UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

ANÁLISIS DE CONTROL ESTRUCTURAL EN LA FORMACIÓN DE VETAS EN LA MINA TANGANA, DISTRITO DE HUACHOCOLPA – HUANCAVELICA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

Autor:

Bach. VASQUEZ RUIZ MARCOS RAUL

Asesor: MCs. Ing. ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO

> Cajamarca – Perú 2025



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. 2. 3.	Investigador DNI Escuela Profes	ional	: Vasquez Ruiz : 77596257 : Ingeniería Ge	Marcos eológica	Raul	
4.	Asesor Facultad		: Victor Ausbe : Ingeniería	rto Arapa	a Vilca	
5.	Grado académ	ico o título profe	esional			
	□Bachiller	Título prof	esional	□Segu	nda especialidad	
	□Maestro	Doctor				
6.	Tipo de Investi	igación:				
	Tesis	🗆 Trabajo de ir	nvestigación	🗆 Trab	ajo de suficiencia profesion	al
	🗆 Trabajo aca	démico				
1.	Título de Traba	ajo de Investigac	ión: ANÁLISIS (DE CONTI	ROL ESTRUCTURAL EN LA FO	DRMACIÓN
	DE VETAS EN L	A MINA TANGA	NA, DISTRITO D	DE HUAC	HOCOLPA - HUANCAVELIC	A.
2.	Fecha de evalu	lación	: 05 de	enero 2	025	
3.	Software antip	olagio:	TURNITIN		URKUND (OURIGINAL)	(*)
4.	Porcentaje de	Informe de Simi	litud : 6%			
5.	Código Docum	ento	: Oid: 1	3117:419	412263	
6.	Resultado de l	a Evaluación de	Similitud:			
	APROBADO	🗆 PARA LEVAN	ITAMIENTO DE	OBSERV	ACIONES O DESAPROBADO)

Fecha Emisión : 06 de enero 2025

102	Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 06/01/2025 11:11:52-0500
FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Victor Ausberto Arapa Vilca	UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
DNI : 29552145	

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana" Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962 FACULTAD DE INGENIERÍA



Teléf. Nº 365976 Anexo Nº 1129-1130

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "ANÁLISIS DE CONTROL ESTRUCTURAL EN LA FORMACIÓN DE VETAS EN LA MINA TANGANA, DISTRITO DE HUACHOCOLPA - HUANCAVELICA"

ASESOR : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple Nº 0173-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 05 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **nueve días del mes de mayo de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4) – 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente	: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal	: Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario	: M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "ANÁLISIS DE CONTROL ESTRUCTURAL EN LA FORMACIÓN DE VETAS EN LA MINA TANGANA, DISTRITO DE HUACHOCOLPA -HUANCAVELICA" presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica MARCOS RAUL VASQUEZ RUIZ, asesorado por el M.Cs. Víctor Ausberto Arapa Vilca, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA 03.00 PTS. EVALUACIÓN PÚBLICA 11.00 PTS. EVALUACIÓN FINAL 14.00 PTS

CATORCE (En letras)

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

Dr. Ing. Crispin Zenon pe Mamani. President

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana. Secretario

Dr. Ing. Alejandro Claudio Manrique. Vocat

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

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por las oportunidades y la convicción que me da día a día para alcanzar cada una de mis metas. También a mi Alma Máter la Universidad Nacional de Cajamarca y a la EPIG por formarme como uno de sus profesionales, en especial, a mis docentes quienes año a año me han guiado en mi formación. Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional en mi proceso como estudiante, a mi novia por ser mi apoyo y fuerza, a mi amigo el Ing. J. Morán por la oportunidad de iniciar mi etapa laboral como parte de su equipo y, finalmente, un agradecimiento especial a mi asesor MCs. Victor Arapa por su tiempo y guía oportuno en este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico todos mis esfuerzos y logros a mis padres Aladino y Eufemia, por su increíble e incondicional sacrificio realizado para sacarme adelante a pesar de las dificultades, por sus enseñanzas y la disciplina que me inculcaron desde pequeño para lograr todo lo que me propongo. A mi novia Talia que me acompañó y apoyó desde el primer momento y no dejó que me rinda a pesar de los momentos difíciles. A mis hermanos; William, Jhoel y Karina quienes han sido mi soporte anímico en todo momento. A todos ellos, porque todos mis esfuerzos y logros no serán nunca suficiente.

ÍTEM		Pág.
AGRAI	DECIMIENTO	i
DEDIC	ATORIA	ii
ÍNDICE	E DE TABLAS	vii
ÍNDICE	E DE FIGURAS	viii
ÍNDICE	E DE FOTOS	xi
LISTA	DE ABREVIATURAS	xii
RESU	MEN	xiii
ABSTF	RACT	xiv
CAPÍT	ULO I	1
INTRO	DUCCIÓN	1
CAPÍT	ULO II	4
MARC	O TEÓRICO	4
2.1.	ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1.	A NIVEL INTERNACIONAL	4
2.1.2.	A NIVEL NACIONAL	4
2.1.3.	A NIVEL LOCAL	5
2.2.	BASES TEÓRICAS	6
2.2.1.	FASES TECTÓNICAS	6
2.2.2.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	8
A)	ESTRUCTURAS PLANARES	9
B)	ESTRUCTURAS LINEALES	9
2.2.3.	ESFUERZO	10
2.2.4.	DEFORMACIÓN	11
2.2.5.	FRACTURAS	13
2.2.6.	FALLAS	15

ÍNDICE GENERAL

ÍTEM	I	Pág.
2.2.6.1	CLASIFICACIÓN DE FALLAS	17
2.2.6.2	MODELO IDEAL DE ESFUERZOS DE ANDERSON	18
2.2.6.3	ANÁLISIS MICROTECTÓNICO DE FALLAS	19
2.2.7.	COMPATIBILIDAD GEOMÉTRICA Y MODELOS RIEDEL	20
2.2.8.	ESTRUCTURAS DE COMPRESIÓN Y EXTENSIÓN	21
2.2.9.	PROGRAMA WIN – TENSOR v5.0.1	23
2.2.10.	MÉTODO DE DIEDROS RECTOS	25
2.2.11.	VETAS	26
2.2.12.	YACIMIENTOS HIDROTERMALES	27
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30
CAPÍTI	ULO III	31
MATER	RIALES Y MÉTODOS	31
3.1.	UBICACIÓN	31
3.1.1.	GEOGRÁFICA	31
3.1.2.	POLÍTICA	31
3.1.3.	ACCESIBILIDAD	31
3.2.	PROCEDIMIENTOS	33
3.2.1.	METODOLOGÍA	34
3.2.2.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	34
3.2.3.	TÉCNICAS	35
3.2.4.	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	35
3.3.	CONTEXTO GEOLÓGICO	36
3.3.1.	GEOMORFOLOGÍA	36
3.3.2.	GEOLOGÍA LOCAL	38
3.3.2.1	GRUPO HUACHOCOLPA	38
A)	FORMACIÓN APACHETA (Nm-ap)	38

ÍTEM		⊃ág.
B)	FORMACIÓN CHAHUARMA (Nm-ch)	39
C)	DIQUES	39
3.4.	CONTEXTO ESTRUCTURAL	41
3.4.1.	ESTRUCTURAS PRINCIPALES	41
3.4.1.1	. LINEAMIENTOS CON DIRECCIÓN ANTIANDINA (NE-SO)	41
3.4.1.2	. DINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA	41
3.4.1.3	. SISTEMAS DE FALLAS HUACHOCOLPA – HUANCAVELICA	44
CAPÍT	ULO IV	46
ANÁLI	SIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
4.1.	VETAS EN LA MINA TANGANA	46
4.1.1.	VETA TANGANA 1	46
4.1.2.	VETA TANGANA 2	47
4.1.3.	VETA 1A	48
4.1.4.	VETA 1D	49
4.1.5.	VETA TANGANA 3	50
4.1.6.	VETA TANGANA 4	50
4.1.7.	VETA ESTRELLA	51
4.1.8.	VETA CAUCA	51
4.1.9.	VETA VALENTINA	52
4.1.10.	VETA MORLUPO	52
4.2.	ORIGEN DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS	52
4.3.	CONTROL ESTRUCTURAL DE VETAS EN LA MINA TANGANA	55
4.3.1.	DISTRIBUCIÓN DE POLOS DE LAS VETAS	56
4.3.2.	CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LAS VETAS	56
4.3.3.	FAMILIA DE ESTRUCTURAS	57
4.3.4.	ROSETA ESTRUCTURAL	58

4.4.	SISTEMA DE FALLAS TRANSVERSALES EN LAS VETAS 59
4.4.1.	SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 1
4.4.2.	SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 2
4.4.3.	SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 3
4.4.4.	SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA 1A
4.4.5.	SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA CAUCA
4.5.	ANÁLISIS DEL CONTROL ESTRUCTURAL CON WIN TENSOR 75
4.5.1.	ANÁLISIS DE LA VETA TANGANA 1 CON WIN TENSOR
4.5.2.	ANÁLISIS DE LA VETA TANGANA 2 CON WIN TENSOR
4.5.3.	ANÁLISIS DE LA VETA TANGANA 3 CON WIN TENSOR 80
4.5.4.	ANÁLISIS DE LA VETA 1A CON WIN TENSOR
4.5.5.	ANÁLISIS DE LA VETA CAUCA CON WIN TENSOR
4.5.6.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE VETAS CON WIN TENSOR 85
4.6.	SECCIONES TRANSVERSALES DE LA MINA TANGANA
4.7.	CONTROL ESTRUCTURAL A ESCALA REGIONAL DE LA MINA
	TANGANA
4.8.	TIPO DE MINERALIZACIÓN EN LA MINA TANGANA
4.9.	TIPO DE YACIMIENTO EN LA MINA TANGANA
4.10.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS
4.11.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS
CAPÍT	ULO V
CONC	LUSIONES Y RECOMENDACIONES
5.1.	CONCLUSIONES
5.2.	RECOMENDACIONES
REFE	RENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 99
ANEX	DS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ciclos Orogénicos Paleozoico – Precámbrico. 7
Tabla 2: Ciclos Orogénicos Cenozoico – Paleozoico. 8
Tabla 3: Clasificación de las fallas basadas en el salto y el desplazamiento
horizontal17
Tabla 4: Coordenadas de la Mina Tangana31
Tabla 5: Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación
Tabla 6: Identificación de Variables 35
Tabla 7: Data de las fallas que cortan a la veta Tangana 1
Tabla 8: Data de las fallas que cortan a la veta Tangana 2 108
Tabla 9: Data de las fallas que cortan a la veta Tangana 3 109
Tabla 10: Data de las fallas que cortan a la veta 1A 109
Tabla 11: Data de las fallas que cortan a la veta Cauca

ÍNDICE DE FIGURAS

P	ág.
Figura 1: Trayectoria de lo desplazamientos producto de los esfuerzos	
(Oyarzun & Lillo, 2013)	10
Figura 2: Tipos de esfuerzos (Arellano, 2002)	. 11
Figura 3: Tipos de Deformaciones (Oyarzun & Lillo, 2013)	. 12
Figura 4: Deformaciones por compresión en cuerpos plásticos y rígidos	
(Arellano, 2002)	.13
Figura 5: Deformaciones por extensión en cuerpos plásticos y rígidos	
(Arellano, 2002)	.13
Figura 6: Deformaciones por esfuerzos de tipo cizalla en cuerpos plásticos	
y rígidos (Arellano, 2002)	.13
Figura 7: Modos de ruptura de una fractura (Niemeyer, 1999)	. 14
Figura 8: Orientación de fracturas en relación al esfuerzo principal (Fossen,	
2010)	.15
Figura 9: Tipos de roca y régimen en una zona de falla y cizalla en función	
a la profundidad y temperatura (Oyarzun & Lillo, 2013)	. 16
Figura 10: Elementos de una falla (Arellano, 2002).	. 16
Figura 11: Tipos de fallas Traslacionales (Niemeyer, 1999).	. 18
Figura 12: Modelo de Anderson (Oyarzun & Lillo, 2013)	. 19
Figura 13: Indicadores cinemáticos para determinar el sentido de	
movimiento de las fallas (Rodríguez, 2008)	. 19
Figura 14: Secuencia de movimientos en una zona transcurrente	
(Rodríguez, 2008)	.21
Figura 15: Compresión – extensión en una zona de falla (Oyarzun & Lillo,	
2013)	.22
Figura 16: Desarrollo de un dúplex en extensión y compresión (Oyarzun &	
Lillo, 2013)	22
Figura 17: Principales estructuras asociados a una zona de falla (Oyarzun	
& Lillo, 2013)	23
Figura 18: Ejemplos de Función F5 del Programa Win – Tensor (Delvaux,	
2014)	.24

