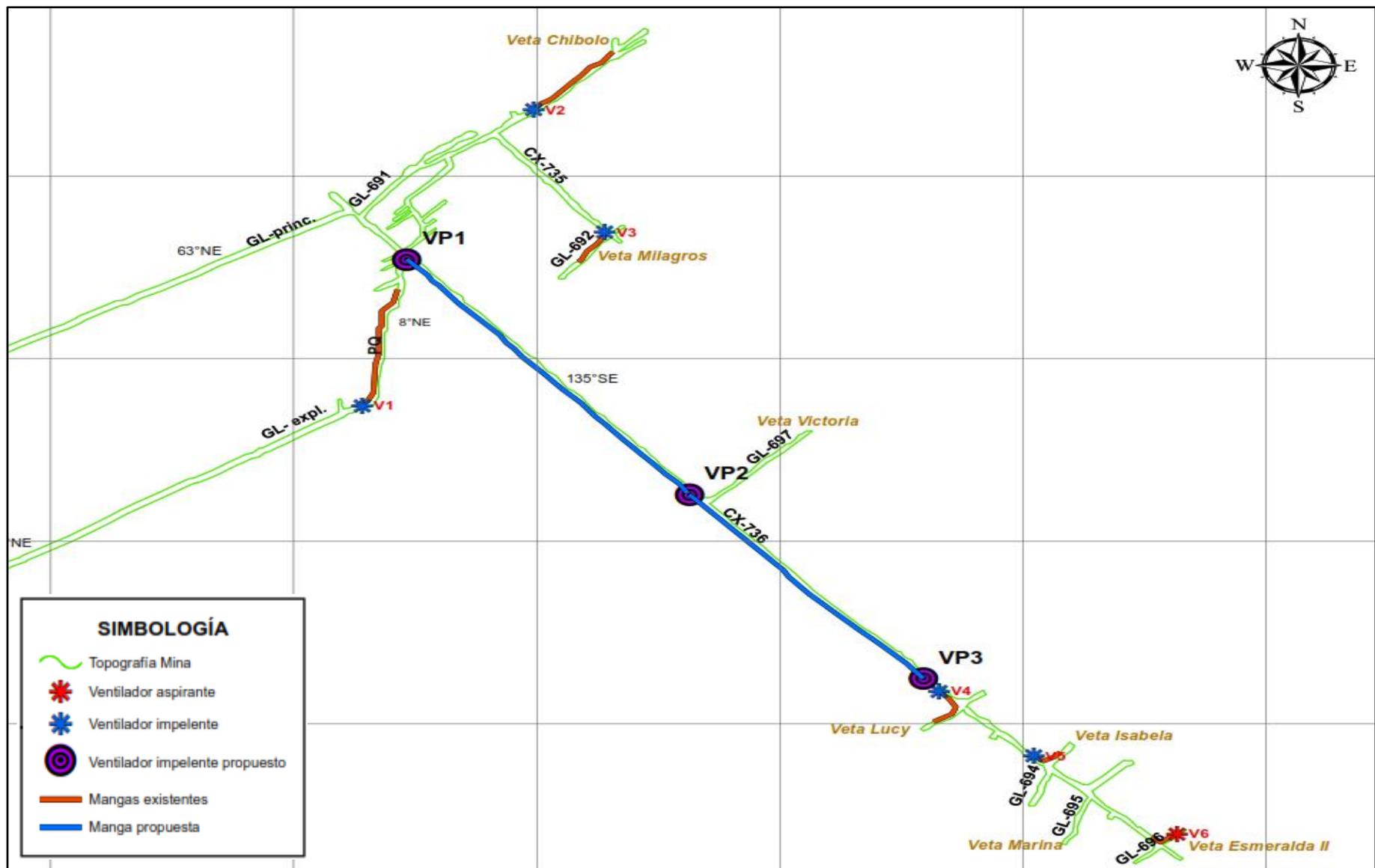


Figura 19. Vista del plano: Sistema de ventilación propuesta.

Después de evaluar las dos propuestas de mejora se opta por ejecutar la segunda propuesta como mejor opción, debido a que es la más rentable y eficaz, pues toma menos tiempo y el presupuesto de inversión es menor en comparación con la primera propuesta.

Con los cálculos de la segunda propuesta se tiene que el caudal de ingreso inicial de aire es de 9 247.27 CFM, y agregando 3 ventiladores de 30 000 CFM de caudal cada uno, se tiene un total de 39 247.27 CFM de caudal de ingreso de aire. Haciendo el análisis del sistema de ventilación para la zona Sur, se tendría una cobertura de caudal de aire de 120%, lo cual evidencia una mejora sustancial en las condiciones de ventilación para los diferentes sectores de trabajo. En la Tabla 28 se resume los cálculos de la cobertura de aire para la zona Sur.

Tabla 28. Cobertura de aire en zona Sur implementado.

Cobertura de aire	CFM
Caudal de Ingreso	39 247.27
Caudal de Salida	8 893.85
Caudal Requerido	32 531.3
COBERTURA %	120%

Mediante la inspección visual realizada se observa que algunos ventiladores se encuentran en mal estado (Ver Foto 26) y las mangas de ventilación utilizadas en el área presentan dificultades en el enganche con alcayatas (Ver Foto 27) y rupturas (Ver Foto 28). Además, a la fecha no se tiene evidencias que se haya realizado el mantenimiento preventivo de los equipos mencionados. Las mangas de ventilación no solo deben estar en buen estado sino también deben ser eficientes y sostenibles a largo plazo.



Foto 26. Ventilador en mal estado; chancado y deteriorado en la zona Sur. Ubicado en la parte superior de la galería sobre palos de madera.



Foto 27. Mangas de ventilación sin estar enganchadas en alcayatas, provocando deficiencias del flujo de aire hacia las zonas de trabajo.



Foto 28. Mangas de ventilación en mal estado presentan roturas mostrando falta de mantenimiento.

4.3 ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL SISTEMA DE VENTILACIÓN

4.3.1. Áreas para la construcción de Cámaras de Salvataje

Después de verificar las condiciones del sistema de ventilación actual en todo el interior de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, se ha identificado dos áreas que encuentran en la zona Norte y Centro (Ver Figura 20), las cuales tienen condiciones adecuadas para construir las cámaras de salvataje y también se encuentra cerca de las labores de trabajo, y cuentan con las siguientes consideraciones:

- El macizo rocoso evaluado muestra una valoración RMR_{89} mayor a 60, que viene hacer un macizo rocoso bueno, con bajo fracturamiento lo que le permite autosostenerse.
- Las áreas evaluadas están conectadas a una fuente de ventilación fresca y en un lugar donde el aire es menos propenso a contaminarse por gases tóxicos.
- Estas áreas donde se ubicará las cámaras de salvataje se ubican cerca de las zonas donde se tiene mayor riesgo para los colaboradores como: derrumbes, incendios subterráneos, explosiones de gases, presencia de gases tóxicos o zonas con falta de oxígeno.

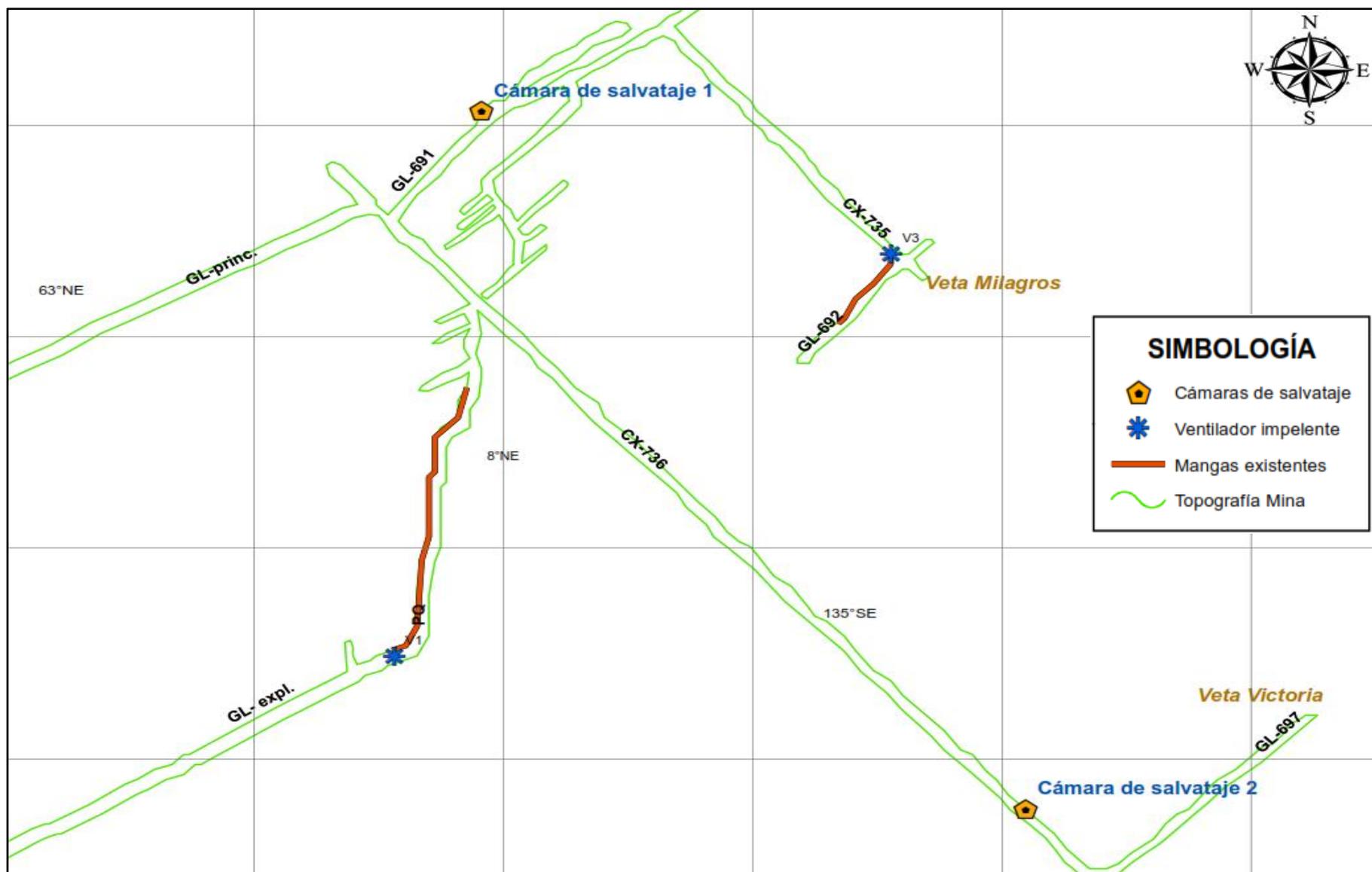


Figura 20. Vista del plano: Cámaras de Salvataje.

4.3.2. Evaluación Geomecánica de las Áreas para las Cámaras de Salvataje

Las áreas evaluadas se ubican en un macizo rocoso constituido por rocas areniscas cuarzosas pertenecientes a la formación chimú, en cada uno de las áreas se realizó una estación geomecánica por medio de líneas de detalle utilizando la metodología RMR₈₉.

CÁMARA DE SALVATAJE 1

El análisis geomecánico de la EG-01 evidencia un macizo rocoso de buena calidad, con una valorización de RMR₈₉ igual a 69, con bajo fracturamiento y autosostenimiento de sus juntas (Ver Figura 21). Mediante el análisis cinemático se confirma que no se tiene la generación de fallas tipo planar y vuelco, la intersección de las juntas JF1 y JF3 muestran la formación de una cuña, (Ver Tabla 29). Sin embargo, se sugiere la protección de toda el área con una capa se shotcrete de un centímetro de espesor para garantizar protección ante posibles desprendimientos de roca.

De la cuña generada se evaluó el análisis de factor de seguridad mediante el software Swedge, la cual por las propiedades físicas de las juntas garantiza ser estable, ya que el factor de seguridad es superior a 2.16 en condiciones estáticas y 1.5 en condiciones pseudoestáticas no es inestable (Ver Tabla 31).

CÁMARA DE SALVATAJE 2

El análisis geomecánico de la EG-02 evidencia un macizo rocoso de buena calidad, con una valorización de RMR₈₉ igual a 73, con bajo fracturamiento y autosostenimiento de sus juntas (Ver Figura 22). Mediante el análisis cinemático se confirma que no se tiene la generación de fallas tipo planar, vuelco y cuña (Ver Tabla 30). Sin embargo, se sugiere la protección de toda el área con una capa se shotcrete de un centímetro de espesor para garantizar protección ante posibles desprendimientos de roca.