Figura 19: Diedros Rectos o mecanismos focales para distintas fallas (De
Vicente, Muñoz, & Giner, 1992)
Figura 20: Veta y Mineralización (Griem, 2022)
Figura 21: Yacimientos Hidrotermales (Fernández, 2019)
Figura 22: Accesibilidad hacia la Unidad Minera Tangana (Google Maps,
2024)
Figura 23: Columna Estratigráfica. Valdivia & Raymundo (2003)
Figura 24: Eventos tectónicos ocurridos en el sistema de Fallas Chonta
- (Rodríguez, 2008)
Figura 25: Referencia de la Mina Tangana entre el Sistema de fallas Chonta
y Huachocolpa – Huancavelica. Adaptado de Rodríguez, (2008).
Figura 26: Relación entre el sistema de Fallas Chonta con las vetas de la
mina Tangana. Adaptado de Rodríguez (2008)
Figura 27: Diagrama de Polos de las vetas en la mina Tangana
Figura 28: Distribución de Polos de las vetas en la mina Tangana
Figura 32: Familias que conforman las vetas en la mina Tangana
Figura 33: Diagrama de roseta Estructural de las vetas en la mina Tangana. 58
Figura 31: Diagrama de intervalo de los buzamientos de las Estructuras 59
Figura 32: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Tangana 1
Figura 33: Distribución de Polos de las fallas en la veta Tangana 1
Figura 34: Familia de fallas en la veta Tangana 162
Figura 35: Roseta Estructural de las fallas en la veta Tangana 1
Figura 36: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Tangana 2
Figura 37: Distribución de Polos de las fallas en la veta Tangana 2
Figura 38: Familia de fallas en la veta Tangana 265
Figura 39: Roseta Estructural de las fallas en la veta Tangana 2
Figura 40: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Tangana 3
Figura 41: Distribución de Polos de las fallas en la veta Tangana 3
Figura 45: Familia de fallas en la veta Tangana 3
Figura 46: Roseta Estructural de las fallas en la veta Tangana 3

Pág

Figura 44: Diagrama de Polos de las fallas en la veta 1A69
Figura 45: Distribución de Polos de las fallas en la veta 1A
F igura 46: Familia de fallas en la veta 1A7 [·]
Figura 47: Roseta Estructural de las fallas en la veta 1A7
Figura 48: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Cauca
Figura 49: Distribución de Polos de las fallas en la veta Cauca
Figura 50: Familia de fallas en la veta Cauca74
Figura 51: Roseta Estructural de las fallas en la veta Cauca
F igura 52: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Tangana 1
Figura 53: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Tangana 1
Figura 54: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Tangana 2
Figura 55: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Tangana 2
F igura 56: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Tangana 38′
Figura 57: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Tangana 3
F igura 58: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta 1A
Figura 59: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta 1A
F igura 60: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Cauca
Figura 61: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Cauca
Figura 62: Análisis de esfuerzos con Win Tensor del Sistema de Fallas en
la Mina Tangana87
Figura 63: Vista 3D de la interpretación superficial de la mina Tangana 106

ÍNDICE DE FOTOS

Pág.
Foto 1: Valles en U al SE de la mina Tangana
Foto 2: Río al Noreste de la Mina Tangana
Foto 3: Quebradas en los alrededores de la mina Tangana
Foto 4: Afloramiento de la Formación Apacheta al lado norte de Tangana 39
Foto 5: Vista de la veta Tangana 1 en dirección NW, Mina Tangana, Nivel
650
Foto 6: Vista de la veta Tangana 2 en dirección SE, Mina Tangana
Foto 7: Vista de la veta 1A en dirección NW, Mina Tangana, Nivel 700 49
Foto 8: Vista de la veta 1D en dirección NW, Mina Tangana, Nivel 650 50
Foto 9: Afloramiento de la veta Cauca orientada al NW51
Foto 10: Planos Ondulados en la caja piso de la veta Tangana 1
Foto 11: Planos Ondulados en la caja piso de la veta Tangana 2
Foto 12: Planos Ondulados en la caja piso de la veta Cauca
Foto 13: Muestra de Mano de la asociación mineralógica Galena – Esfalerita
de las vetas en la mina Tangana92
Foto 14: Muestra de geodas de cuarzo y venillas de Esfalerita – Galena de
las vetas en la mina Tangana92
Foto 15: Muestra de Mano de Rodocrosita presente en las vetas de la mina
Tangana93
Foto 16: Muestra de Mano de Rodonita dentro de una matriz de Cuarzo
presente en las vetas de la mina Tangana
Foto 17: Afloramiento de la veta Cauca, vista hacia al SE con una potencia
promedio de 1.20 m con zonas de oxidación y
argilizaciónjEr
ror! Marcador no definido.
Foto 18: Afloramiento de la veta Cauca con evidente oxidación superficial 104
Foto 19: Afloramiento de la veta Tangana 2 hacia al NW, presenta zonas de
oxidación superficial104
Foto 20: Afloramiento de estructura tensional de la veta Tangana 2, presenta
zonas de oxidación superficial105

LISTA DE ABREVIATURAS

0	: Grados
Ag	: Plata
Au	: Oro
Az	: Azimuth
Bz	: Buzamiento
Cm	: Centímetro
Sph.	: Esfalerita
F	: Falla
Fm	: Formación
Gn.	: Galena
На	: Hectárea
Km	: Kilómetro
m	: Metro
Ма	: Millones de Años
NE	: Noreste
Nm – ap	: Formación Apacheta
Nm – ch	: Formación Chahuarma
NV	: Nivel
NW	: Noroeste
Pb	: Plomo
σ	: Sigma (esfuerzos)
SN	: Subnivel
TN	: Tangana
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS-84	: World Geodetic System 1984

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la Unidad Minera Tangana ubicada en el Anexo Totorapampa, distrito de Huachocolpa, provincia y departamento de Huancavelica y tiene como objetivo analizar el control estructural en la formación de vetas en la mina Tangana y conocer su origen, dirección y tipos de esfuerzos. De igual manera, se menciona la mineralización y el tipo de yacimiento en el que se emplazan, tomando como base las vetas de la mina Tangana con sus diferentes ramales y tensionales, cuestionando así, cuál es el control estructural para su formación. Para ello, se tomó el área donde influye la mina y las vetas reconocidas en superficie e interior mina, analizando un total de 10 vetas mediante el Software Dips v5.1., de las cuales, 5 de ellas son analizadas con el Software Win Tensor v.5.0.1 obteniendo información de los esfuerzos v cinemática de las estructuras, concluyendo así, que las vetas forman parte de un sistema de fallas conjugadas de tipo Sinestral y Normal con orientación andina formadas entre las Fases Quechua II y III (8 y 3.7 Ma) con mineralización polimetálica en un yacimiento epitermal de baja a intermedia sulfuración. Además, se realizaron secciones transversales y planos para un análisis horizontal y vertical de las estructuras, para finalmente hacer una proyección en planos regionales determinando que las vetas de la mina Tangana forman parte de un Jog Estructural con rumbo andino donde el control principal para la mineralización son las zonas de inflexión e intersección de vetas.

Palabras clave: Control estructural, Vetas, Esfuerzos, Fases Tectónicas, Fallas, Mineralogía, Yacimiento.

ABSTRACT

The research was carried out at the Tangana Mining Unit located in the Totorapampa Annex, district of Huachocolpa, province and department of Huancavelica and its objective is to analyses the structural control in the formation of veins in the Tangana mine and to know their origin, direction and types of stresses. It also mentions the mineralization and the type of deposit in which they are located, taking as a basis the veins of the Tangana mine with its different branches and stresses, thus questioning what is the structural control for their formation. For this, the area where the mine influences and the veins recognized on the surface and inside the mine were taken, analyzing a total of 10 veins using the Dips v5.1 software, 5 of which were analyzed with the Win Tensor v.5 .0.1 obtaining information of the stresses and kinematics of the structures, thus concluding that the veins are part of a system of conjugate faults of Sinestral and Normal type with Andean orientation formed between the Quechua Phases II and III (8 and 3.7 Ma) with polymetallic mineralization in an epithermal deposit of low to intermediate sulphuration . In addition, cross sections and plans were made for a horizontal and vertical analysis of the structures, to finally make a projection in regional plans determining that the veins of the Tangana mine are part of a structural jog with an Andean trend where the main control for mineralization are the inflection zones and intersection of veins.

Keywords: Structural control, Veins, Stresses, Tectonic Phases, Faults, Mineralogy, Deposit.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Los yacimientos se encuentran controlados por estructuras geológicas que determinan su aspecto, las estructuras se forman mucho antes que la mineralización, acompañan su formación y se siguen formando mucho después de acumularse el mineral. La deposición del mineral en las estructuras se debe a las deformaciones de plegamiento, de disyunción y de agrietamiento (Smirnov, 1982). Las estructuras geológicas facilitan la migración de fluidos hidrotermales para la deposición de minerales y la formación de vacimientos económicos. Por tal motivo, es necesario tener conocimiento de cuál es la influencia que tienen las estructuras en los yacimientos minerales y las características favorables para su emplazamiento, lo cual es de vital importancia para ubicar nuevos blancos de exploración en nuestro territorio y aumentar los recursos. Tal es el caso de la Mina Tangana ubicada en el distrito minero de Huachocolpa dentro de la Franja Metalogenética XXI-A caracterizado por yacimientos epitermales de Au y Ag hospedados en rocas volcánicas cenozoicas, la cual no cuenta con un estudio detallado de los controles estructurales que han favorecido a la mineralización y formación de vetas en dicha mina.

Por lo cual, la interrogante principal de la investigación es; ¿Cuál es el control estructural en la formación de vetas en la mina Tangana, distrito de Huachocolpa – Huancavelica?

Por consiguiente, se plantea que, la formación de vetas en la mina Tangana está controlada directamente por estructuras generadas en fases tectónicas recientes del Mioceno y Plioceno, a juzgar por su mineralización, que generaron una zona de apertura conformada por sistemas de fallas normales y transcurrentes que sirvieron como medio para el desplazamiento del fluido hidrotermal que ha rellenado los espacios vacíos formando así las vetas que se emplazan en la Mina Tangana en el distrito minero de Huachocolpa.

Por ende, la investigación se realiza con la finalidad de obtener una información clara y certera sobre la influencia que ha tenido las estructuras geológicas en el terreno y como ha favorecido a la migración de fluidos hidrotermales que finalmente dieron con la formación de las vetas en la mina Tangana.

La investigación se realiza analizando estructuralmente cada una de las vetas estudiadas mediante la toma de datos geológicos de las estructuras mineralizadas y de las fallas que las controlan, con los datos se realiza una interpretación vertical mediante secciones y horizontal mediante planos zonales para finalmente insertar los datos en los softwares Dips v5.1 y Win Tensor v.5.0.1 para finalmente obtener información del tipo de estructura y los esfuerzos que influyeron. Todo ello, se realiza en la Mina Tangana en el distrito minero de Huachocolpa donde los sistemas estructurales a escala regional tienen orientación andina.