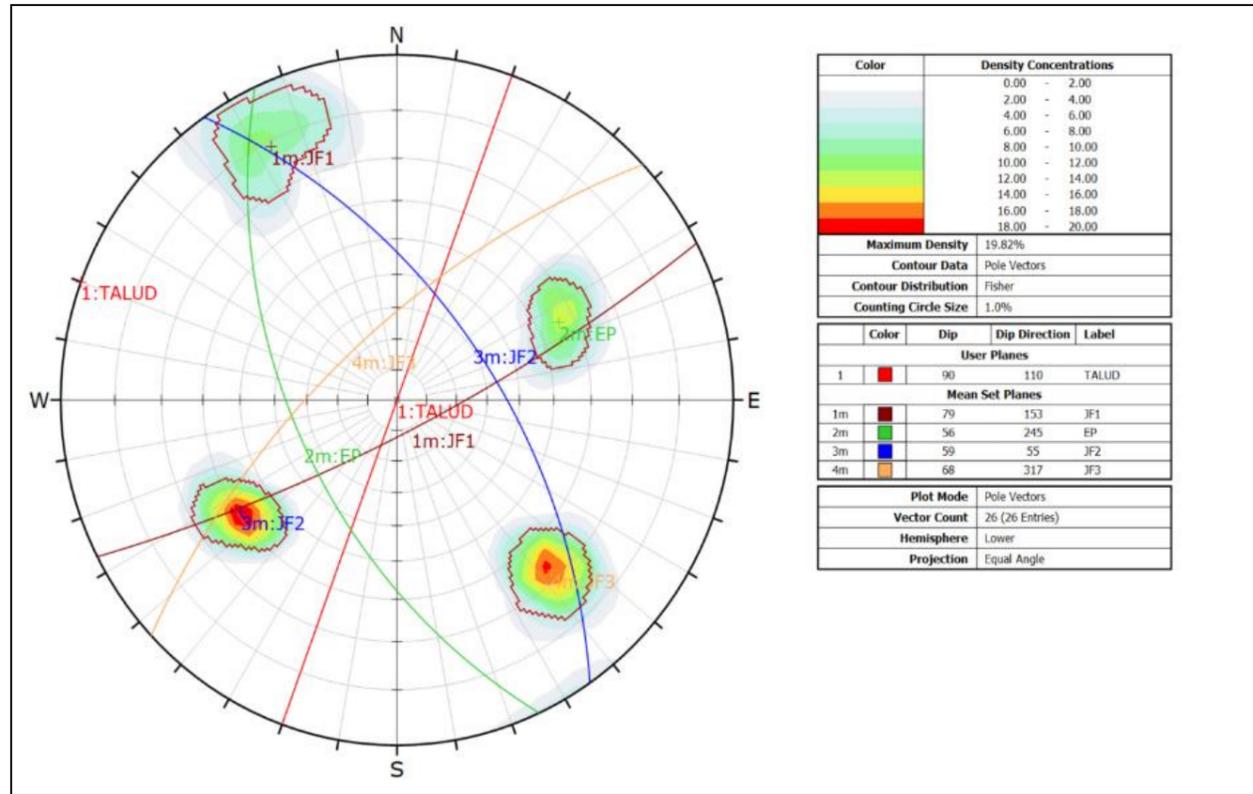
REGISTRO DE ESTACIONES GEOMECÁNICAS - RMR89

TESIS : "Evaluación del Sistema de Ventilación de la mina Nueva Esperanza Nivel 2 – Algamarca – Cajabamba"
PROGRESIVA: Norte: 91 58803 Este: 80 4245 **Elevación:** 3020
EJECUTADO POR: Miriam Jackeline Requelme Quiliche **CODIGO:** EG-01 **FECHA:** 15/11/2024

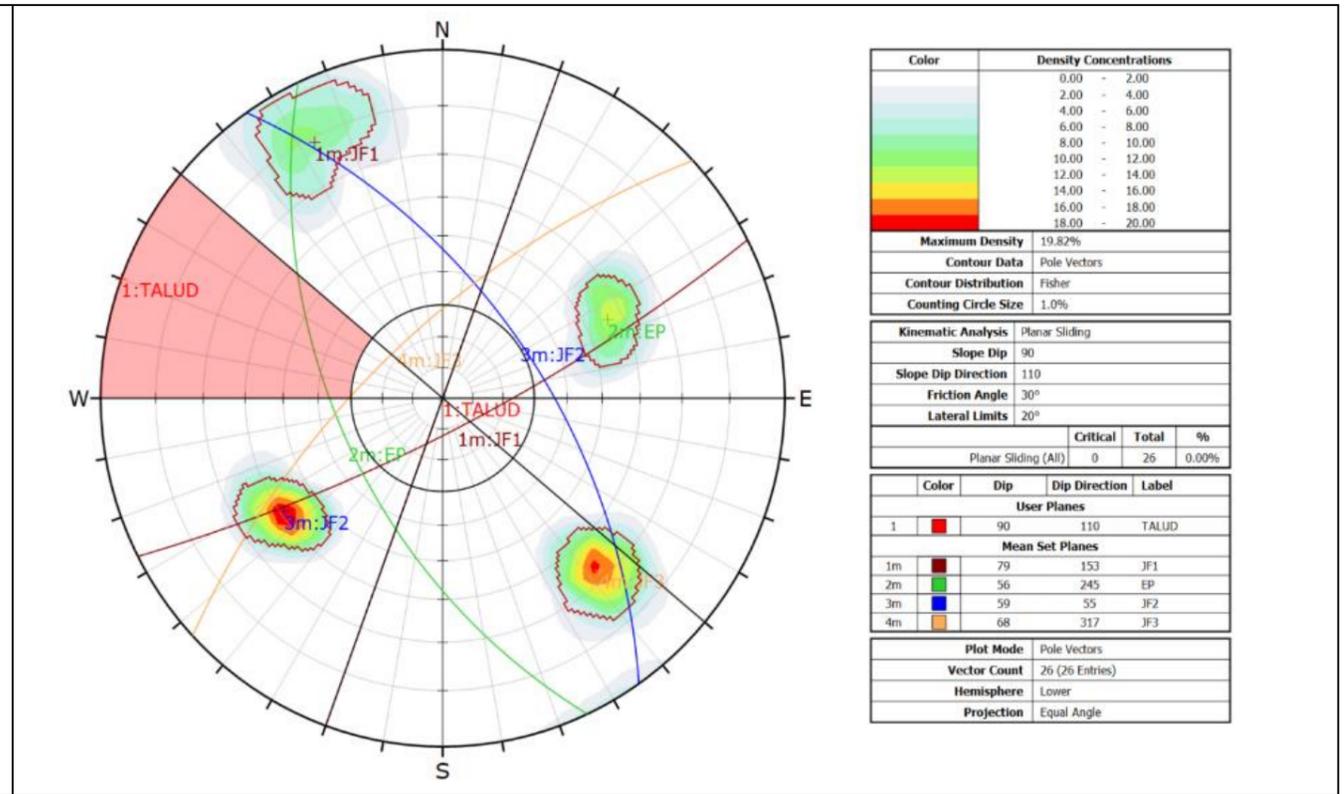
N° Estación		Orientación		Area		Parámetros		Rock Mass Assessment (RMR 1989)					Valores								
Azimut (°)		Dip (°)		Longitud (m)		Altura (m)		Rango de valores													
EG-01		N110°		90°		4.00		2.50													
Litología		Dureza(R)		RQD (%)		Estado del agua		Coord. Sist. (Datum)		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					Valores						
Arenisca Cuarzosa		R5		70%		Seco		WGS84		>250MPa (15) 250-100MPa (12) X 100-50MPa (7) 50-25MPa (4) 25-5(2) 5-1(1) <1(0) R6.0 R5.0 R4.0 R3.0 R2.0 R10 R0					1 12						
CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES												ESPACIADO DE DISCONTINUIDAD					Valores				
N° Familia	Tipo de estructura	Orientación		Espaciado			Condición de discontinuidades					CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES					Valores				
		Dip	Direction	Dip	N° Estructuras	Distancia (m)	Espaciado (m)	Persistencia (m)	Separación	Rugosidad	Infiltración	Alteración/meteorización	PERSISTENCIA	SEPARACIÓN	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN				
1	EP	250	60	10	-	0.40	5.00	4	5	2	5	<1m (6)	1-3 m (4) X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4			
		238	59									Cerrado (6)	<0.1mm (5)	0.1-10mm (4) X	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4			
		253	55									Muy rugoso (6)	Rugoso (5) X	Medianamente (3)	Suave (1)	Liso (0)	4C	5			
		238	62									Nulo (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1) X	Suave > 5 mm (0)	4D	1			
		240	54									Inalterado (6)	Ligeramente (5) X	Moderado (3)	Muy alterad: (2)	Descompuesta (0)	4E	5			
		255	48									AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15) X	Medianamente (10)	Humedo (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15		
												Valor total RMR (suma de valoraciones de 1 a 5)									
												MASA ROCOSA									
												GSI 64					69				
												RMR 100 - 81 80 - 61 60 - 41 40 - 21 20 - 0									
												DESCRIPCIÓN (I) MUY BUENO (II) BUENO III REGULAR (IV) POBRE (V) MUY POBRE									
												PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA ESTACIÓN					FOTOGRAFÍA DE LA ESTACIÓN				
												RUGOSIDAD DE LAS FACTURAS									
												1 RUGOSA 2 LISA o SUAVE 3 PULIDA 4 RUGOSA 5 LISA o SUAVE 6 PULIDA 7 RUGOSA 8 LISA o SUAVE 9 PULIDA 10 RUGOSA 11 LISA o SUAVE 12 PULIDA									
												DUREZA (R)									
												R1: Se desmorona con golpes firmes, con la punta del martillo. Puede ser descascarillado con el cuchillo de bolsillo. R2: Se descascarilla con dificultad, con un cuchillo de bolsillo; indentado poco profundo con golpes firmes con la punta del martillo geólogo. R3: No se puede raspar o descascarillar con un cuchillo de bolsillo. El espécimen puede ser fracturado con un solo golpe firme de martillo. R4: El espécimen requiere más de un golpe de martillo para ser fracturado. R5: El espécimen es fracturado con muchos golpes de martillo. R6: El martillo produce solamente el descascarillado de la muestra. Sonido metálico al golpe.									

Figura 21. Estación geomecánica EG-01. Formato tomado de Ausenco Perú SRL, 2021.

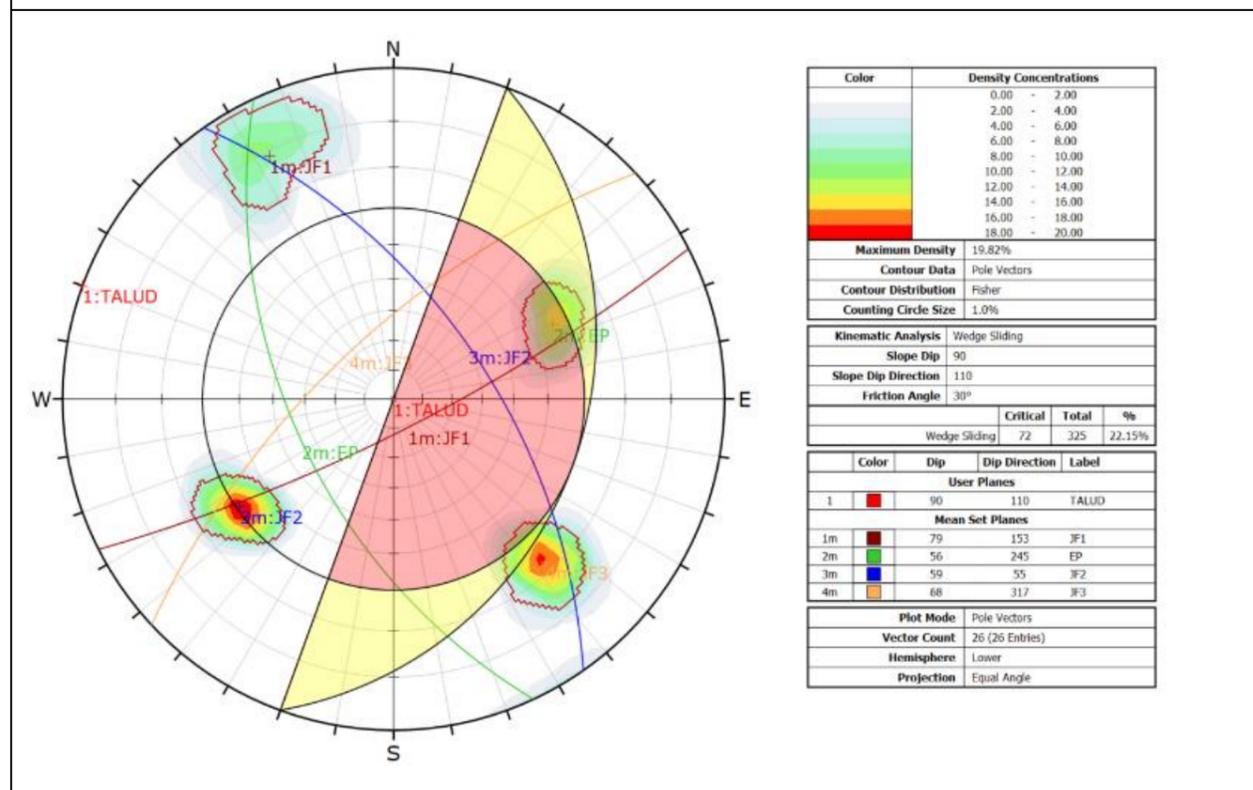
Tabla 29. Análisis cinemático de la EG-01.