Se tiene como objetivo principal analizar el control estructural que influyó en la formación de las vetas en la mina Tangana, distrito de Huachocolpa, departamento de Huancavelica. A su vez, se va a determinar el origen de estas estructuras, el tipo de vetas y sus distintas características estructurales y mineralógicas identificando también el tipo de yacimiento formado, finalmente generar secciones transversales y planos estructurales.

El proyecto de investigación se divide en un total de cinco capítulos. En el Capítulo I se especifica una introducción general al tema en el cual se centra la investigación, en este capítulo se pone en contexto y se describe la problemática de la investigación planteando así una hipótesis, se presenta también la justificación e importancia de la investigación, así como los alcances explicando el cómo y para qué de los pasos seguidos para el desarrollo y finalmente, se describe los objetivos a alcanzar. En el capítulo II se desarrolla el marco teórico de la investigación, mencionando antecedentes y bases teóricas de diferentes autores entre internacionales, nacionales y locales relacionados con el tema de investigación, además de la definición de términos. En el capítulo III se describe las generalidades de la investigación especificando la ubicación del área a estudiar, la accesibilidad, el clima y precipitaciones, se describe también la geología y la geotectónica del distrito minero de Huachocolpa y de la Mina Tangana. También se presentan los datos recolectados en campo para su

análisis, se explica la metodología y procedimientos efectuados. En el capítulo IV se presentan y explican los resultados obtenidos del análisis de los datos de campo, de acuerdo a los objetivos establecidos y se realiza la contrastación con la hipótesis planteada. En capítulo V se presentan las conclusiones a las cuales se ha llegado y se plantea recomendaciones correspondientes para una investigación más a detalle y eficaz, del mismo modo, se presentan las referencias bibliográficas usadas para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Benítez & Winocur (2015). Controles estructurales y litológicos en el emplazamiento de intrusivos en el río Salado a los 35°LS, Faja plegada y corrida de Malargüe, Mendoza, Argentina. Esta investigación caracterizó el modo de emplazamiento de cuerpos en relación a la estructuración de la faja plegada, observando que existe un control de primer orden, las cuales funcionan como canales de migración y ascenso magmático y un segundo control estructural de tipo local, producto de los esfuerzos producidos en la roca encajonante y los propios intrusivos, durante su emplazamiento.

Boetsch (2014). Control estructural de la mineralización Argento – Aurífera y criterios de exploración en el distrito Cerro Bayo, región de Aysén, Chile. Esta investigación establece el o los estilos de deformación asociados a la mineralización y determina los criterios de exploración en el sistema epitermal Argento – Aurífero cuya característica principal es que se trata de un yacimiento de baja sulfuración en el distrito de Cerro Bayo en la región de Aysén, Chile, para ello, el autor establece como punto de partida establecer las estructuras principales y secundarias del sector, luego establece las fases de mineralización, determina la relación geométrica – cinemática entre la deformación y la mineralización para, finalmente, definir los criterios de exploración en base a los patrones estructurales.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

Romero & Torres (2013). Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Huancavelica (26-n). Este estudio contiene los resultados de la actualización geológica del cuadrángulo 26-n a escala 1/50000 aportando el reconocimiento de rocas devonianas y el Grupo Ambo evidenciando una discordancia anguloar

con el Grupo Mitu. A su vez, reconoció nuevas estructuras como fallas y pliegues cartografiando afloramientos de vetas y rocas intrusivas que no se habían evidenciado anteriormente.

Choque (2013). Geología y Control Estructural del prospecto minero Susapaya (Distrito Susapaya – Provincia Tarata – Región Tacna). Este estudio plasma el mapeo a detalle y determina su relación con los rasgos estructurales encontrados, basada en la geología encontrada y sugiere la presencia de posibles pórfidos ocultos bajo la cobertura de secuencias volcánicas que se encontrarían controlados por un sistema de estructuras NE-SW, NW-SE; además de sistemas de vetillas tipo stockwork y algunas brechas hidrotermales.

Caycho (2019). Análisis estructural de la configuración relacionada con la mineralización Cordillera Negra, región Ancash – Perú. El presente estudio propone un modelo estructural, el cual es un sigmoide de cinemática normal – sinestral que tiene por lineamientos o bordes extremos al sistema de fallas Huaraz – Recuay en su sector occidental y al sistema de fallas de la Cordillera Blanca en su sector oriental. Con este modelo estructural se busca explicar la presencia de yacimientos minerales en una determinada área y contribuir al descubrimiento de nuevos yacimientos minerales en el sector norte de la Cordillera Negra.

Aguilar & Cerpa (2018). Control Estructural y Litológico en el emplazamiento de yacimientos minerales en el sector Condoroma – Paratia (Cusco – Puno), sur del Perú. Esta investigación define la Franja Metalogenética en la que se encuentran los depósitos minerales y la litología en la que se emplazan para luego analizar el control estructural para el emplazamiento de yacimientos minerales. Por lo que, se busca establecer las bases para conocer la relación entre la mineralización, estructuras, estratigrafía volcánica y la geología regional. De este modo, entender la distribución del mineral y generar nuevos blancos de exploración en la zona.

2.1.3. A NIVEL LOCAL

Rodriguez (2008). Esta investigación realiza el análisis estructural del sistema de Fallas Chonta como control para la mineralización relacionada a sulfuros polimetálicos presentes en los depósitos epitermales del distrito de Huachocolpa

determinando sus características geoquímicas y minerales, así como su evolución cinemática.

Pérez & Yparraguirre (2013). El distrito Polimetálico de Huachocolpa (Huancavelica, Perú). Esta investigación presenta una visión completa de la mineralogía descriptiva del distrito minero de Huachocolpa, del cual se tiene pocos datos, se describe la mineralogía a partir de muestras de mano de distintos afloramientos de vetas y se analiza su relación con los esfuerzos geomecánicos y estructuras geológicas que se presentan en la zona a fin de entender cuál fue el origen estructural y magmático de los minerales económicos que se encuentran en el distrito de Huachocolpa.

Valdivia & Raymundo (2003), Memoria descriptiva de la revisión y actualización del Cuadrángulo de Huachocolpa (27-n). Esta investigación actualiza los datos que se tiene sobre la geología de Huachocolpa, tanto como la litología, geología estructural, geomorfología y geomorfología. Estos nuevos datos geológicos son producto de estudios de exploración minera que si bien son de escala local aportan nuevas ideas a la geología de la región. Su aporte principal es un cartografiado más detallado de cuerpos volcánicos e intrusivos, así como el reconocimiento de estructuras de menor escala.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. FASES TECTÓNICAS

El Perú ocupa la parte Central y Occidental de América del Sur y la geografía de su territorio es el resultado de una antigua evolución de relieves anteriores.

El relieve del territorio es el fruto de sucesivos ciclos orogénicos, comprendiendo en ellos varias etapas de sedimentación, de deformación, levantamientos y finalmente, de erosión y peneplanización. El sistema andino en el Perú tiene orientación NW – SE, el que se halla asociado a los principales elementos estructurales tales como ejes de plegamientos, fallas, elongación de cuerpos intrusivos mayores, alineamiento de conos volcánicos, entre otros (Palacios & Sanchez, 1995). En las rocas Paleozoicas, se reconocen la Orogenia Calcedónica en el Noroeste y la Orogenia Hercínica en la Cordillera Oriental, con dos ciclos sedimentarios: Uno en el Paleozoico Inferior y otro en el Paleozoico Superior, terminando cada uno de ellos con una fase de deformación. Se reconoce, así como Fase Eohercínica la primera (340.00 Ma.), como Fase Tardihercínica la segunda (280.00 Ma.) y como Fase Finihercínica la última (Palacios & Sanchez, 1995).

EDAD ABSOLUTA	ERA	PERIODO / PISO		CICLO	FASE
265 290		Pérmico	Ochoano Guadalupano Leonardiano Wolfcampiano		Fase Tardihercínica (Compresiva) movimiento epirogenético del levantamiento con plegamiento en el Sur
			Westphaliano	_	
355			Tournesiano	rcínico	
			Famenniano	ΗË	
	0		Frashlano		Face Feberránica (Comprosiva)
	DIC	Devónico	Fifiliano		Fuerte plegamiento fallamiento y
	OZO	Devolueo	Emisiano		metamorfismo enizonal
	ALE		Siegeniano		
410	<u>L</u>		Gediniano		
			Ludloviano		
		Silúrico	Wenlockiano		-
438			Llandoveriano		
			Ashigiliano	0	
			Caradociano	NIC	
		Ordovícico	Llandeiliano	DÓ	Fase Compresiva en el Noroeste.
		ordovicieo	Llanvirniano	ALE	Movimientos epigenéticos sin
			Arenigiano	0	deformación en el Sureste.
			Tremadociano		Plutonismo en la costa Sur.
510		Cámbrico	?		
570	NEOPROTEROZOICO		Brasílida	Fase 1 Compresión se genera microplegamiento	
				Fase 2 Esquistocidad, metamorfismo epitermal y catazonal	
					Fase 3 Replegamiento de la esquistocidad II
1000					Fase 4 Plegamiento de Chevrón
1600	MESOPROTEROZOICO				¿Transamazonía?

Tabla 1: Ciclos Orogénicos Paleozoico - Precámbrico.

Fuente: Palacios & Sanchez, (1995)

En las rocas Mesozoicas y Cenozoicas se reconoce el Ciclo Andino, comprendiendo en él varias etapas de sedimentación y varias fases de deformación, siendo las principales de ellas la Fase Peruana ocurrida en el Cretácico Superior (80.00 Ma.), luego la Fase Incaica en el Terciario Inferior (35.00 – 30.00 Ma.), seguida después por la Fase Quechua (12.00 – 15.00 Ma.) y otras a fines del Terciario y comienzos del Cuaternario (Palacios & Sanchez, 1995).

EDAD ABSOLUTA	ERA	PERI	ODO / PISO	CICLO	FASE
1.8		Cuaternario	Pleistoceno		Fase Quechua 3? Lev. Fallamiento. Volcanismo.
		Noógono	Plioceno		Fase Quechua 2 Lev. Fallamiento. Volcanismo.
	8	Neogeno	Mioceno		Fase Quechua 1 (Compresiva). Acompañado de fallamiento,
	ē		Oligoceno		levantamiento y erosión que genera la superficie puna y luego
	ZO		Focono		volcanismo explosivo.
	Ž	Paleógeno	Loceno		
	5	racogeno	Paleoceno		Fase Inca Fuertemente compresiva, genera pliegues, fallas
					inversas, sobreescurrimientos. Posterior a ella se genera
64 _					volcanismo generalizado en la Cordillera Occidental.
			Daniano		
			Maastrichtiano		
			Campaniano		
			Santoniano		Fase Peruana (Compresiva) se genera plegamientos
			Coniaciano		regionales, fallamientos y fracturamientos.
			luroniano		
			Cenomaniano		
		Cretácico	Albiano		
			Aptiano	0	Fase Inter Albiana Localizada en la parte central movimientos
			Barremiano	Z	de deformación previa a la orogenia propiamente dicha.
		(Neocomiano)	Hauteriviano		
	CO		Valanginiano	Z	
130			Barriasiano	_ ∢	
	ō	(maim)	Titoniano		
	Ň		Kimmeridgiano		
	Ö		Oxfordiano		Movimiento Nevadiano Epirogenia, levantamiento en
	MES	(Dogger)	Caloviano		bloques, generan la separación de dos cuencas en Norte y
			Batoniano		Centro del Perú.
		Jurásico	Bajociano		
			Aaleniano		
			Toarciano		
		(Lias)	Pliensbachiano		
			Sinemuriano		
190			Hettangiano	_	
		Sup. Triásico Med.	Retiano		
			Noriano		
			Carniano		
			Ladiniano		
		Inf.	Anisiano		Fase Finiherciniana: Deformación localizada en el Perú
250			Scythiano		Central.