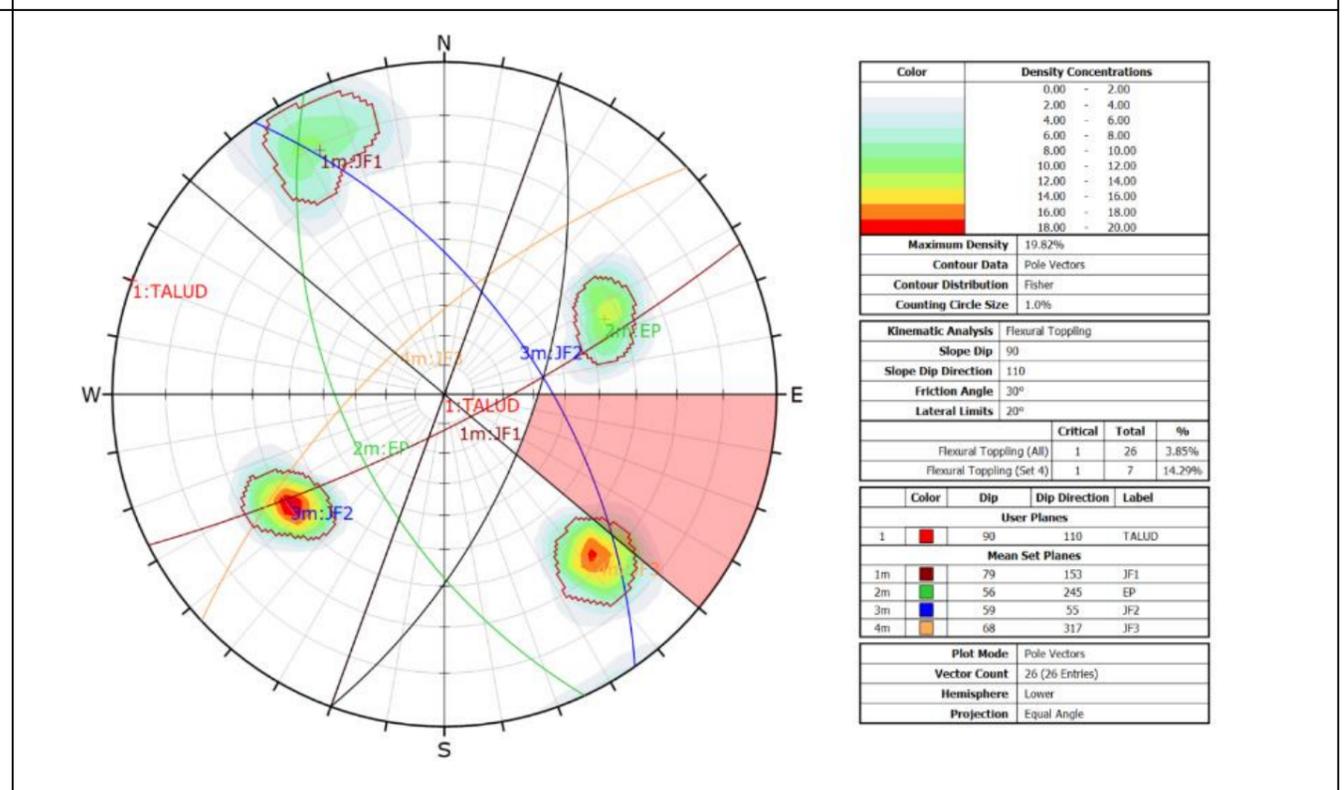
ESTEREOGRAFÍA DE LA EG-01



FALLA TIPO PLANAR: No se forma falla tipo planar.

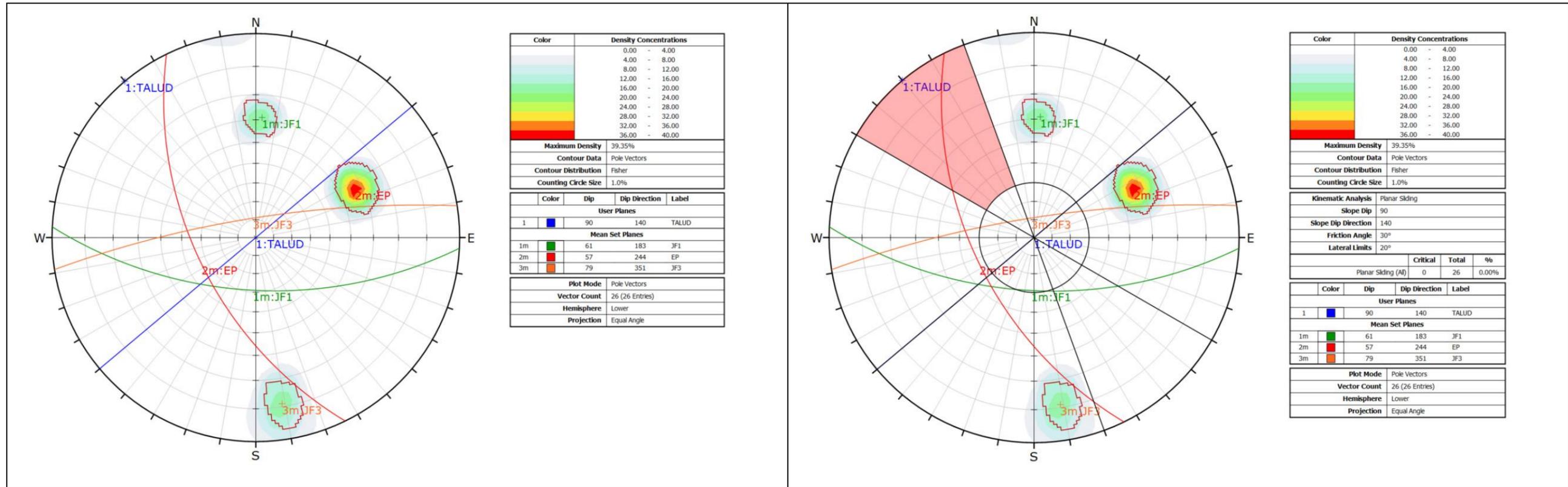


FALLA TIPO CUÑA: La cuña es formada por las juntas JF1 Y JF3.



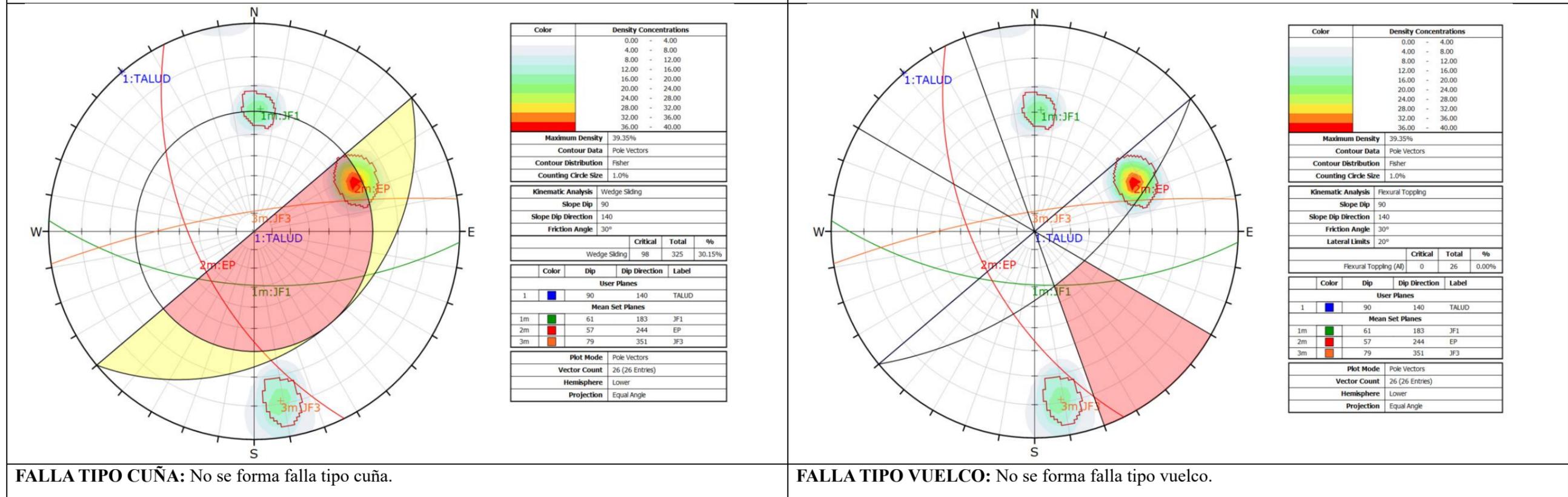
FALLA TIPO VUELCO: No se forma falla tipo vuelco.

Tabla 30. Análisis cinemático de la EG-02.



ESTEREOGRAFÍA DE LA EG-02

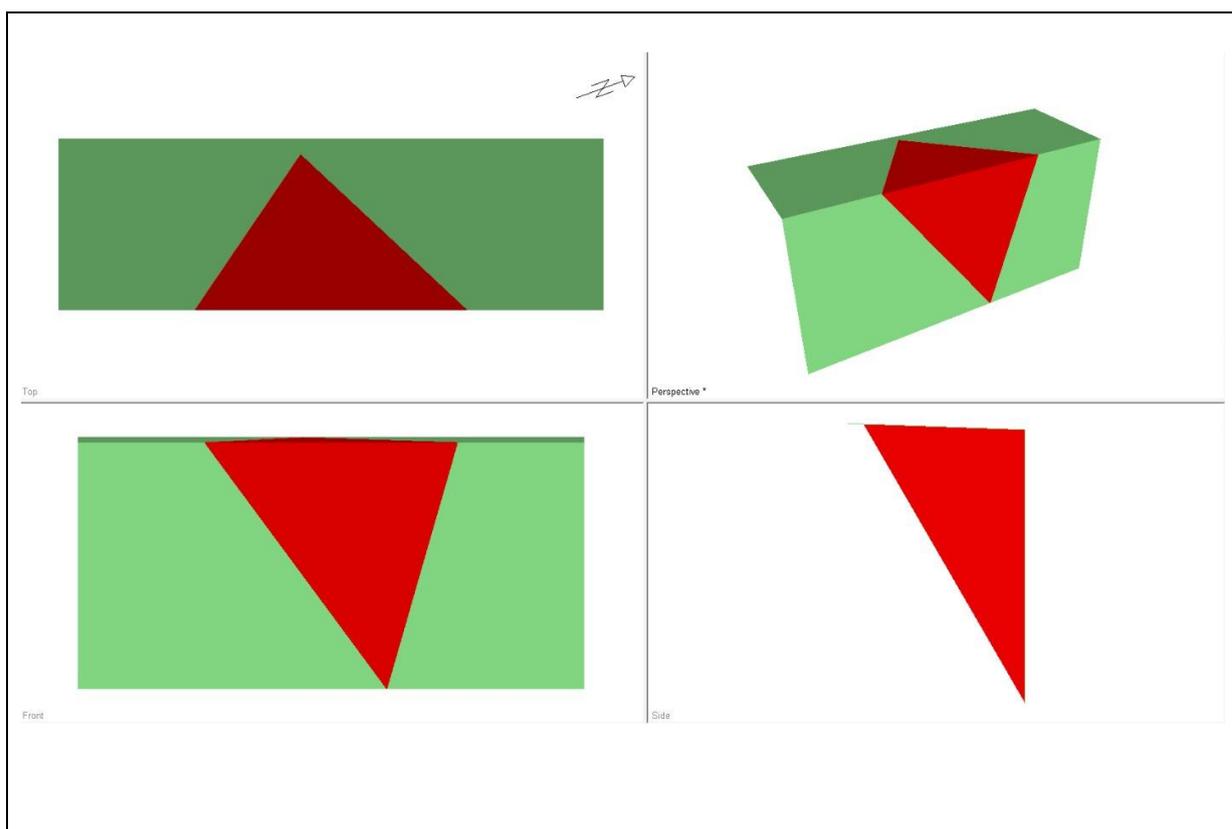
FALLA TIPO PLANAR: No se forma falla tipo planar.