 Tabla 2: Ciclos Orogénicos Cenozoico – Paleozoico.

Fuente: Palacios & Sanchez, (1995)

2.2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural estudia las particularidades geométricas de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionados con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tiene lugar. El resultado de este estudio puede ser la clasificación de las formas estructurales o estudiar el mecanismo de la formación de estructuras (Belousov, 1974).

La distribución geométrica de los componentes característicos puede ser:

A) ESTRUCTURAS PLANARES

Son aquellas definidas por fábricas planares o curviplanares. Estructuralmente son más importantes la foliación y clivaje. En este caso, la roca contiene minerales tabulares, laminares con una orientación común (Belousov, 1974).

Foliación: Es un término general empleado para describir una fábrica planar o curviplanar. La foliación puede ser una estructura primaria como secundaria. La foliación primaria es aquella que se forma durante la formación de la roca. La foliación secundaria es la que se forma durante la deformación de la roca, por lo tanto, es una foliación tectónica que se desarrolla generalmente perpendicular al esfuerzo principal máximo σ₁ (Belousov, 1974).

B) ESTRUCTURAS LINEALES

El término lineamiento se emplea para describir elementos lineales que ocurren en una roca. Cuando una estructura lineal se desarrolla durante la deformación de la roca se dice que es un lineamiento construido. Desde el punto de vista estructural, la mayor parte de las lineaciones son paralelas a alguno de los esfuerzos principales, por lo que su identificación resulta directamente útil en términos de la definición de campos de esfuerzos. Las principales estructuras lineales tectónicas son:

- Lineación de Intersección: Esta lineación es formada por el corte entre el clivaje y la estratificación en un pliegue. Dado que el clivaje es aproximadamente paralelo al plano perpendicular al σ₁ (Axial), esta define la dirección del esfuerzo principal σ₂ (Belousov, 1974).
- Lineación Mineral: La lineación mineral de interés para el análisis estructural consiste en la orientación de minerales de geometría asimétrica como los anfíboles o las plagioclasas. Esta orientación suele ser paralela a la dirección de estiramiento σ₃ (Belousov, 1974).
- Estrías de Falla: Son estructuras lineales que se forman por abrasión de los pisos de una falla que se encuentran en contacto. Estas estructuras no son paralelas a los esfuerzos principales, pero sí lo son con respecto a la dirección del movimiento de falla (Belousov, 1974).

2.2.3. ESFUERZO

El esfuerzo o stress se define como la fuerza por unidad de superficie que soporta o se aplica sobre un plano cualquiera de un cuerpo. En Geología, se analizan los esfuerzos causados en las rocas por la gravedad (Presión Litostática) y los que son causados por fuerzas de superficie (Presión tectónica) de las cuales existen dos posibles estados de stress o esfuerzo tectónico que son; el esfuerzo compresivo y el esfuerzo tensional (Niemeyer, 1999).

De forma que, sobre estas rocas siempre existen fuerzas actuando a todas las escalas, desde la estructura cristalina a las grandes unidades orogénicas. Pero, de forma general, sin considerar las escalas, los efectos que los esfuerzos provocan en las rocas son; el desplazamiento de estas y su deformación. (Oyarzun & Lillo, 2013).



Figura 1: Trayectoria de los desplazamientos producto de los esfuerzos (Oyarzun & Lillo, 2013).

Cuando las fuerzas que actúan sobre la roca son convergentes o de compresión la deformación se da por aplastamiento y en el caso de que las fuerzas sean divergentes o de distensión se produce la deformación por elongación o estiramiento (Oyarzun & Lillo, 2013).

Los vectores de esfuerzo alrededor de un punto en tres dimensiones definen un elipsoide llamado elipsoide de esfuerzo, los cuales se designan por σ_1 , σ_2 y σ_3 , cuyas magnitudes siempre son $\sigma_1 \ge \sigma_2 \ge \sigma_3$, siendo también normales entre sí (Oyarzun & Lillo, 2013).

Cuando los tres esfuerzos principales son diferentes que cero se denomina esfuerzo triaxial; si sólo dos de los esfuerzos principales son diferentes que cero

se denomina esfuerzo biaxial; si sólo uno de los esfuerzos principales es diferente de cero se denomina esfuerzo uniaxial y cuando los tres esfuerzos principales son de igual magnitud se llama esfuerzo hidrostático (Arellano, 2002).

En la figura 2, se ilustra el caso de compresión triaxial (A), caso muy común en la Tierra donde los tres esfuerzos principales son compresivos. En la figura (B) se ilustra el caso de extensión axial donde dos de los esfuerzos son compresivos y uno es de tensión; este caso también ocurre en la Corteza Terrestre.

En la figura (C) se ilustra el caso de tensión uniaxial, donde uno de los esfuerzos principales es diferente de cero y es de tensión (Arellano, 2002).



Figura 2: Tipos de esfuerzos (Arellano, 2002).

2.2.4. DEFORMACIÓN

La aplicación de una fuerza sobre un cuerpo causa que su masa cambie de posición y/o forma; es decir, las partículas que constituyen su masa cambian de lugar con respecto a un sistema de referencia o cambia de posición internamente y, por ende, su forma también se modifica (Arellano, 2002).

Las rocas son cuerpos sólidos constituidos por un conjunto de partículas unidas entre sí y que cuando a estos se les aplica una carga o un esfuerzo se ocasiona un cambio permanente, este cambio se puede expresar de las siguientes maneras:

- **Traslación:** Transporte relativo de un cuerpo.
- **Rotación:** Un giro relativo de un cuerpo.
- > **Distorsión:** Cambio de la forma del cuerpo.
- **Dilatación:** Cambio de volumen del cuerpo (Arellano, 2002).

Las deformaciones pueden ser:

- > Continuas, cuando el cambio de forma se da sin cambios bruscos.
- Discontinua, cuando existen cambios importantes o variaciones acusadas de la deformación, a través de superficies o zonas discretas.
- Homogénea, cuando cada parte de la roca es deformada de igual manera.
- Heterogénea, cuando la cuantía de deformación varía notablemente en un volumen de roca dado.



Figura 3: Tipos de Deformaciones (Oyarzun & Lillo, 2013).

Estas manifestaciones que ocasionan cambios en los cuerpos rocosos, pueden ser agrupadas en 2 clases:

Deformación de Cuerpos Rígidos: Ocurre en materiales muy competentes mecánicamente, caracterizándose porque los esfuerzos que actúan sobre ellos ejercen una acción externa, donde se produce una modificación en su estado de reposo o de movimiento con el consecuente cambio de posición de todas las partículas de la masa sin presentar cambio interno alguno con relación a un sistema de ejes coordenados (Arellano, 2002).

Deformación de Cuerpos Plásticos: La deformación se puede definir como la expresión geométricas de la cantidad de cambios causado por la acción de esfuerzos sobre un cuerpo (Arellano, 2002).

Cuando la deformación es por compresión, en el campo frágil se forman fracturas de cizalla y tensionales, así como fallas inversas o transcurrentes; en el campo dúctil ocurre un reacomodo de las partículas sin ruptura, formándose pliegues anticlinales y sinclinales (Arellano, 2002).



Figura 4: Deformaciones por compresión en cuerpos plásticos y rígidos (Arellano, 2002).

Cuando la deformación se debe a procesos de extensión puede ocurrir adelgazamiento, fracturamiento o fallamiento normal (Arellano, 2002).



Figura 5: Deformaciones por extensión en cuerpos plásticos y rígidos (Arellano, 2002).

Cuando la deformación es causada por esfuerzos de cizalla se pueden generar pliegues, fracturas, fallas laterales o zonas de cizalla (Arellano, 2002).



Figura 6: Deformaciones por esfuerzos de tipo cizalla en cuerpos plásticos y rígidos (Arellano, 2002).

2.2.5. FRACTURAS

Las fracturas son superficies o planos de discontinuidad en la roca, a lo largo de los cuales se pierde la cohesión del material. El estudio de las fracturas es de peculiar importancia porque afectan la resistencia de las rocas a los esfuerzos, constituyen, además, lugares geométricos que controlan el emplazamiento de mineralización de rendimiento económico, debido a lo cual deben tomarse como una variable importante en la exploración de yacimientos (Niemeyer, 1999).

Existe también una clasificación de las fracturas de acuerdo a su modo de ruptura, que consiste en 3 modos:

- Modo I (Tensional); cuando el desplazamiento de los bloques es normal al plano de fractura.
- Modo II (Cizalla); cuando el desplazamiento es paralelo al plano de fractura y normal al frente de propagación de la fractura.
- Modo III (Cizalla); cuando el desplazamiento de los bloques es paralelo al plano de fractura y al frente de propagación de la fractura (Niemeyer, 1999).



Figura 7: Modos de ruptura de una fractura (Niemeyer, 1999).

Las fracturas son zonas de poca extensión y muy a menudo consideradas como superficies asociadas con discontinuidades en su desplazamiento y propiedades mecánicas como la resistencia y la rigidez, sin embargo, con un análisis en micro se revela que la mayoría de juntas tienen desplazamiento extensional a través de las superficies, por lo que es correcto clasificarlas como verdaderas fracturas de extensión (Niemeyer, 1999).

Las fracturas de extensión suelen estar rellenas de gas, fluidos de magma o minerales. Diferenciándose así las fisuras que son las que se encuentran rellenas de aire o líquido; las venillas o vetas que son las que están rellenas con mineral y su denominación depende de sus dimensiones (Niemeyer, 1999).



Figura 8: Orientación de fracturas en relación al esfuerzo principal (Fossen, 2010).

2.2.6. FALLAS

En el tema de Fallas, existen tres conceptos que se encuentran relacionados entre sí; falla, zona de falla y zona de cizalla. Las fallas son superficies de discontinuidad que separan bloques de roca donde ha ocurrido desplazamiento de bloques con movimiento paralelo al plano de fractura como consecuencia de la aplicación de uno o varios esfuerzos (Arellano, 2002).

La zona de falla se trata de una estructura frágil compuesta por innumerables planos de falla, subparalelos o marcadamente oblicuos entre sí, interconectados y estrechamente espaciados. El color de la roca afectada cambia y se pueden formar bandas paralelas a la dirección de fallamiento (Oyarzun & Lillo, 2013).

La zona de Cizalla se trata de una banda ancha de deformación generada bajo condiciones dúctiles, lo que significa temperaturas bajas de 300 a 400 °C en las rocas cuarzo – feldespáticas. Las condiciones de ductilidad empiezan generalmente a unos 10 – 15 Km de profundidad, donde se encuentra la transición dúctil – frágil, a partir de la cual, las rocas al contrario de "fluir" se "rompen". Ese el paso de una zona de cizalla a una zona de falla. (Oyarzun & Lillo, 2013).



Figura 9: Tipos de roca y régimen en una zona de falla y cizalla en función a la profundidad y temperatura (Oyarzun & Lillo, 2013).

Dicho de otro modo, las rocas pueden romperse (zona de falla) o fluir (zona de cizalla) dependiendo del nivel de profundidad al que se encuentre y si existe un sistema de esfuerzos que lo permita. La transición dúctil – frágil existirá siempre en la corteza, pero para que se forme una zona de falla o cizalla debe existir un campo de esfuerzos donde σ_1 está en la horizontal (Niemeyer, 1999).



Figura 10: Elementos de una falla (Arellano, 2002).

Finalmente, las fallas forman distintos sistemas, a lo que se denomina Sistema de Fallas, que es un grupo de fallas que se han generado en forma más o menos contemporánea y que siguen al mismo campo de esfuerzo (Niemeyer, 1999).

2.2.6.1. CLASIFICACIÓN DE FALLAS

Las fallas se describen y clasifican generalmente por el echado de la falla, la dirección y el sentido del movimiento (Arellano, 2002).

La clasificación más útil de las fallas es aquella que se basa en su desplazamiento horizontal o "rechazo". Distinguiéndose fallas traslacionales y fallas rotacionales. Siendo en las traslacionales donde el rechazo es el mismo en todas sus partes y en las rotacionales el rechazo cambia según la porción del plano que se considere (Ragan, 1987).

Sin embargo, el aspecto más importante es el desplazamiento vertical o relativo a lo largo de la falla, este desplazamiento es el "Salto", esto no se debe confundir con la "separación" ya que esta es un componente producto de muchas orientaciones del salto (Ragan, 1987).

MOVIMIENTO TRASLACIONAL				
Salto según el Buzamiento	 Falla Normal Falla Inversa Para las fallas verticales se debe especificar el movimiento de un blacuta con recepción el atras 			
Salto según la Dirección	 Falla Dextral Falla Sinestral Para las fallas horizontales describir la dirección de movimiento del bloque techo. 			
Salto Oblicuo	Combinación de los términos de salto según el buzamiento y según la dirección: - Falla Normal – Dextral - Falla Inversa – Sinestral - O viceversa.			
MOVIMIENTO ROTACIONAL				
Plano de Falla	Falla sinistrogira (Bloque opuesto se ha desplazado en sentido contrario al de las manecillas del reloj).			

Tabla 3: Clasificación de las fallas basadas en el salto y el desplazamiento horizontal.

Fuente: Modificado de Ragan, (1987).



Figura 11: Tipos de fallas Traslacionales (Niemeyer, 1999).

2.2.6.2. MODELO IDEAL DE ESFUERZOS DE ANDERSON

Según Anderson (1905), clasifica la dinámica de los planos de rotura basándose en el posicionamiento de los tres vectores principales de esfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), estos son ortogonales entre sí y cumplen con el requisito general de: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ y dependiendo de las posiciones de estos vectores se definen los tres tipos de fallas principales:

- Normal: σ_1 vertical, σ_2 y σ_3 horizontal.
- > Transcurrente: σ_2 vertical, σ_1 y σ_3 horizontal
- > Inversa: σ_3 vertical, σ_1 y σ_2 horizontal.

Este modelo no explica la existencia de fallas normales de bajo ángulo o inversas de gran ángulo. Mucho menos explica el comportamiento de las fallas lístricas en profundidad ni la notable curvatura que experimentan las grandes fallas transcurrentes (Oyarzun & Lillo, 2013).



Figura 12: Modelo de Anderson (Oyarzun & Lillo, 2013).

En resumen, las fallas se encuentran muy lejos de tener un comportamiento ideal como lo plantea Anderson (1905), por el contrario, las fallas se curvan y casi nunca son planos sino más bien superficies curvadas. Producto de ello, existen situaciones asimétricas en la distribución de esfuerzos en los dos lados de la falla resultando en zonas de extensión (Transtensión) o compresión (Transpresión) locales (Oyarzun & Lillo, 2013).

2.2.6.3. ANÁLISIS MICROTECTÓNICO DE FALLAS

Para el análisis microtectónico estructural se toman datos tanto de la traza principal de la falla como de las fallas menores. Para ello se considera el rumbo y buzamiento de los planos de fallas, el ángulo de pitch y el sentido de desplazamiento de las fallas que se obtiene mediante indicadores cinemáticos (Rodríguez, 2008).



Figura 13: Indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de las fallas (Rodríguez, 2008).
A) Elemento estriador al cabo de estría. B) Material triturado al cabo de estría.
C) Banqueta al cabo de estría. D) Escama de arrastre. E) Nichos de arranque.
F) Escama de arranque. G) Colas de mineral. H) Lomos al abrigo. I) Planos ondulados. J) Cristalización al abrigo. K) Ridel R1. L) Ridel R2. M) Lúnulas de tracción. N) Lenticulaciones (Rodríguez, 2008).

2.2.7. COMPATIBILIDAD GEOMÉTRICA Y MODELOS RIEDEL

Indiferentemente de la escala en la cual se observe las estructuras ya sea local o regional, su geometría va a tener una configuración de características propias dependiendo del esfuerzo que se ha aplicado (Rodríguez, 2008).

Relación Geométrica de fallas en el modelo de Cizallamiento

Los modelos de cizallamiento han sido obtenidos desde Closs (1928) y Riedel (1929) a partir de múltiples observaciones de ensayos en laboratorio o en zonas de cizalla naturales. Estos autores determinaron 2 tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2, posteriormente fueron denominados como falla sintética y antitética (Rodríguez, 2008).

- a) Fallas Sintéticas (R1): Se forman a unos 12° a 18° con el límite de los bloques o de la dirección del movimiento del sistema transcurrente y tienen el mismo sentido de desplazamiento de dicho sistema (Rodríguez, 2008).
- b) Fallas Antitéticas (R2): Se forman a unos 72° a 78° con respecto a la dirección de los bloques, su movimiento es al contrario de las fallas sintéticas (Rodríguez, 2008).
- c) Fallas Normales e Inversas: Se presentan en forma transversal al sistema de fallas mayor, las fallas inversas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo principal y las fallas normales son paralelas a la dirección del esfuerzo principal (Rodríguez, 2008).



Figura 14: Secuencia de movimientos en una zona transcurrente (Rodríguez, 2008).

2.2.8. ESTRUCTURAS DE COMPRESIÓN Y EXTENSIÓN

Reiterando la premisa de que las fallas se curvan en el espacio, debido a que, el esfuerzo que las genera tiene una dirección específica, esto desarrollará sectores que acumulen o liberen energía en el entorno de la falla. Entonces, en las áreas donde se libere energía se van a desarrollar ambientes favorables para encontrar zonas mineralizadas importantes.

Si las fallas fuesen superficies planares perfectas, lo cual es inusual en la naturaleza, no tendría interferencias y, por lo tanto, no hay probabilidad de existencia de ramales a partir de la falla principal. Pero, si la falla presenta inflexiones ya sea abruptas o graduales se producen situaciones complejas y sistemas de ramales que dan lugar a procesos de estiramientos y acortamientos (Oyarzun & Lillo, 2013).

- Inflexiones en Cierre: Se da cuando el movimiento de uno de los bloques a lo largo de la falla se da en contra de la curva (Oyarzun & Lillo, 2013).
- Inflexiones de Apertura: Se da cuando el movimiento de uno de los bloques se aleja del bloque de la curva, estas son las más atractivas en cuanto a exploración de yacimientos minerales, ya que, son los lugares donde se generan espacios donde los fluidos hidrotermales pueden circular con mayor facilidad (Oyarzun & Lillo, 2013).



Figura 15: Compresión – extensión en una zona de falla (Oyarzun & Lillo, 2013).

Dúplex Extensionales y Compresionales: Es el fallamiento progresivo de las rocas paralelo a la dirección de la inflexión o salto y se encuentran en su zona de influencia. Si las fallas son de traza recta, la formación de un dúplex se da a través de fracturas Riedel. Así, los dúplex extensionales asociados a fallas transcurrentes forman hundimientos y los compresionales forman levantamientos. En la nomenclatura de Sibson (1990), a estas estructuras producto de las inflexiones, saltos, abanicos y dúplex extensionales se les conoce como Jogs y se describen a menudo en la forma de emplazamiento de sistemas de vetas o de yacimientos minerales en general (Oyarzun & Lillo, 2013).



Figura 16: Desarrollo de un dúplex en extensión y compresión (Oyarzun & Lillo, 2013).

La formación de espacios durante el régimen de circulación de fluidos favorece la descompresión y, por lo tanto, el transporte y la precipitación de mineral. Mientras mayor sea el sistema extensional, más grandes serán los espacios y como resultado también los cuerpos mineralizados (Oyarzun & Lillo, 2013).

Debido a la variedad que existe en las escalas a la que puede ocurrir estas estructuras, es necesario aclarar que los sectores favorables son aquellos que son propensos a favorecer intrusiones o vulcanismo para generar una circulación más fácil de fluidos hidrotermales (Oyarzun & Lillo, 2013).



Figura 17: Principales estructuras asociados a una zona de falla (Oyarzun & Lillo, 2013).

2.2.9. PROGRAMA WIN – TENSOR v5.0.1

El programa Win – Tensor es un programa informático interactivo para el análisis de fracturas y la reconstrucción de tensiones en la corteza terrestre ampliamente utilizado por los geólogos estructurales. Ha sido desarrollado con una constante retroalimentación de los usuarios y se actualiza periódicamente. La versión 5.0.1, publicada en febrero de 2014, ofrece como novedad la desviación estándar de los ejes de tensión horizontales (SHmax/S). Además del índice de régimen de tensión R'. Los datos cinemáticos de fallas de estructuras frágiles se introducen en la hoja de trabajo de datos y se procesan en la hoja de procesamiento. Esta última contiene varios paneles con diferentes funciones para el análisis de datos estructurales y la reconstrucción de paleo esfuerzos (Delvaux, 2014).

OPTIMIZACIÓN DEL TENSOR DE TENSIONES

Utilizando el tensor preliminar como punto de partida, se generan una serie de soluciones mediante rotaciones sucesivas alrededor de los 3 ejes de tensión (σ_1 , σ_2 , σ_3) y utilizando un rango de valores para la relación de tensiones R (σ_2 - σ_3) / (σ_1 - σ_3). Se aplican al conjunto de datos para minimizar una función que combina el ángulo de desajuste entre las líneas de deslizamiento observadas y modeladas y las magnitudes de tensión resueltas (para favorecer el deslizamiento en el plano) (Delvaux, 2014).

TENSOR DE TENSIONES REDUCIDO (4 PARÁMETROS)

- Ejes de tensiones principales σ_1 , σ_2 , σ_3
- Relación de las magnitudes de las tensiones principales R = $(\sigma_2 \sigma_3) / (\sigma_1 \sigma_3)$ (Delvaux, 2014).

FUNCIÓN DE COMPOSICIÓN F5

F5 función es la mejor función de composición, ya que integra diferentes aspectos. Función 1 y 2 sólo tienen en cuenta el ángulo de desviación, y no le da importancia a la resistencia del esfuerzo cortante en el plano. Con función F5, se pueden combinar diferentes tipos de datos: los fallos con la línea de deslizamiento, fractura de tensión, la fractura de corte y fracturas de compresión y usarlos todos juntos para limitar un tensor. Con las otras funciones, puede utilizar solamente F1 y F2 para limitar un tensor con los datos slickenside o fallas de rumbo, F3 y F4 con fracturas de cizalla y planos de deslizamiento, F8 para las fracturas de tensión y F9 para fracturas de compresión (Delvaux, 2014).



Figura 18: Ejemplos de Función F5 del Programa Win – Tensor (Delvaux, 2014).