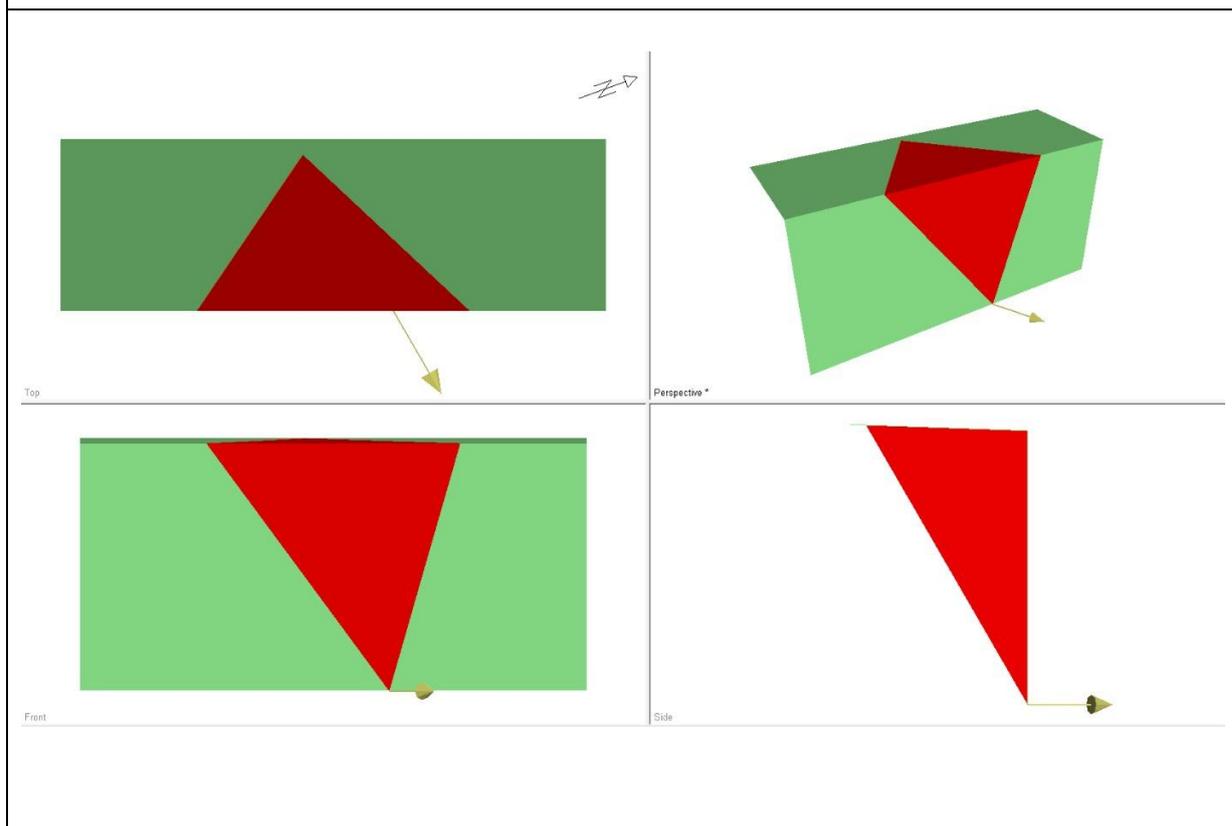
FALLA TIPO CUÑA: No se forma falla tipo cuña.

FALLA TIPO VUELCO: No se forma falla tipo vuelco.

Tabla 31. Análisis de estabilidad física de la cuña EG-01



Análisis estático: El factor de seguridad es 2.16.



Análisis pseudoestático: El factor de seguridad es 1.5.

4.3.3. Consideraciones para la construcción de las Cámaras de Salvataje

Las cámaras de salvataje deben de contar con lo siguiente:

- Un área mínima de 0.6 m² por persona y con una altura al menos de 2 m para que los trabajadores puedan estar cómodos.
- Las puertas deben ser herméticas y señalizadas con cinta reflectivas.
- Contar con suministros básicos de agua y alimentos para cada persona durante al menos 72 horas.
- Tener un botiquín de primeros auxilios con suministros médicos básicos y medicamentos de emergencia.
- Proveer asientos cómodos y camillas de emergencia.
- Contar con un sistema de comunicación de equipos de rescate o teléfonos conectados con la superficie.
- Incorporar equipos de extinción de incendios adecuados (extintores).
- Tener sistemas de suministro de aire comprimido o generadores de oxígeno durante 36 a 96 horas y también contar con filtros para remover partículas tóxicas o gases peligrosos.
- Estas cámaras de salvataje deben tener inspecciones regulares, donde se verifique periódicamente la integridad estructural, los sistemas de soporte vital y los suministros.
- Es importante que se realice simulacros para familiarizar a los trabajadores con el uso e importancia de la cámara de salvataje.



Foto 29. Cámara de salvataje 1: Ubicada en la zona Norte, tiene altura de 2.50 m y ancho 1.20m; el macizo rocoso es areniscas cuarzosas de buena calidad geomecánica (RMR₈₉ 69).



Foto 30. Cámara de salvataje 2: Ubicada en la zona Centro, tiene altura de 2.20 m y ancho 1.50m; el macizo rocoso es areniscas cuarzosas de buena calidad geomecánica (RMR₈₉ 72).

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.4.1. Análisis de las Mediciones del Caudal de Aire

Realizaremos el balance de aire con los datos obtenidos del caudal de ingreso y salida, asimismo calculamos la cobertura para la zona Norte, Centro y Sur. La cobertura de caudal de aire del sistema de ventilación es la relación que hay entre el caudal de aire disponible o que ingresa y el caudal de aire requerido, expresado en porcentaje.

Tabla 32. Balance de aire.

Caudal de aire	m ³ /min	CFM
Caudal de Ingreso	261.84	9 247.27
Caudal de Salida	251.84	8 893.85
Diferencia de caudal	10	353.42

Según el artículo 252 - c del Decreto Supremo N° 024-2016-EM la diferencia de caudales de aire entre el ingreso y salida de aire no debe exceder el 10 %. El sistema de ventilación actual registra un flujo de aire de entrada de 9 247.27 CFM y un flujo de aire de salida de 8 893.85 CFM. La diferencia de caudales es 353.42 CFM, el resultado cumple con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Tabla 33. Cobertura de aire en zona Norte.

Cobertura de aire	m³/min	CFM
Caudal de Ingreso	261.84	9 247.27
Caudal de Salida	251.84	8 893.85
Caudal Requerido	189.75	5 361
COBERTURA %	172%	

Según el análisis del sistema de ventilación, se tiene una cobertura de caudal de aire de 172%, lo cual es positivo para los trabajadores, ya que provee un margen de seguridad al tener más aire disponible del necesario en la zona Norte.

Tabla 34. Cobertura de aire en zona Centro.

Cobertura de aire	m³/min	CFM
Caudal de Ingreso	261.84	9 247.27
Caudal de Salida	251.84	8 893.85
Caudal Requerido	240.35	8 488.2
COBERTURA %	109%	

Según el análisis del sistema de ventilación, se tiene una cobertura de caudal de aire de 109%, lo cual es positivo para los trabajadores, ya que provee un margen de seguridad al tener más aire disponible del necesario en la zona Centro.

Tabla 35. Cobertura de aire en zona Sur.

Cobertura de aire	m³/min	CFM
Caudal de Ingreso	261.84	9 247.27
Caudal de Salida	251.84	8 893.85
Caudal Requerido	921.15	32 531.3
COBERTURA %	28%	

Según el análisis del sistema de ventilación, se tiene una cobertura de caudal de aire del 28%, siendo el caudal de aire es insuficiente, lo que dificulta e implica un riesgo para la seguridad de los trabajadores en la zona Sur.

4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Mediante la investigación se contrasto la hipótesis, lo cual afirma que tras evaluar el Sistema de Ventilación de la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 se tiene como resultado que la cobertura de aire en la zona Norte y Centro es superior al 100%, el cual garantiza una ventilación adecuada en todas las labores subterráneas, pero en la zona Sur presenta un déficit del 28% de aire, lo que significa que en esta área debe mejorar el circuito de ventilación. Para aumentar la cantidad de aire en la zona Sur se debe instalar 3 ventiladores enseriados (Ver plano, ANEXO 10) con una capacidad de 10 000 CFM y tener un caudal de 30 000 CFM más 9 247.27 CFM del caudal de ingreso, para una cobertura de caudal de aire mayor al 100% en la zona Sur y así garantizar la seguridad y eficiencia operativa evitando generar problemas que pueden afectar la seguridad, la salud de los trabajadores y la operación de la mina.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El sistema de ventilación tiene un caudal de ingreso de aire de 9 247.27 CFM y un caudal de salida de aire de 8 893.85 CFM, teniendo una diferencia de caudales de 353.42 CFM el cual no excede el 10%; las zonas Norte y Centro cumplen con el requerimiento de caudal de aire, con coberturas de 172% y 109% respectivamente; en cambio, la zona Sur tiene cobertura de caudal de aire al 28% incumpliendo con los requerimientos para realizar trabajos subterráneos. De acuerdo con el formato de verificación del DS 024-2016-EM, la Mina Nueva Esperanza - Nivel 2 cumple 3 artículos al 100% y 4 artículos del 0% al 72%.

Se ha identificado como áreas de mejora en el sistema de ventilación la colocación de 3 ventiladores enseriados de potencia 20 Hp y 10 000 CFM de caudal, que va desde la conexión del Nv. 2880 y Nv. 3060 hasta el ventilador ubicado antes de la veta Lucy; con esta propuesta el caudal de ingreso para la zona Sur sería 39 247.27 CFM logrando una cobertura de aire del 120%, siendo positivo para el desarrollo de los trabajos subterráneos.

Las estrategias para mejorar el sistema de ventilación es la colocación de dos cámaras de salvataje con dimensiones de 2.50 x 1.20 m y de 2.20 x 1.50 m. en la zona Norte y Centro, donde se tiene ventilación eficiente, se encuentran cercanas a las áreas de trabajo y la calidad geomecánica de macizo rocoso bueno con valorización RMR89 de 69 y 73.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda al área de Operaciones Mina y SSOMA programar el mantenimiento preventivo a los ventiladores y mangas de ventilación por personal competente para tener un mejor flujo de aire para toda la mina.

Se recomienda realizar una investigación para medir el grado de toxicidad de los gases presentes en las labores de los Nv. 2880 y Nv. 3060 en base a los límites máximos permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de trabajo, aprobado por el Decreto Supremo N.º 015-2005-SA.

Se recomienda realizar estudios sobre Modelado y simulación de flujos de aire utilizando el software Ventsim.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Rojas, K. O. 2023. Evaluación del sistema de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM, en mina de Huarochirí, Lima 2022. . Cajamarca - Perú.
- Avalos Lloclla, R. 2021. Evaluación del Sistema de Ventilación para el Diseño del circuito principal en la Mina Esperanza - U.M San Juan de Arequipa. Cusco - Perú.
- Belle, B. 2013. Sistemas y prácticas de ventilación en minas subterráneas. Revista Internacional de Minería, Recuperación y Medio Ambiente.
- Carrascal Buelvas, A. A.; Manzur Ámel, C. A. (2014). Evaluación y propuesta del mejoramiento de la Ventilación para la Mina El Maracaibo. Boyacá, Colombia.
- Castillo Aranguren , D. R. 2017. Evaluación del Sistema de Ventilación de la mina el Roble. Sogamoso - Colombia.
- Centro Nacional Minero, S. 1987. Bloque Modular 1 - Ventilación de Minas. Sogamoso - Boyacá.
- Chacha Borja, D. R. 2016. Sistema de Ventilación para labores subterráneas de la empresa Produmin S.A. Macas - Ecuador.
- Chapman y Hall Joy, J. 2004. Occupational safety risk management in Australian mining. Journal of Health and Safety Research and Practice.
- De Souza, E. 2014. Ventilación en minas subterráneas: Directrices prácticas para la gestión de sistemas de ventilación en minas. Journal of Mining and Safety.
- Escobar Gonzales , B. A.; Rodas Espiche, G. C. 2020. Evaluación del Sistema de Ventilación en la Minera Artesanal Subterránea de Algamarca, Cajabamba. . Chiclayo - Perú.
- Espiche, B. A. 2020. Evaluación del Sistema de Ventilación en la Minera Artesanal. Chiclayo - Perú.

- García Agama , E. E. 2016 . Evaluación de la situación actual del Sistema de Ventilación y Propuesta para su Optimización en Mina Subterránea Carbonífera Mi Grimaldina I - Cajamarca - 2016. Cajamarca - Perú.
- González. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Granda, F. A. 2019. Diseño de Chimeneas gemelas para mejorar la Ventilación en los Niveles 1790-2050 Veta Paula Cia Minería Yanaquihua. Arequipa - Perú.
- Gutiérrez, G. 2021. Manga de Ventilación.
- HCA Minería. 2023. Obtenido de <https://hcamineria.cl/>.
- Herrera, J. 2019. Introducción a la Minería Subterránea. Madrid.
- Lloclla, R. A. 2021. Evaluación del Sistema de Ventilación para el Diseño del circuito principal en la mina Esperanza – U. M. San Juan de Arequipa. Cusco - Perú.
- Macukachi, R. E. 2018. Propuesta técnica de mejora del Sistema de Ventilación principal de una operación minera subterránea Polimetálica - 2015. Lima - Perú.
- Marquina, L. R. 2019. Influencia del Sistema de Ventilación en la rampa Patrick - Profundización entre los niveles 2,470 al 2,240 en una mina subterránea en Pataz - La Libertad 2018. Trujillo - Perú.
- McPherson, M. 1993. Ventilación subterránea e ingeniería ambiental.
- MINEM. 2016. D.S. 023-2017-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Lima, Perú.
- MINEM. 2017. D.S. 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Lima, Perú.
- Osinermin. 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Magdalena del Mar, Lima, Perú.: INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- Osinermin. 2020. Boletín Informativo de la Gerencia de Supervisión Minera.

- Portilla Salazar , R. E.; Velarte Macukachi , B. P. 2018. Propuesta técnica de Mejora del Sistema de Ventilación Principal de una operación minera subterránea polimetálica. Lima.
- Potvin, Y. 2009. Alternativas de refugio: investigación, recomendaciones y despliegue subterráneo.
- Quispe, P. 2019. Ventilación de Minas Subterráneas Natural y Mecánica.
- Raico Tasilla, A. 2019. Evaluación y Optimización del Sistema de Ventilación del Tunel de Exploración Chaquicocha Nivel 3750 - Minera Yanacocha, 2018. . Cajamarca - Perú.
- Rojas, K. O. 2023. Evaluación del sistema de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM, en una mina de Huarochirí, Lima 2022. Cajamarca - Perú.
- SENAMHI. 2023. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0274>
- SERNAGEOMIN. 2008. Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas. Consultado el 03 may. 2019. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>.
- Zavala Almerco , L. E. 2022. Evaluación del Sistema de Ventilación para mejorar deficiencia de aire en Mina Antapite de empresa Sierra Antapite S.A.C. Huancayo-Perú.
- Zitrón. 2010. Ventilación de Minas. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-ingenieria/mineria/ventilacion-de-minas-zitron-2010/27145029>.

ANEXOS

A. Formatos

Formato de verificación de acuerdo Al DS 024-2016-EM con su modificatoria del DS 023-2017-EM.

B. Planos

Plano 01: Ubicación de La Mina Nueva Esperanza - Nivel 2.

Plano 02: Plano Geológico.

Plano 03: Labores Mina.

Plano 04: Estaciones de Monitoreo.

Plano 05: Sistema de Ventilación actual – general.

Plano 06: Sistema de Ventilación actual - Zona Norte.

Plano 07: Sistema de Ventilación actual - general Centro.

Plano 08: Sistema de Ventilación actual - general Sur.

Plano 09: Sistema de Ventilación Propuesto.

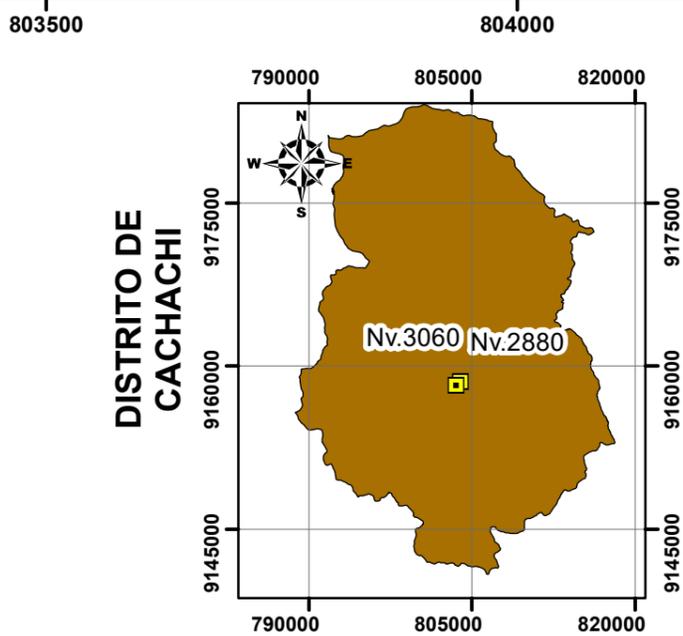
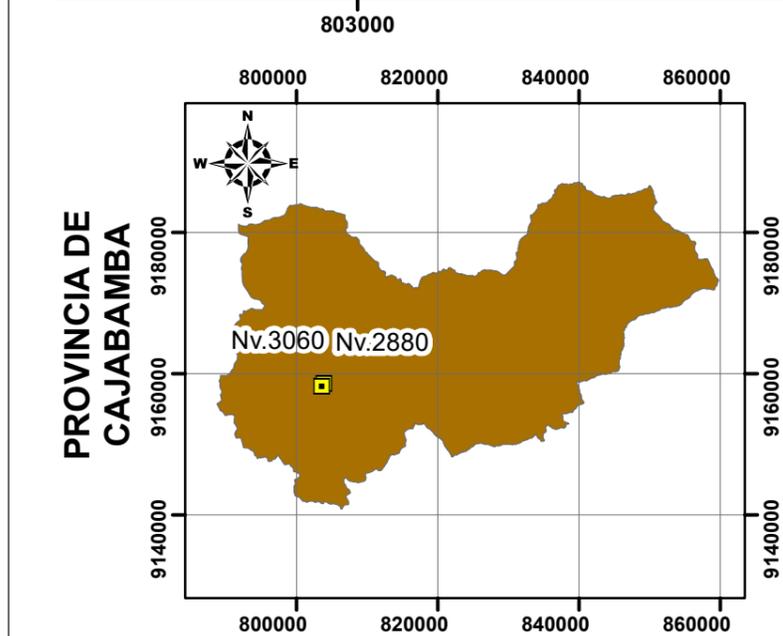
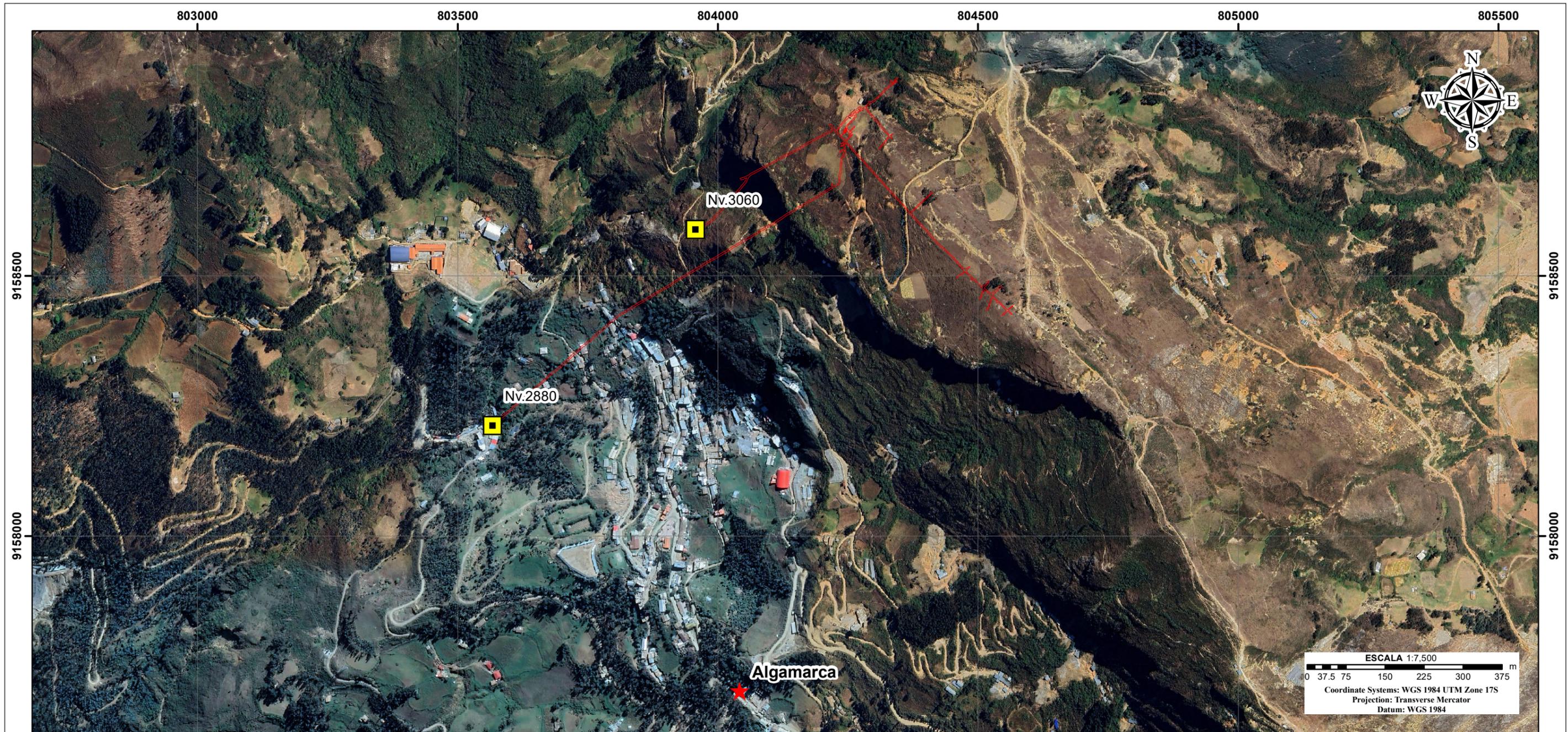
Plano 10: Cámaras de Ventilación.

DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM		
TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN		
ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
	<p>El titular de actividad minera debe garantizar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.</p> <p>Cualquier sistema de ventilación en la minería debe asegurar que la calidad del aire se mantenga dentro de los límites establecidos para la exposición ocupacional a agentes químicos, según lo indicado en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo. Asimismo, debe cumplir con los siguientes requisitos:</p>	
	a) Antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deben realizarse mediciones de gases de CO, CO ₂ , NO ₂ , O ₂ y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento y al uso de explosivos. Estos resultados deben ser registrados y comunicados a los trabajadores que ingresarán a dicha labor.	NO (Solo se ventila)
	b) En todas las labores subterráneas se debe tener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % de oxígeno.	SI
	c) Las labores de entrada y salida de aire deben ser completamente independientes. El circuito general de ventilación debe dividirse dentro de la mina en ramales, de manera que todas las áreas de trabajo reciban su cantidad proporcional de aire fresco, evitando cualquier tipo de recirculación.	SI
246	d) Cuando la ventilación natural no pueda cumplir con los artículos precedentes, debe emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.	SI

DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM		
TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN		
ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
246	e) Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del aire. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado.	SI
	f) En las labores que cuenten con una sola vía de acceso y un avance superior a 60 m, es obligatorio utilizar ventiladores auxiliares. Para avances menores a 60 m, también se deben emplear ventiladores auxiliares cuando las condiciones ambientales lo requieran. En las actividades de desarrollo y preparación, las mangas de ventilación deben colocarse a una distancia no mayor de 15 m del frente de disparo.	SI
	g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se deben efectuar taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos 10 m de avance.	NO
249	Se toman todas las providencias del caso para evitar el deterioro y la interrupción del funcionamiento de los ventiladores principales, los cuales deben cumplir con las siguientes condiciones:	
	1. Ser instalados en casetas incombustibles y resguardadas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños. Los ventiladores en superficie, así como las instalaciones eléctricas deben contar con cercos perimétricos adecuados para evitar el acceso de personas extrañas.	NO
	2. Contar con al menos dos (2) fuentes de energía eléctrica independientes, las cuales, en la medida de lo posible, deben ser suministradas a través de rutas diferentes.	NO (Solo se tiene una fuente)

DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM		
TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN		
ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
249	3. Estar provistos de silenciadores para reducir el ruido en las áreas de trabajo o en zonas pobladas, donde pudiera afectar la salud de las personas.	NO
	4. Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para caso de paradas.	NO
	5. Cumplir estrictamente las especificaciones técnicas dispuestas por el fabricante para el mantenimiento preventivo y correctivo de los ventiladores.	SI
251	<p>Para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2 831 metros cúbicos por minuto (o 100 000 pies cúbicos por minuto), se deben instalar paneles de control que faciliten el monitoreo de su operación, la regulación a los parámetros necesarios, la emisión de señales de alarma en caso de paradas, y el arranque automático de los equipos de emergencia si ocurre un corte de energía.</p> <p>En el caso de los ventiladores extractores de aire utilizado, el monitoreo también incluirá la medición de gases como monóxido de carbono, gases nitrosos, oxígeno y la temperatura en el aire circulante.</p>	NO (Se tiene ventiladores no mayor de 20 Hp)
252	Se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando. La evaluación integral de ventilación debe considerar:	
	a) Ubicación de estaciones de control de ventilación.	SI
	b) Circuitos de aire de la mina.	SI
	c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el 10 %.	SI
	f) Cobertura de la demanda de aire de la mina con el aire que ingresa a la misma.	SI