2.2.10. MÉTODO DE DIEDROS RECTOS

Las fallas constituyen un elemento fundamental en cualquier tipo de análisis tectónico, sin bien, el rango en que suceden es amplio se puede abordar su estudio de diferentes enfoques. Uno de los puntos de vista es el análisis poblacional de fallas, la cual consiste en estudiar este conjunto de estructuras desde un punto de vista estadístico. Para esto, se miden los parámetros característicos de cada una de las fallas o estructura, como lo son, la orientación del plano de falla y de la estría de deslizamiento, así como el rumbo del movimiento (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

Cuando una falla se desplaza, el plano de falla y el plano perpendicular a la orientación del desplazamiento relativo entre los labios de falla, la cual está representada por las estrías de fricción, dividen el espacio en cuatro cuadrantes. Dependiendo del movimiento de los Diedros quedarán alternados en compresión y tensión (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

Si se considera que cada movimiento concreto de una falla responde a la acomodación del campo de esfuerzo – deformación sobre dicha estructura, resultará posible determinar las características de este campo regional desde el análisis de los movimientos (mecanismos focales) de las fallas relacionadas. Este problema inverso constituye lo que se ha venido a denominar como "análisis poblacional de fallas" (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

De un modo gráfico, si se suman las áreas de las zonas compatibles en compresión y extensión de todos los mecanismos focales disponibles, se podrán determinar las posibles orientaciones de los ejes de máxima compresión y extensión. Según queda orientados dichos ejes, se podrá deducir de una forma cualitativa el tipo de esfuerzo – deformación responsable del desplazamiento de las fallas. Esta suma de áreas proyectadas en un estereograma representa el método de los Diedros Rectos (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

Se muestran los tipos de mecanismos focales para diferentes tipos de fallas (sombreado: compresión, blanco: tensión). Se supone compresión horizontal según N-S y una extensión E-W comunes (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

- 1. Falla Normal.
- 2. Falla Normal Direccional
- 3. Falla direccional Normal
- 4. Falla de Desgarre.
- 5. Falla Direccional Inversa.
- 6. Falla Inversa Direccional.
- 7. Falla Inversa.



Figura 19: Diedros Rectos o mecanismos focales para distintas fallas (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

2.2.11. VETAS

Las vetas y vetillas son fracturas rellenas con mineral precipitado a partir de fluidos que circulan en su interior. El relleno puede presentarse masivo o en fibras. Cuando es masivo, el material cristalizó en cavidades abiertas, observándose normalmente cristales euhedrales, estas vetas se forman en niveles superficiales de la corteza terrestre, donde se tiene baja presión litostática y es posible la existencia de fracturas abiertas (Niemeyer, 1999).

Los yacimientos vetiformes tienen una simetría tabular, su origen puede ser una veta hidrotermal, un dique magmático o una zona de falla mineralizada (Niemeyer, 1999).



Figura 20: Veta y Mineralización (Griem, 2022).

2.2.12. YACIMIENTOS HIDROTERMALES

Los yacimientos hidrotermales son aquellos que se forman por soluciones gaseoso – líquidas mineralizadas calientes que circulan bajo la superficie de la tierra (Fluido Hidrotermal) (Smirnov, 1982). El Fluido Hidrotermal puede ser agua meteórica, agua diagenética, agua metamórfica o agua magmática.

La morfología de los Yacimientos Hidrotermales puede ser en diseminados, relleno de fracturas e irregulares (Fernández, 2019).

Los Yacimientos Hidrotermales se clasifican en:

- A. HIPOTERMALES: Se forma a gran profundidad entre 300 500 °C, son menas de grano grueso y las rocas encajonantes se encuentran fuertemente alteradas (Fernández, 2019).
- B. MESOTERMALES: Se forma entre 200 300 °C, los fluidos hidrotermales tienen ligera conexión con la superficie y la alteración es extensa (Fernández, 2019).
- C. EPITERMALES: Se forman próximos a la superficie (<1.5 Km) a temperaturas entre 50 200 °C, en filones, stockwork y/o chimeneas de brecha. Se relacionan con mineralización de Au, Ag, Cu, Pb, Zn. Asociado a vulcanismo calco alcalino a alcalino (Fernández, 2019).</p>

Los yacimientos epitermales se subdividen a su vez en:

- BAJA SULFURACIÓN: Yacimientos formados muy cerca de la superficie (+- 1 Km), relacionados con ambientes extensionales en zonas de arco magmático con mineralización de Au, Ag, Cu. Se da en vetas de reemplazamiento y raramente diseminado. Estos yacimientos están controlados de manera estructural dentro de litologías de baja permeabilidad. Su asociación mineralógica es: Galena, esfalerita, calcopirita, sulfosales de Ag (pirargirita, proustita), argentita, tetraedrita, mientras que, sus minerales de ganga son la pirita, carbonatos, cuarzo, clorita y rodocrosita. Presenta texturas como drusas, vetas brechadas, vetas bandeadas y relleno de espacios abiertos (Fernández, 2019).
- INTERMEDIA SULFURACIÓN: Depósitos formados muy cerca de la superficie, relacionados a ambientes extensionales en zonas de arco magmático con mineralización de Au, Ag, Pb, Zn con alteración adyacente a las estructuras con carbonatos principalmente. La mineralización se da en vetas y reemplazamiento principalmente. (Fernández, 2019).
- ALTA SULFURACIÓN: Yacimientos relacionados a la formación de alteraciones ácidas sílice alúmina a partir de fluidos ácidos (pH 1-3) con precipitación de metales de Au, Ag, Cu. La mineralización se da diseminada, vetillas y rellenando oquedades, raro como reemplazamiento (Fernández, 2019).



Figura 21: Yacimientos Hidrotermales (Fernández, 2019).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

ESFUERZOS: El esfuerzo o stress se define como la fuerza que se aplica sobre un plano cualquiera de un cuerpo, existen dos posibles estados de esfuerzo tectónico; el esfuerzo compresivo y el esfuerzo tensional (Niemeyer, 1999).

VETAS: Las vetas y vetillas son fracturas rellenas con mineral precipitado a partir de fluidos que circulan en su interior. El relleno puede presentarse masivo o en fibras (Oyarzun & Lillo, 2013).

MINERALIZACIÓN: Proceso mediante el cual los minerales son introducidos en la roca, dando como resultado la formación de yacimientos minerales de rendimiento económico (Dávila, 2011).

ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS: La estructura se refiere a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso (Dávila, 2011).

SISTEMA DE FALLAS: Es un grupo de fallas que se han generado en forma más o menos contemporánea y que siguen al mismo campo de esfuerzo o sistema estructural (Oyarzun & Lillo, 2013).

CONTROL ESTRUCTURAL: El control estructural estudia las particularidades geométricas de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionados con los procesos mecánicos (Boetsch, 2014).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. GEOGRÁFICA

La Unidad Minera Tangana está ubicada dentro de la concesión Karla 76 con 300 Ha de influencia, dentro del distrito minero de Huachocolpa.

La investigación se realiza en la Mina Tangana, la cual, se encuentra dentro de las siguientes coordenadas UTM – DATUM WGS-84 – ZONA 18S.

Tabla 4	4:	Coordenada	s de	la I	Mina	Tangana
	••	000140114444				i angana

COORDENADAS							
VÉRTICE	ESTE	NORTE					
1	500 000	8 562 000					
2	500 000	8 561 000					
3	499 000	8 561 000					
4	499 000	8 562 000					

3.1.2. POLÍTICA

La Unidad Minera Tangana se encuentra a unos 400.00 Km. en dirección SE de la ciudad de Lima, en el centro sur de la provincia de Huancavelica, en el distrito minero de Huachocolpa, exactamente, dentro del anexo Totorapampa.

Ver plano de ubicación en el Anexo 3, Plano 01.

3.1.3. ACCESIBILIDAD

Para acceder hacia la mina Tangana se toma la ruta Lima – Huancavelica cuya distancia es de 463.00 Km que se recorre aproximadamente en 9.00 horas por las vías Panamericana Sur y Carretera Central, ingresando hacia el distrito de Huachocolpa, para finalmente, dirigirse mediante trocha carrozable hacia la Unidad Minera Tangana.



Figura 22: Accesibilidad hacia la Unidad Minera Tangana (Google Maps, 2024).

3.2. PROCEDIMIENTOS

> ETAPA PRELIMINAR

En esta de etapa de la investigación se ha realizado una recopilación completa y detallada sobre la información geológica y estructural de la Mina Tangana y el distrito minero Huachocolpa mediante informes geológicos redactados en investigaciones previas a la apertura de la mina, por ejemplo, boletines geológicos obtenidos del INGEMMET y trabajos de investigación de consultores externos a la mina Tangana. Además de planos y la cartografía detallada de la zona realizados por Buenaventura en zonas aledañas.

ETAPA DE CAMPO

En esta etapa se realizó el reconocimiento superficial y subterráneo del área de estudio alcanzando a delimitar la zona a investigar. También, se realizó la observación y reconocimiento litológico y estructural dentro de la mina Tangana a fin de conocer los distintos controles de mineralización, especialmente, el estructural. Para ello, se analizó cada una de las vetas en interior mina y su proyección a superficie para conocer su emplazamiento en rumbo y buzamiento, evaluando también; la litología de las cajas, la textura, composición mineralógica de las vetas y las alteraciones hidrotermales alrededor. Finalmente, en este proceso se hizo la toma de datos necesarios para el desarrollo de la investigación para una mejor interpretación y análisis de los controles estructurales.

ETAPA DE GABINETE

En esta etapa se procesó los datos recolectados en campo, como primer punto se plasmó los mapeos geológicos de las vetas realizados en distintos niveles en un plano de trabajo, describiendo su mineralogía con la finalidad de entender el emplazamiento mineralógico relacionándolo con las características de la litología que en gran parte son homogéneas. Luego se realiza una serie de secciones transversales de acuerdo a sus coordenadas para realizar una proyección vertical, de este modo, se entiende la continuidad y control estructural en las vetas de la Mina Tangana

3.2.1. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo Explicativa porque se desarrolla de forma puntual un fenómeno que no se había tocado a detalle anteriormente en la Mina Tangana usando información primaria en el campo y también secundaria para encontrar el motivo de este, a su vez es Descriptiva porque se puntualiza las características de las estructuras analizando los datos tomados en campo. El nivel de la investigación es De Campo porque se basa en datos tomados directamente de la fuente primaria para alcanzar el objetivo planteado. El diseño es No Experimental porque los datos se han recolectado en una escala de tiempo único y determinado; y el método es Aplicado, ya que la investigación se enfoca en la consolidación de los resultados y el conocimiento que aporte para aplicarlo de manera continua en la realidad.

Tabla 5: Tipo	, Nivel, Diseño y	Método de	Investigación.
---------------	-------------------	-----------	----------------

Tipo de Investigación	Descriptivo – Explicativo				
Nivel de la Investigación	De Campo				
Diseño de la Investigación	No Experimental				
Método de la investigación	Aplicado				

Fuente: Adaptado de Hernández, (2010).

3.2.1.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Control estructural en la formación de vetas en la mina Tangana en un área de 1.00 Km².

3.2.1.2. MUESTRA

Litología, Mineralogía y Estructuras.

3.2.1.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

Tipos de roca, minerales mena y ganga, tipos de fallas y sus características.

3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Para la presente investigación se ha identificado las siguientes variables, esto, teniendo en cuenta la naturaleza y el tipo de investigación a realizar:

INDEPENDIENTES	DEPENDIENTE		
Esfuerzos			
Fases Tectónicas	- Constrol Fatruatural		
Formación de vetas	- Control Estructural		
Mineralogía	—		

Tabla 6: Identificación de Variables

3.2.3. TÉCNICAS

Las técnicas empleadas para la obtención de datos son la toma de estos directamente en campo, para lo cual, se han generado planos geológicos superficiales para plotear las vetas que afloran y también, planos geológicos subterráneos en las labores mineras detallando la mineralización, litología, azimut y buzamiento de todas las estructuras encontradas para la interpretación y análisis estructural mediante la aplicación de los softwares AutoCAD v.2021, ArcMap v.10.7.1, Dips v5.1 y Win Tensor v.5.0.1 con lo que finalmente se va a redactar el informe final.

3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

3.2.4.1. INSTRUMENTOS

Los instrumentos que se han usado para el desarrollo de la presente tesis son:

Planos Topográficos de Interior mina (E:1/250), se usó para el cartografiado geológico detallado de labores horizontales desarrolladas en veta.

Planos Geológicos de Superficie (E: 1/1000 y 1/2000), se usa con la finalidad de proyectar las vetas desde superficie a las distintas labores de la mina.

Informes Técnicos, estos informes se han usado con la finalidad de obtener información de referencia para el desarrollo de la investigación.