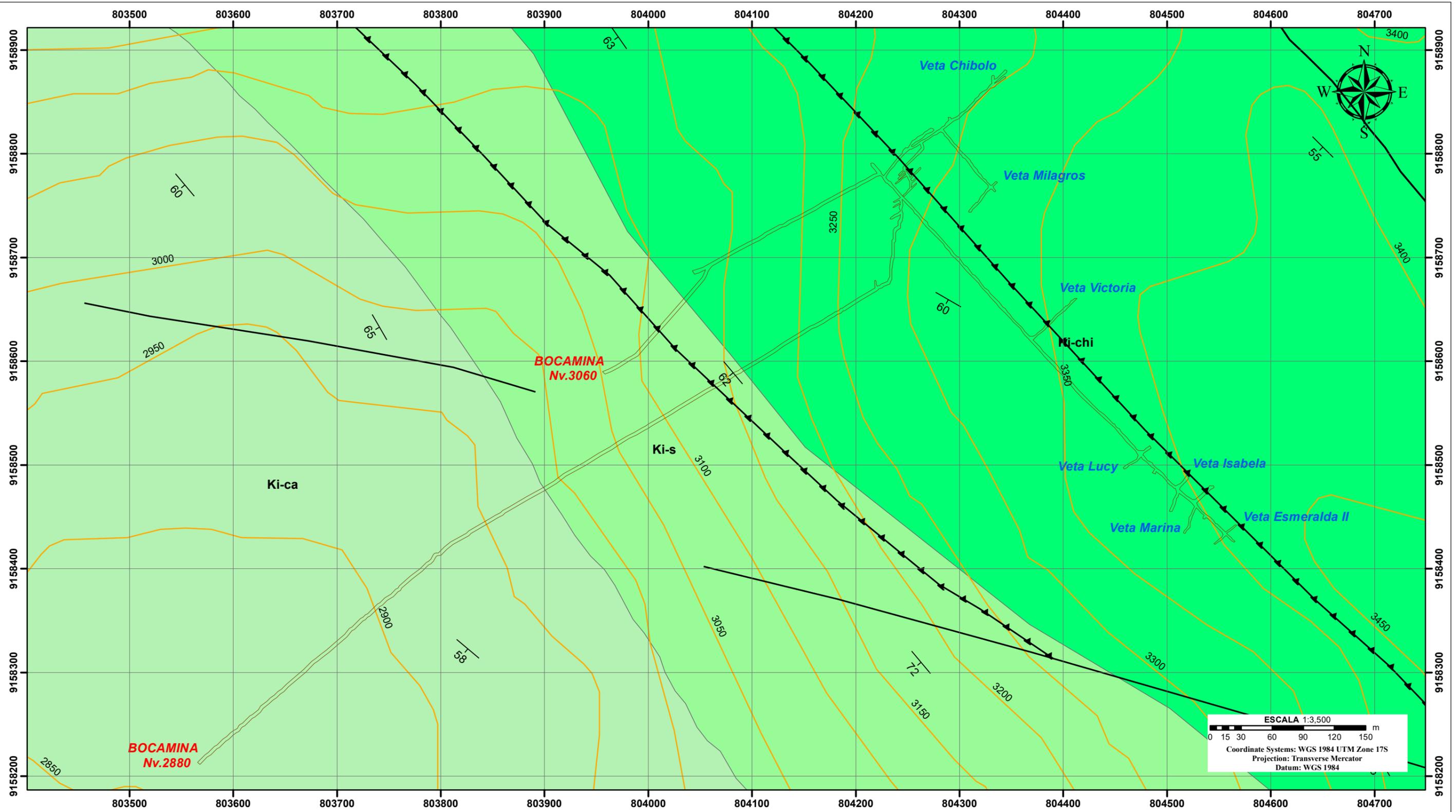
DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM CON SU MODIFICATORIA DEL DECRETO SUPREMO N° 023-2017-EM		
TÍTULO IV - CAPITULO I – SUBCAPÍTULO VIII - VENTILACIÓN		
ART.	PRESCRIBE	CUMPLIMIENTO
252	g) Cobertura de las demandas de aire en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la mina.	SI
	h) Mediciones de O ₂ , CO ₂ , gases tóxicos y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.	SI
	i) Ubicación de ventiladores, indicando capacidad de diseño y operación.	SI
	j) Disponibilidad de las curvas de rendimiento de los ventiladores.	NO
	k) Planos de ventilación de la mina, indicando los circuitos de aire y estaciones de control, ubicación de ventiladores, puertas de ventilación, tapones y otros.	SI
255	En toda mina subterránea, donde se utilicen explosivos y equipos con motores petroleros, el titular de actividad minera debe proveer a sus trabajadores el respirador de auto rescate para su protección contra gases de monóxido de carbono, en función a la evaluación de riesgo de los trabajos a realizarse.	SI
256	En las labores mineras subterráneas donde haya liberación de gases o labores abandonadas gaseadas deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad:	
	a) Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.	SI
	b) Clausurar las labores por medio de puertas o tapones herméticos que impidan el escape de gases y señalizarlos para evitar el ingreso de personas.	SI
257	La sala o estación de carguío de baterías, deberán estar bien ventiladas con un volumen suficiente de aire para prevenir la acumulación de gas hidrógeno. La sala o estación debe tener avisos de prohibición de fumar y del uso de llamas abiertas.	SI
TOTAL DE CUMPLIMIENTOS		19
TOTAL DE “NO” CUMPLIMIENTOS		7



LEYENDA

- ★ Algamarca
- Carretera
- Topografía mina
- Nv.2880
- Nv.3060

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 01
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Ubicación	ESCALA: 1/ 7500	Cajamarca, mayo del 2025



LEYENDA

Geología

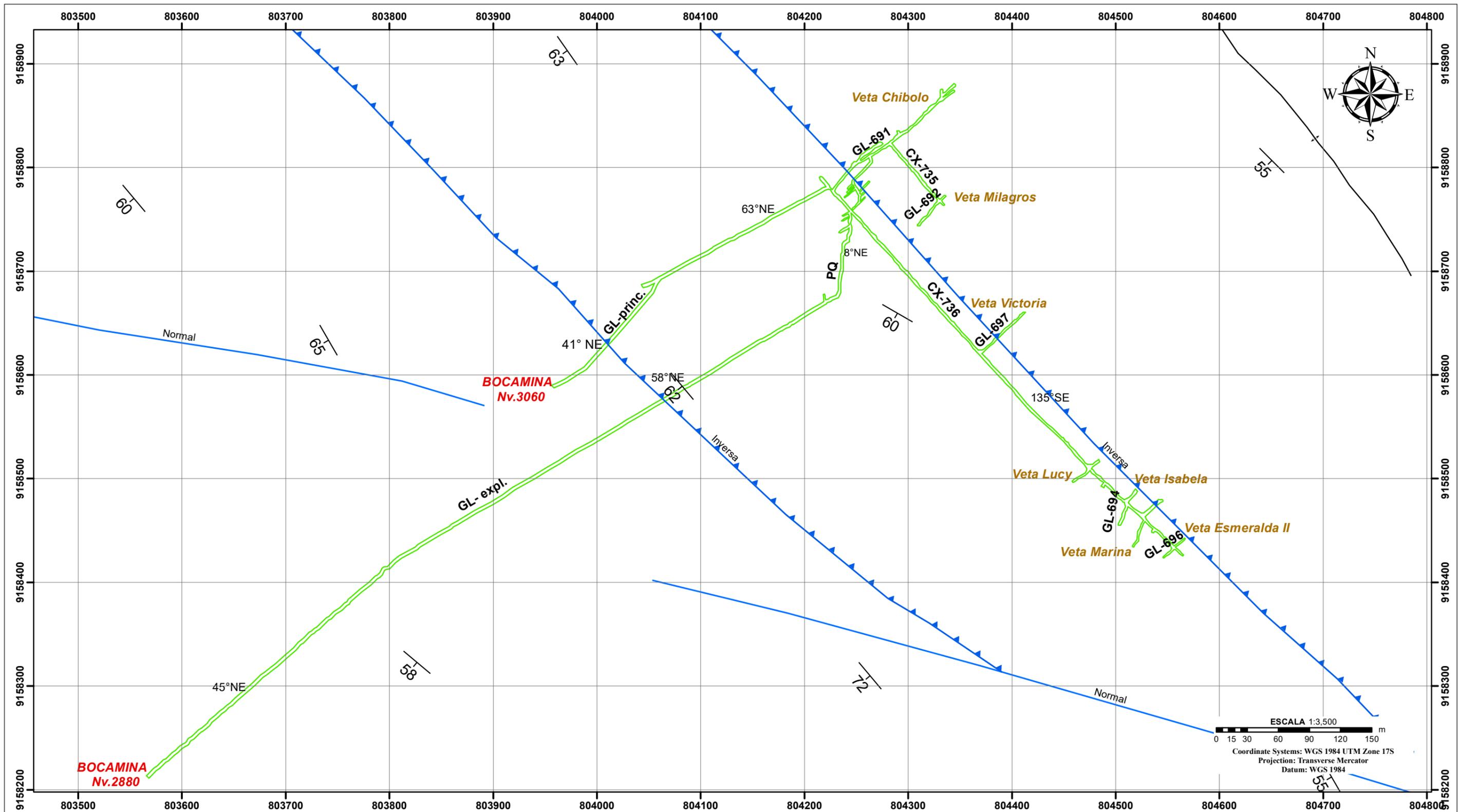
	Formación Carhuaz
	Formación Santa
	Formación Chimú

SIMBOLOGÍA

	Fallas Inversa		Topografía mina
	Fallas Normal		Curvas de nivel
	Pliegue		

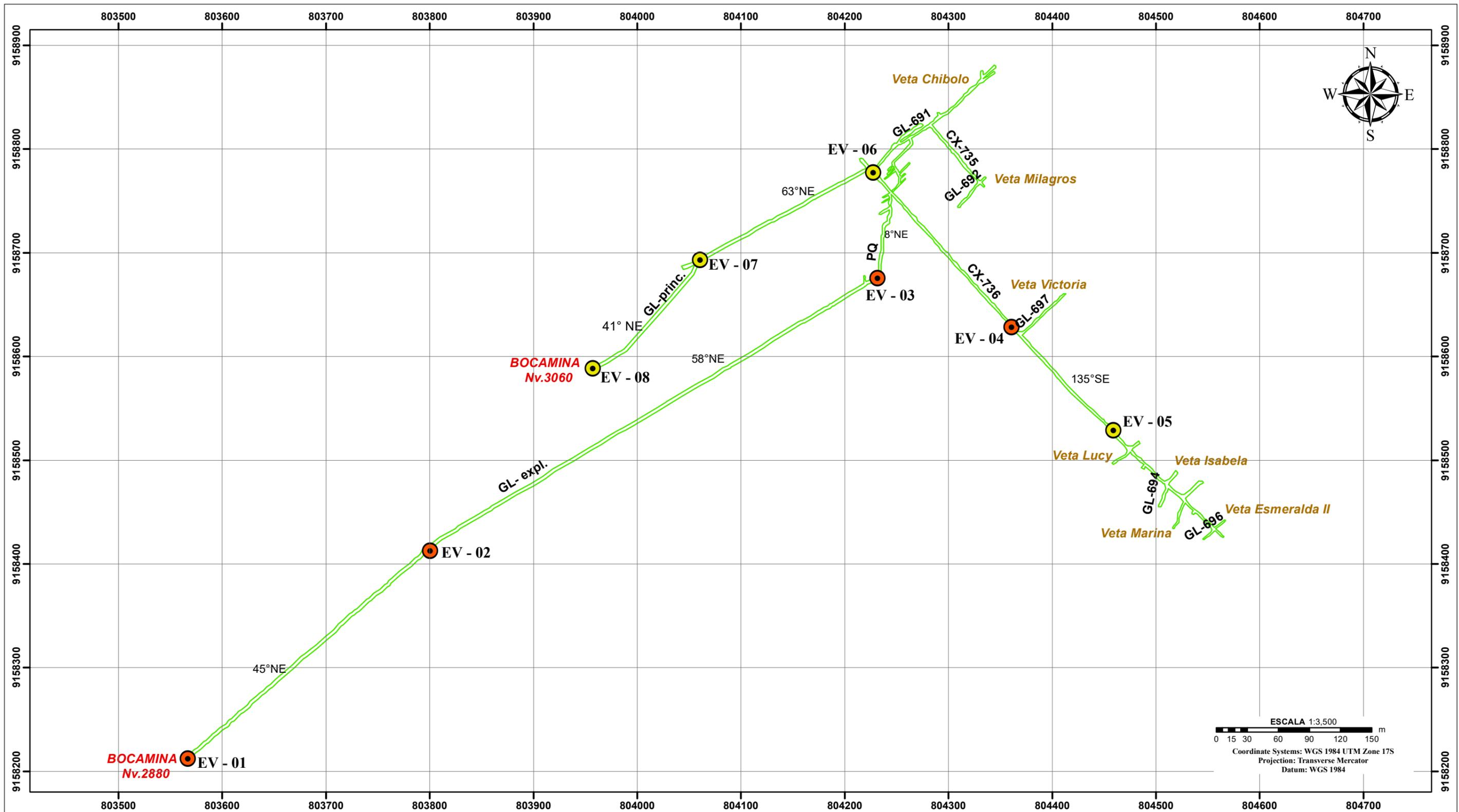
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas</p>	
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca
PLANO: Geológico	ESCALA: 1/ 3500
Cajamarca, mayo del 2025	