Libreta de Geólogo, para realizar las anotaciones de los frentes y de las vetas en campo.

3.2.4.2. EQUIPOS

Brújula Brunton, usado para la toma de datos de azimut y buzamiento tanto de las vetas como de las fallas que las controlan.

Cámara fotográfica, utilizada para el registro fotográfico de las vetas y los controles para luego ser anexado en el presente trabajo.

Flexómetro (5m), usado para la toma de medidas durante el cartografiado a escala de las vetas.

Protáctor (4 escalas), se usó para el cartografiado geológico a escala de las vetas tanto en superficie como en labores subterráneas.

Picota geológica, usado con la finalidad de extraer muestras de mano y evaluar el contenido o relleno de las estructuras cartografiadas.

Laptop, equipo usado para realizar el procesamiento de datos y redacción de la tesis.

Tablero de Mapeo, usado como soporte y almacenamiento de los cartografiados geológicos en interior mina y superficie.

Software ArcGIS v10.7.1, AutoCAD v.2021, se usó estos softwares para la elaboración de planos geológicos y estructural y el apoyo para el análisis, procesamiento e interpretación de las vetas y sus controles para definir el control estructural.

Software Dips v5.1, usado con la finalidad de procesar los datos estructurales y conocer la tendencia en rumbo y buzamiento de las estructuras.

Win Tensor v.2021, usado con el fin de procesar los datos estructurales y conocer la dirección y tendencia de los esfuerzos estructurales.

3.3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.3.1. GEOMORFOLOGÍA

El área donde se encuentra ubicada la mina Tangana se caracteriza por presentar una geomorfología irregular, ya que, a lo largo del tiempo ha existido una intensa actividad tectónica que ha modificado la superficie, además, que la geomorfología principal es de tipo glaciar y existe una fuerte precipitación que erosiona el terreno.

3.3.1.1. Valles

Se observan valles hacia el lado Sureste de la mina Tangana y es común observar los valles con forma de U, los cuales son característicos de la erosión glaciar.



Foto 1: Valles en U al SE de la mina Tangana.

3.3.1.2. Ríos

Dentro del área de estudio se puede observar un río principal que es afluente del río del Anexo Totorapampa. En este río se juntan todas las quebradas que fluyen de las partes altas y finalmente se unen al río Huachocolpa aproximadamente 2 Km aguas abajo.



Foto 2: Río al Noreste de la Mina Tangana.

3.3.1.3. Quebradas

En el área de estudio se observan diversas quebradas y en su mayoría se encuentran ligeramente alineadas a las estructuras principales estudiadas en la presente investigación (dirección NW – SE) y su flujo depende del nivel de precipitación.



Foto 3: Quebradas en los alrededores de la mina Tangana.

3.3.2. GEOLOGÍA LOCAL

La geología en el área de estudio se caracteriza por el afloramiento de rocas ígneas tanto volcánicas como intrusivas, siendo las rocas predominantes los volcánicos del Cenozoico con pequeños afloramientos de material intrusivo en superficie formando diques o domos de dimensiones no mayor a 100 m (Valdivia & Raymundo, 2003).

Por lo tanto, dentro del área de estudio se tiene a las Formaciones que pertenecen al Grupo Huachocolpa, las cuales son:

3.3.2.1. GRUPO HUACHOCOLPA

A) FORMACIÓN APACHETA (Nm-ap)

En la zona de estudio se diferencian dos de los tres miembros o secuencias que conforman a esta Formación.

Miembro Inferior: En las zonas aledañas a la mina Tangana no se observa afloramientos de este nivel de la Formación.

Miembro Superior: Las labores de la mina Tangana se han desarrollado dentro de este miembro reconociendo flujos lávicos y brechas de composición andesítica, las cuales han visto afectadas por alteración hidrotermal, producto de la formación de vetas, se ha observado intercalaciones con flujos piroclásticos influenciados también por hidrotermalismo. A su vez, afloran cuerpos subvolcánicos de textura porfirítica que cortan a las vetas de manera transversal.



Foto 4: Afloramiento de la Formación Apacheta al lado norte de Tangana.

Secuencia Tinqui: Esta secuencia que aflora en mayor volumen en las zonas superficiales de la mina Tangana está compuesta de brechas y capas andesíticas con coloración marrón – violácea – gris y presenta textura afanítica y porfirítica, se observan intercalaciones con flujos de brecha intermedia.

B) FORMACIÓN CHAHUARMA (Nm-ch)

Esta Formación no aflora en el área de estudio, pero se encuentra relacionado a los eventos de la Formación Apacheta, está compuesta por un complejo de centros volcánicos mayores a 15.00 Km (Valdivia & Raymundo, 2003).

C) DIQUES

Existen varios diques de forma tabular de 5.00 a 10.00 m. de grosor y con longitudes de 1.00 hasta 5.00 Km que afloran al largo del río Chahuarma y cortan a la Formación homónima de este río. Estos diques tienen composición andesítica de textura fanerítica con cristales de plagioclasas, biotita y matriz gris afanítica microcristalina (Valdivia & Raymundo, 2003).

470effe	Sistema	stema Serie Unidades Grosor Litológicas aprox. Descripción Litológica							Rocas Intrusivas y Subvolcánicas			
			Sector Orie	ntal		Gravas	Sector Occidental					
	CUATERNARIO	Holoceno Pleistoceno Plocono	Depósitos atuviales Depósitos bofedales Depósitos morrénicos Fm. Portugueza	×100		Conglomerados y arenas no compactados Depósitos de turba y lodo saturados en agua Gravas y limos débilmente compactadas Tobas de lapill y soldadas, brechas y lavas porfiriticas	Contros volcán Tacsana Cuchullo Andeala portínica Tobosodos		Contros volcáni Cuchullo Teoroscia	cos Paltamocco Lava ardeato basilica		
			Em Rembussi	-	× × × × × ×	Toba de coniza y de laoili blanca	Em Astrobarroba	200	¥.¥.¥.¥.¥	TTTT	00000	
DICA	NEÓGENO		Fm. Chahuarma	300		Lavas alanibcas y laneriticas, llujos piroclasticos en la base.	Fm. Augulviteo	250		Limoarcillitas y	Discordancia Constructions	Diques andesíticos
		Mioceno	Fm. Apacheta		inferior rocas volcano sedimentarias y sedimentarias provincial de la construcción de			X				
IN						Conglomerados intercalados con limoarcillitas,	Pm Costrovinoyna	400	television and the	v fluios piroclást	ficos intercalados	Microtonalitas y granodioritas
0			Fm. Romiciaca	200		Deventionos gradosos y lavos gris alambeos alteradas				~~~~~	Discordancia	
CEN	PALEÓGENO	Oligoceno			10000	V Discordanca / COCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC			T T T T T T T T T T T T T T T T T T T	,		
		Eoceno					Fm. Sacaaquero	900		Tobas blancas d	do ostuctura masiva	
							Pro, Tantará 70		**************************************	Brechas y lavas alleradas, en es	s gris verdosas algo stratos masivos	
		Paleoceno						_	0000000	~~~~	Discondancia ~~~	
		Suparior			X	Calizas en capas gruesos gris azulinas y lineas	Fm. Catapalea	600		Limoarcillas ro Glicadas, Iodolil	jo vino, bien estra- as rojas y conglomerada	в
MESOZOICA	CRETÁCEO	nienor	Fm. Pariotombo Fm. Chileo Fm. Chaylocotono Gpo. Goy/anoquego	>100 150 100 100		arcilitas Catizas grises y capas do lutitas calcáreas y magras Lavas andesilticas de textura amigdaloide Areniscas cuarzosas blancas Cuarcitas y areniscas cuarzosas Catizas gris claras bien estratificadas Catizas gris claras con abundante chert on capas dolgados						
	JURÁSICO	Superior Modio Inferior	Fm. Labra Fm. Chunumayo Fm. Condorsinga	200 150 600								

Figura 23: Columna Estratigráfica. Valdivia & Raymundo (2003).

3.4. CONTEXTO ESTRUCTURAL

La mina Tangana se encuentra dentro del distrito minero Huachocolpa, la cual, tiene una configuración estructural que ha sido desarrollada dentro de la tectónica Hercínica y Andina.

En la tectónica Hercínica se han desarrollado varias fases de deformación que generaron compresiones, reactivación de fallas antiguas y movimiento de bloques formando fallas inversas o normales que han dado lugar posteriormente a la sedimentación.

Un claro ejemplo es el sistema de fallas Chonta y los plegamientos que se presentan en las secuencias de la Formación Casapalca.

3.4.1. ESTRUCTURAS PRINCIPALES

3.4.1.1. LINEAMIENTOS CON DIRECCIÓN ANTIANDINA (NE-SO)

Estos lineamientos cortan longitudinalmente a las rocas Cenozoicas, probablemente, estos lineamientos se reactivaron durante las fases Quechua II y Quechua III, afectando de manera directa a las Formaciones Apacheta y Chahuarma, las mismas que dieron origen a las grandes erupciones explosivas del miembro inferior de la Formación Chahuarma (Valdivia & Raymundo, 2003).

3.4.1.2. DINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS CHONTA

La falla Chonta es una gran estructura de los Andes Centrales del Perú, es posible reconocerlo a lo largo de más de 200 Km, con orientación promedio 135° y buzamiento sub vertical (Rodríguez, 2008).

Según Wise, et al (2001), esta falla tuvo dos fases conjugadas de movimientos distintos; siendo inicialmente una falla inversa originada durante el evento compresivo Quechua I del Mioceno Inferior (21 a 14 Ma.) hasta que durante la fase Quechua III se reactivó con movimientos de tipo sinestral (Rodríguez, 2008).

El Evento I, entre el Mioceno Superior y Plioceno Inferior, corresponde a movimientos sinestrales, debido a una dirección de esfuerzos E – O, este evento se divide en tres sub – eventos (Rodríguez, 2008). El evento IA, entre 10.4 y 8 Ma. En la Zona 3, se origina fallas tensionales entre el sistema de fallas Chonta y las fallas Huancavelica – Huachocolpa, generando el emplazamiento de las

primeras manifestaciones del magmatismo correspondiente a la Formación Apacheta con edades de 10.4 a 9.7 Ma según McKee, et al. (1982) además de domos y diques andesíticos con edades de 9.45 Ma según Wise y Noble, (2001) (Rodríguez, 2008).

El evento IB, entre 8 y 6 Ma, origina áreas de Transtensión en las zonas 1, 2 y 4, y una zona de fallas tensionales en la zona 3 (entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa – Huancavelica). Correspondiente a este evento se emplazan en la zona 1 monzonitas entre 7.7 Ma según Stewart, et al; (1974) y 6.9 Ma, Giletti y Day, (1968). En la zona 2, se emplazan domos subvolcánicos relacionados con mineralización aurífera. En la zona 3, (entre el sistema de fallas Chonta y la falla Huachocolpa – Huancavelica) se emplazan domos relacionados con la mineralización aurífera datadas entre 7.5 a 6.0 Ma, Chenaux, (1988), y las primeras etapas de mineralización polimetálica del distrito minero de Huachocolpa. La mineralización y magmatismo de la zona 4 no está datado aún, pero es posible que corresponda al evento IB (Rodríguez, 2008).

El evento IC, entre 6 y 3.7 Ma, corresponde principalmente a las últimas etapas de mineralización del distrito minero de Huachocolpa 3.8 Ma según reportes de la unidad minera Recuperada, intrusiones de diques andesíticos datados en 3.8 Ma, Wise y Noble (2001) y las últimas etapas de la Formación Apacheta datada en 3.7 Ma, McKee, et al; (1982) (Rodríguez, 2008).