N° PLANO **02**



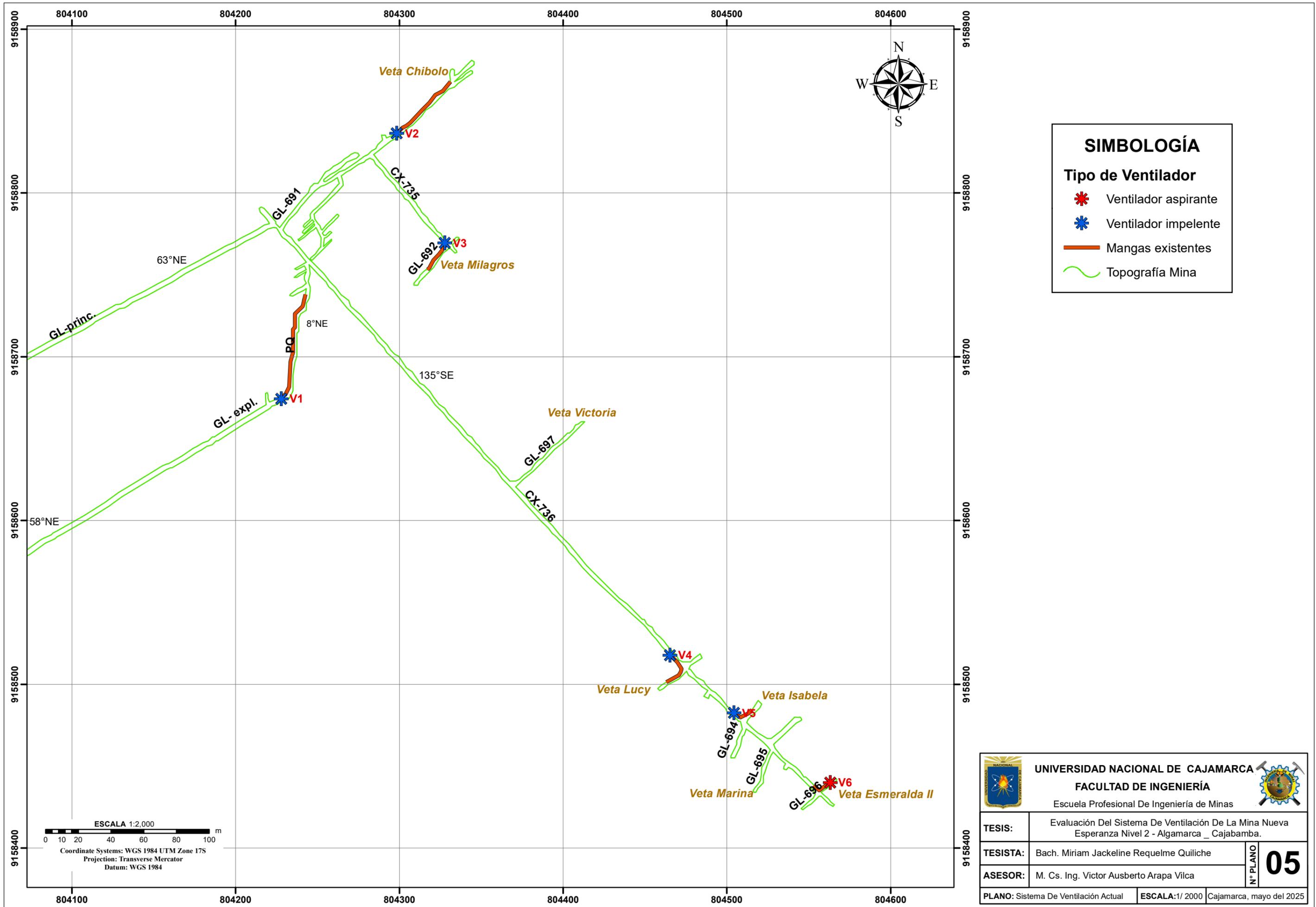
SIMBOLOGÍA	
	Topografía Mina
	Inversa
	Pliegue
	Normal
Fallas	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 03
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO:	Labores Mina	ESCALA: 1/ 3500
Cajamarca, mayo del 2025		



SIMBOLOGÍA	
	Estación-Salida de aire
	Estación_Ingreso de Aire
	Topografía Mina

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 04
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Estaciones de monitoreo	ESCALA: 1/ 3500	Cajamarca, mayo del 2025



SIMBOLOGÍA

Tipo de Ventilador

- ★ Ventilador aspirante
- ★ Ventilador impelente
- Mangas existentes
- Topografía Mina

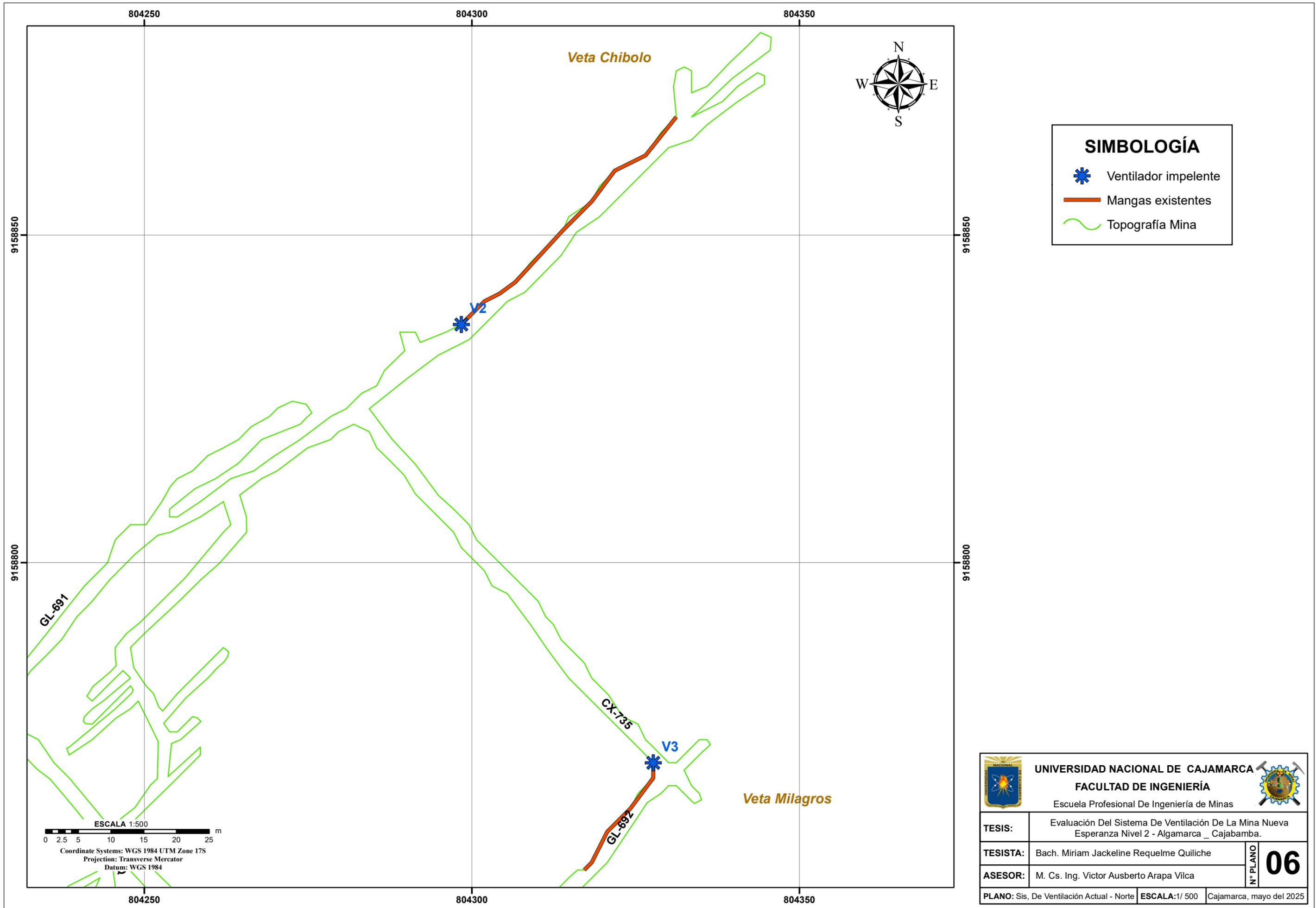
ESCALA 1:2,000

0 10 20 40 60 80 100 m

Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Sistema De Ventilación Actual		ESCALA: 1/ 2000
		Cajamarca, mayo del 2025

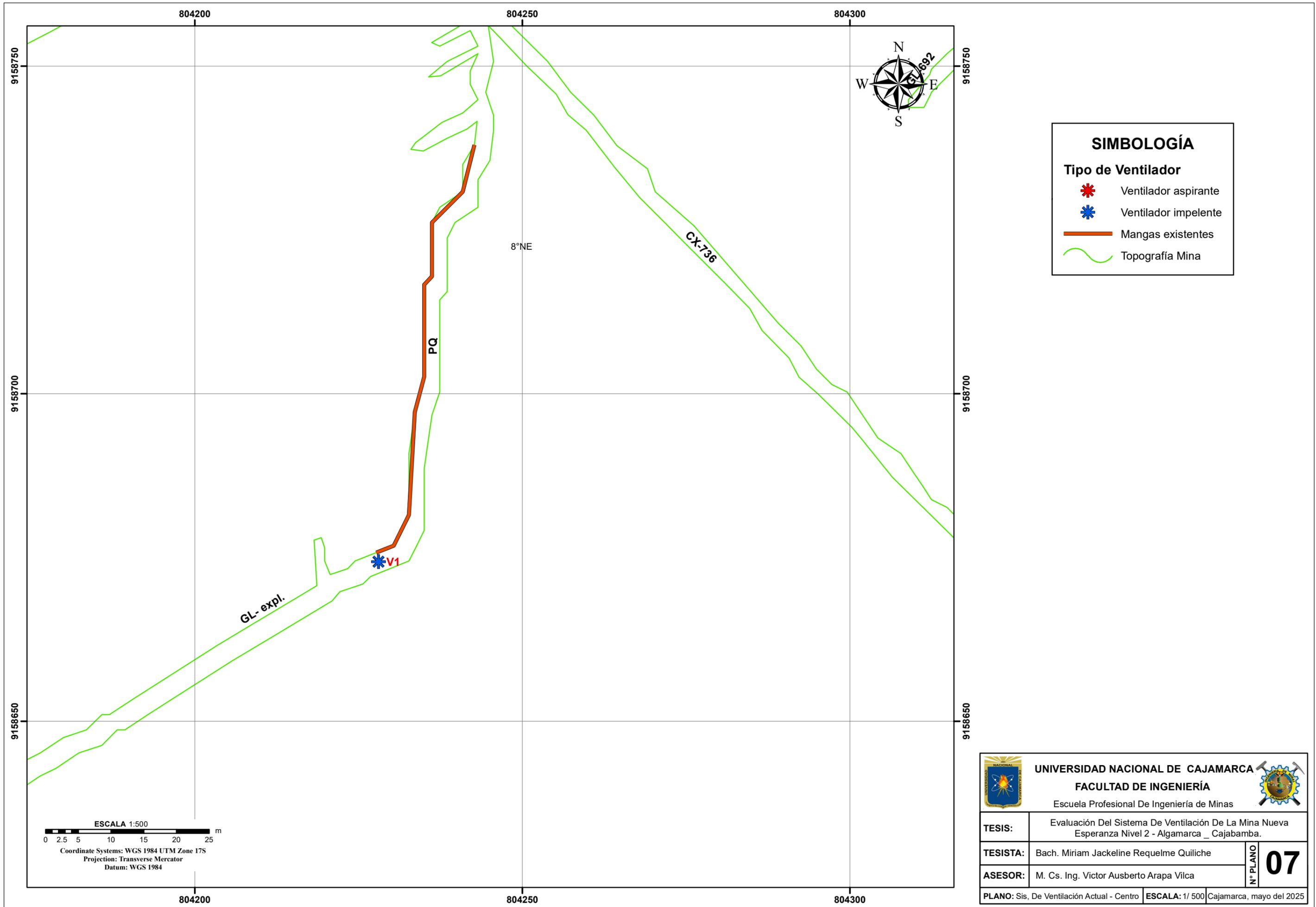
N° PLANO **05**



SIMBOLOGÍA

-  Ventilador impelente
-  Mangas existentes
-  Topografía Mina

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 06
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Sis, De Ventilación Actual - Norte		ESCALA: 1/ 500
Cajamarca, mayo del 2025		

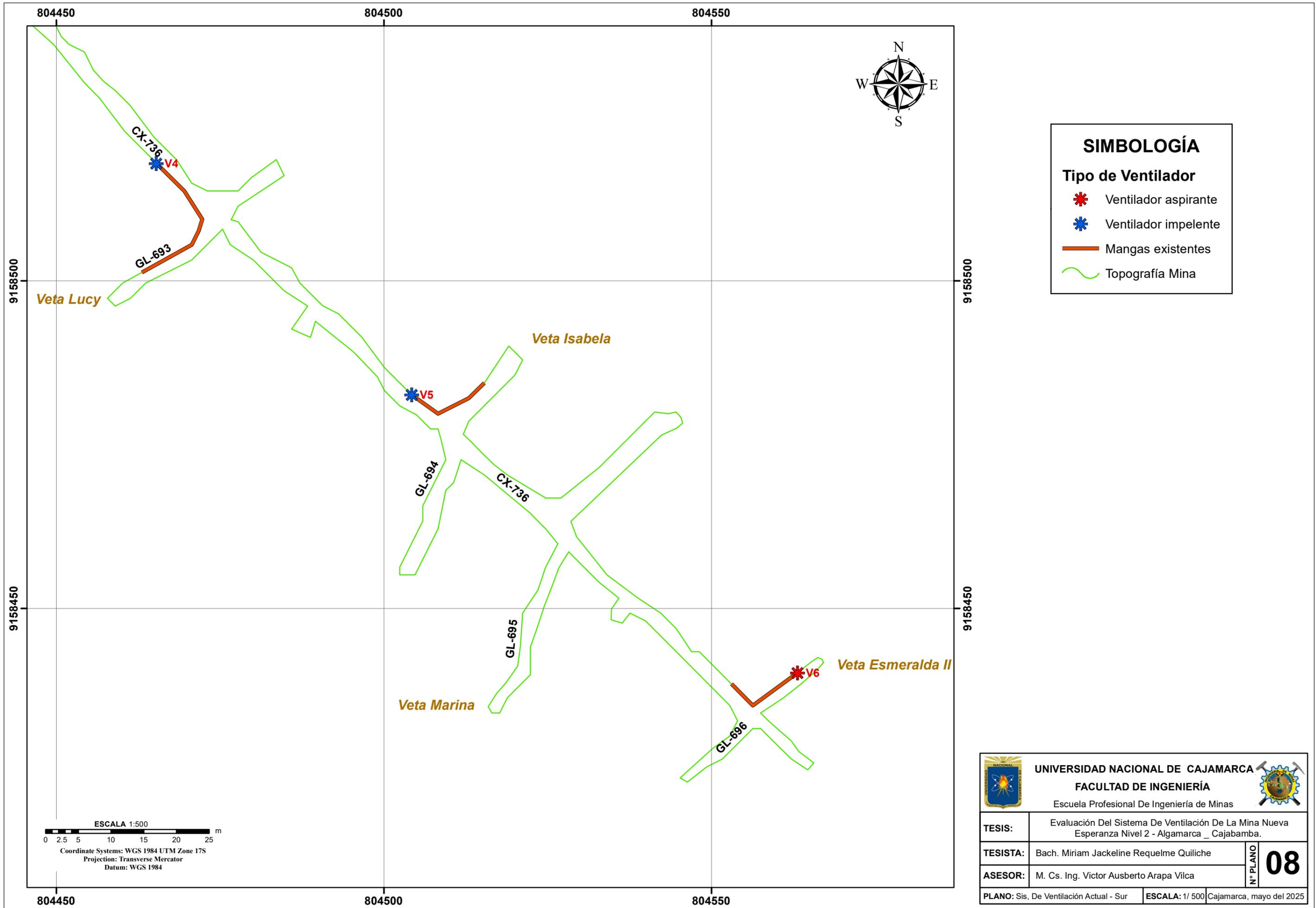


SIMBOLOGÍA

Tipo de Ventilador

-  Ventilador aspirante
-  Ventilador impelente
-  Mangas existentes
-  Topografía Mina

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 07
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Sis. De Ventilación Actual - Centro		ESCALA: 1/ 500 Cajamarca, mayo del 2025



SIMBOLOGÍA

Tipo de Ventilador

-  Ventilador aspirante
-  Ventilador impelente
-  Mangas existentes
-  Topografía Mina

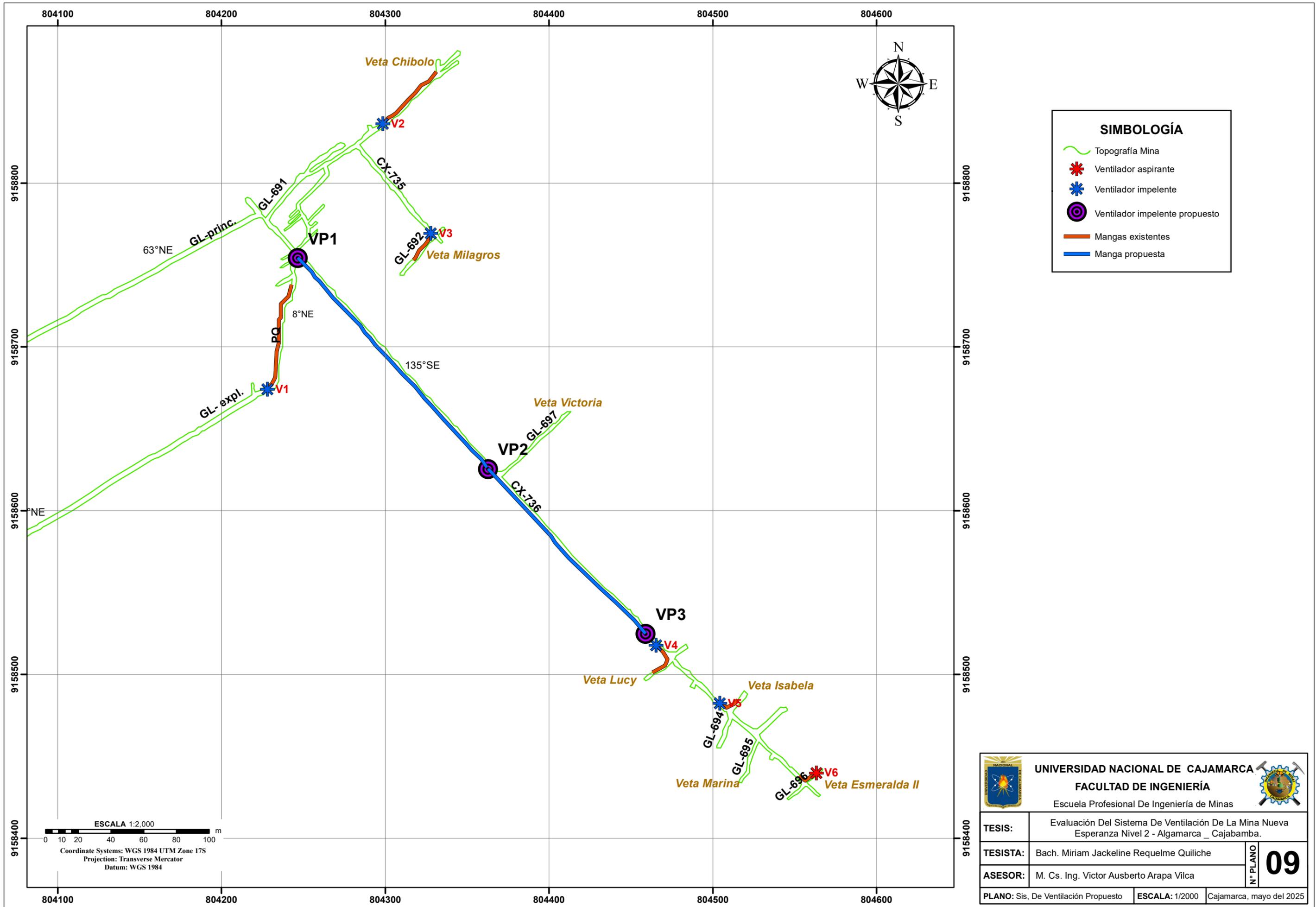


ESCALA 1:500



Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 08
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Sis. De Ventilación Actual - Sur		ESCALA: 1/ 500 Cajamarca, mayo del 2025



SIMBOLOGÍA

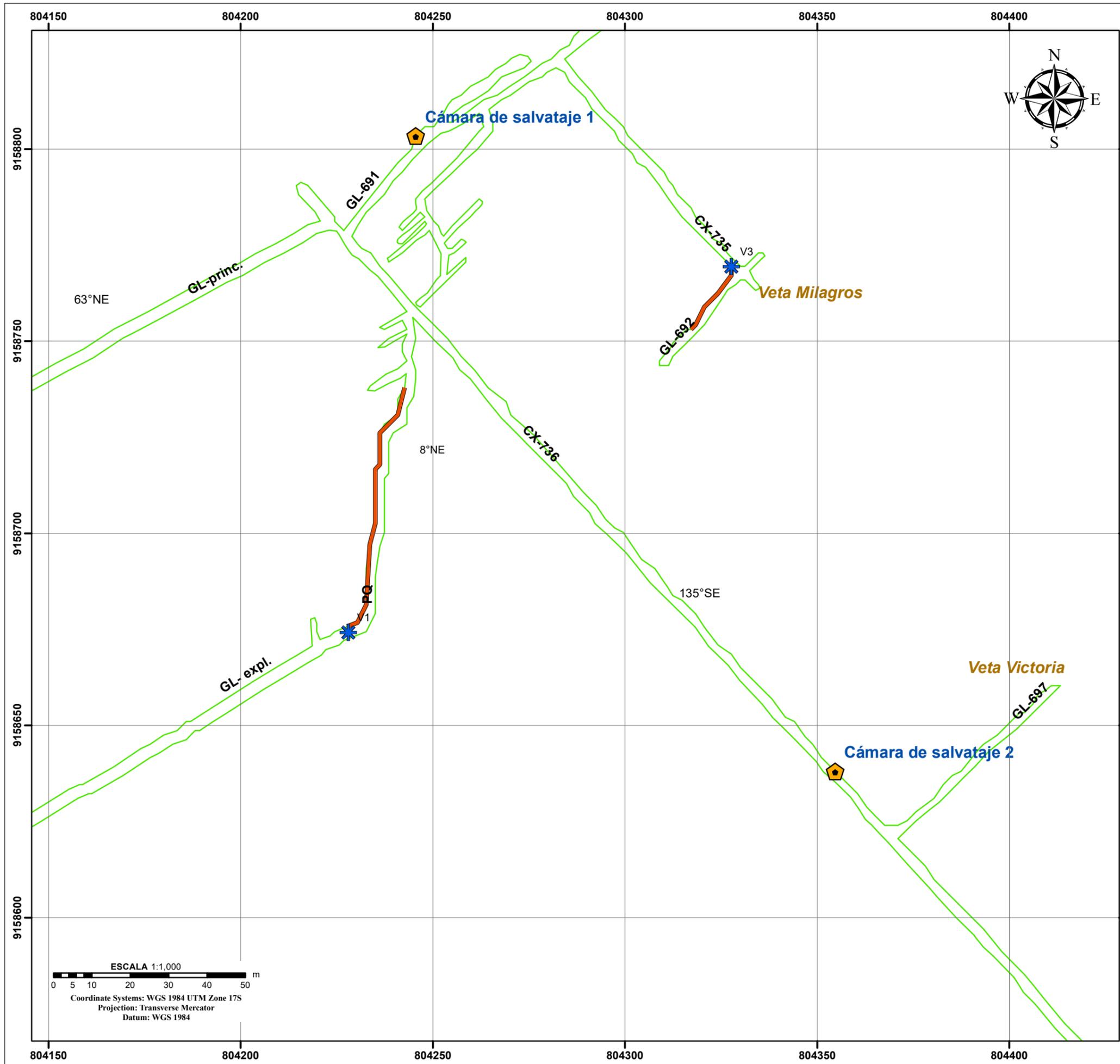
- Topografía Mina
- Ventilador aspirante
- Ventilador impelente
- Ventilador impelente propuesto
- Mangas existentes
- Manga propuesta

ESCALA 1:2,000

0 10 20 40 60 80 100 m

Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 09
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Sis. De Ventilación Propuesto		ESCALA: 1/2000
Cajamarca, mayo del 2025		



SIMBOLOGÍA

-  Cámaras de salvataje
-  Ventilador impelente
-  Mangas existentes
-  Topografía Mina

ESCALA 1:1,000



Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional De Ingeniería de Minas		
TESIS:	Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Nueva Esperanza Nivel 2 - Algamarca _ Cajabamba.	
TESISTA:	Bach. Miriam Jackeline Requelme Quiliche	N° PLANO 10
ASESOR:	M. Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca	
PLANO: Cámaras De Salvataje		ESCALA: 1/1000
Cajamarca, mayo del 2025		