El evento II, menor a 3.7 Ma, corresponde a movimientos dextrales con componentes normal y afectan a toda la mineralización relacionada con el sistema de fallas Chonta. Es consecuencia de un cambio de la dirección de esfuerzos al NE – SW (orientación trasandina), lo que provoca el cierre de los sistemas estructurales relacionados con la mineralización (Rodríguez, 2008).

En el distrito minero de Huachocolpa, un dique datado entre 3.8 Ma, está afectado por una serie de movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta; del mismo modo, las vetas en el distrito minero de Huachocolpa que datan entre los 8 a 3.7 Ma, fueron afectadas por movimientos dextrales, en ambos casos, estas evidencias son producto de movimientos sinestrales del sistema de fallas Chonta que corresponden a los distintos eventos tectónicos ocurridos en el área (Rodríguez, 2008).



Figura 24: Eventos tectónicos ocurridos en el sistema de Fallas Chonta (Rodríguez, 2008).

3.4.1.3. SISTEMAS DE FALLAS HUACHOCOLPA – HUANCAVELICA

Son llamadas así un conjunto de fallas que se localizan alrededor de la localidad de Huachocolpa. Su rumbo es Andino y N - S, de carácter inverso y su orientación genera desplazamientos de las secuencias del Triásico y Jurásico.

Esta falla corre a lo largo del valle Atoccmarca con dirección N – S poniendo en contacto a los volcánicos de la Formación Domos de Lava al Oeste con las Formaciones Mesozoicas al Este. Existen además numerosas fallas paralelas a esta a lo largo del mismo valle. Las cuales aparentemente han sido activadas en diferentes momentos.

Esta falla se habría originado durante la fase compresiva del Eoceno Superior-Oligoceno Inferior y ha estado activa intermitentemente desde entonces (Valdivia & Raymundo, 2003).

El sistema de fallas Huachocolpa se ubica al lado NE del sistema de fallas Chonta y se relaciona con la segunda zona de eventos de este sistema. Por lo tanto, las fallas Huachocolpa las cuales dieron origen a una serie de vetas en el distrito minero homónimo tienen características similares a las fallas Chonta.

La Mina Tangana se encuentra entre el sistema de fallas Chonta y el Sistema de Fallas Huachocolpa, de las cuales, se tiene conocimiento que son fallas tensionales a escala regional del sistema de fallas Chonta. Esta zona se encuentra dentro del área de mineralización que se dio durante los eventos de apertura sinestrales dentro del sistema de fallas Huachocolpa - Huancavelica.



Figura 25: Referencia de la Mina Tangana entre el Sistema de fallas Chonta y Huachocolpa – Huancavelica. Adaptado de Rodríguez, (2008).

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. VETAS EN LA MINA TANGANA

En la mina Tangana se emplazan vetas de relleno y reemplazamiento, estas vetas suelen presentarse como brechas hidrotermales con bandeamiento de mineral mena (Galena, Esfalerita) y diseminación de Pirita en una matriz silicificada – carbonatada. Las rocas encajonantes son, por lo general, brechas andesíticas con mineralización económica polimetálica y ganga como pirita, cuarzo, rodonita y rodocrosita, etc.

En la mina Tangana, actualmente, se están desarrollando y preparando las vetas Tangana 1, Tangana 2, 1A, 1D y Cauca. De las cuales se tiene mayor conocimiento. A su vez, se tiene conocimiento de un sistema de estructuras reconocidas en superficie con composición mineral rentable y se encuentran dentro de la cubicación de recursos, pero no se tiene preparación en interior mina para estas, por lo que, su información es reducida al ser solo superficial.

Para la presente investigación el punto de análisis principal será los lineamientos estructurales que formen las distintas vetas y de este modo, poder analizar el control estructural para su formación.

A continuación, se va a dar detalle de cada una de las vetas desarrolladas y reconocidas con sus distintas características geológicas y estructurales.

4.1.1. VETA TANGANA 1

Esta estructura es la más desarrollada, en términos operativos, y es la que se encuentra más reconocida, por lo cual, es de la que se tiene mayor información, lo curioso de esta veta es que no aflora en superficie y fue reconocida mientras se buscaba explorar y desarrollar la veta Tangana 2.

Esta veta tiene un azimut promedio de N125° a N130° con buzamientos sub verticales que varían de S75°W a S80°W, el comportamiento de esta veta se

define como una tensional de la veta Tangana 2, siendo a su vez, un control estructural de esta.

En la veta Tangana 1 se observan zonas muy bien mineralizadas cercanas a la intersección con la veta Tangana 2 (Ore Shoots) siendo este el control estructural para su mineralización. El contenido de mineral aumenta de gran manera en las zonas de inflexión horizontal, al echarse la veta el contenido metálico aumenta. Sin embargo, cuando cambia ligeramente su orientación el contenido metálico se reduce notoriamente y al retomar sus condiciones normales la estructura mantiene estabilidad mineralógica. En cuanto a potencia, esta estructura es muy variable, pasando desde los 0.50 m. hasta los 2.00 m.



Foto 5: Vista de la veta Tangana 1 en dirección NW, Mina Tangana, Nivel 650.

4.1.2. VETA TANGANA 2

Esta veta fue considerada una de las más importantes y de mayor interés al momento de iniciar las operaciones en la mina Tangana, pero, al haberse desprendido la veta Tangana 1 esta estructura quedó como una opción lejana a desarrollar debido a la reducción de potencia y calidad de mineral a lo largo de más de 150.00 m en el Nv. 700 de la mina, ya que, en las cotas superiores al Nv. 780 esta veta presenta una mineralización continua y con buenos valores.

Su comportamiento estructural tiene en su totalidad características de cizallamiento sinestral. Por lo general, la estructura cuenta con mejor mineralización en su orientación al SE de la mina, cerca de la zona de

desprendimiento de la veta Tangana 1, esto debido a que hay una fuerte influencia en el punto conjunción de vetas donde la potencia es mayor, al igual que su contenido metálico.

Por lo tanto, esta veta al ser el control principal de la veta Tangana 1 ha generado que la mineralización sea controlada por la intersección de estructuras y mientras más no alejemos de esta, en vista vertical y horizontal, va a haber menor contenido metálico y menor potencia estructural para generar espacios abiertos y, por ende, menor precipitación de soluciones metálicas. Por lo cual, se espera una mejora estructural al superar los 150.00 m hacia el NW de la separación de estructuras.

El azimut promedio de esta estructura es de N315° a N320° con buzamientos sub verticales que varían de N80°E a N85°E. en el Nv. 700.



Foto 6: Vista de la veta Tangana 2 en dirección SE, Mina Tangana.

4.1.3. VETA 1A

La estructura en cuestión se ha considerado como una veta de baja ley con contenido metálico muy variable con altas cantidades de Esfalerita (ZnS), su potencia varía desde los 0.30 m hasta los 0.90 m. Las zonas con mayor contenido metálico se encuentran controladas estructuralmente por las vetas principales Tangana 1 y Tangana 2.

El comportamiento estructural de esta veta se define como una tensional entre la veta Tangana 2 y a su vez, corta a la veta Tangana 1, debido a esto, la mineralización se ha concentrado en las zonas de intersección entre las estructuras y en puntos equidistantes al cruzar la veta Tangana 1.

Esta veta tiene orientación de N290° a N300° y sus buzamientos son menos verticales variando de N60°E a N65°E. La dirección del buzamiento es la misma que la de la estructura Tangana 2.



Foto 7: Vista de la veta 1A en dirección NW, Mina Tangana, Nivel 700.

4.1.4. VETA 1D

La veta 1D tiene una potencia que varía entre los 0.30 m y 0.60 m, sin embargo, esta veta tiene abundancia en Galena (PbS) con altos contenidos de Ag. Esta veta es una tensional de la veta Tangana 1 con proyección a ser una posible estructura tipo sigmoide. Su mineralización se encuentra controlada estructuralmente por los cambios de buzamiento que presenta la estructura y su punto de intersección con la veta Tangana 1.

Esta veta tiene orientación de N110° a N120° y sus buzamientos son menos verticales variando de S70°W a S75°W en la parte alta, aumentando su verticalidad en profundidad hasta S85°W. La dirección del buzamiento es la misma que la de la estructura Tangana 1.



Foto 8: Vista de la veta 1D en dirección NW, Mina Tangana, Nivel 650.

4.1.5. VETA TANGANA 3

La veta Tangana 3 se ha reconocido claramente en superficie, pero, no se ha desarrollado plenamente en interior mina, esta estructura es casi paralela a Tangana 2 y se interpreta estructuralmente que su comportamiento es también de cizalla y posiblemente aquí se proyecte la veta Tangana 1. En cuanto a su mineralización, lo que se ha llegado a reconocer en el nivel 650, tiene zonas donde su potencia tiene en promedio 0.60 m. con buena mineralización, pero en su mayor parte la estructura es estéril. Se espera que en profundidad la estructura mejore.

Esta veta tiene una orientación promedio de N130° a N135° con buzamientos sub verticales que varían de S70°W a S75°W.

4.1.6. VETA TANGANA 4

La veta Tangana 4 se ha reconocido claramente en superficie, no se ha desarrollado aún con labores subterráneas, esta estructura tiene tendencia a ser una tensional de Tangana 2 y se interpreta estructuralmente que su comportamiento es también de cizalla y tiene distintas estructuras de tipo tensionales con dirección al SE y NE hacia la veta Tangana 3.

Esta veta tiene una orientación promedio de N155° a N160° con buzamientos sub verticales que varían de N65°E a N75°E.

4.1.7. VETA CAUCA

La veta cauca tiene una longitud aproximada de 1.0 Km. con relleno de plomo y zinc similar a la veta Tangana 1 y su roca encajonante es brecha andesítica.

El comportamiento estructural de esta veta es de tipo tensional y cizalla por lo que el clavo mineralizado se extiende en la horizontal y en la parte superior de la inflexión, siendo su control estructural los cambios leves de buzamiento y rumbo que generan zonas de apertura para la precipitación de minerales.

El azimut promedio de esta veta es de N330° a N335° con buzamientos que varían de N75°E a N80°E.



Foto 9: Afloramiento de la veta Cauca orientada al NW.

4.1.8. VETA ESTRELLA

La veta estrella actualmente solo ha sido reconocida en superficie y mediante sondajes, no se tiene labores aún en esta veta. En superficie se puede observar mineralización de plomo y zinc al igual que las vetas aledañas. Su comportamiento estructural es de tipo tensional que se extiende hasta la veta Tangana 4.

La orientación de esta estructura es N245° y su buzamiento es variable en toda la extensión de la veta que va entre N70°W hasta N85°W.

4.1.9. VETA VALENTINA

La veta Valentina es una estructura tensional que nace de la veta Tangana 2 y se extiende hasta superficie, esta veta a su vez está formada por varios ramales paralelos con mineralización de baja ley.

El azimut de estas estructuras varía de N195° a N200° con buzamientos promedio de N80°W a N85°W

4.1.10. VETA MORLUPO

La veta Morlupo es una tensional que nace en el lado NW de la veta Tangana 2, esta estructura se encuentra rellenada en mayor porcentaje de cuarzo y tiene un ancho mayor al promedio de las demás estructuras de su alrededor con mineralización polimetálica abundante en la zona alta de la mina.

Esta veta tiene una orientación promedio de N115° a N120° con buzamientos sub verticales que varían de N75°E a N80°E.

4.2. ORIGEN DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

Para entender el origen de las estructuras mineralizadas de la mina Tangana es conveniente observar desde una visión regional para reconocer los lineamientos estructurales y sistemas de fallas que controlen o tengan relación con las vetas de la mina Tangana. De este modo, se observa que, las estructuras importantes son dos lineamientos mayores denominados como; el sistema de fallas Chonta que tienen orientación andina (NW – SE) y el sistema de Fallas Huachocolpa – Huancavelica con orientación más próximas a N – S. Dentro de estos dos sistemas se encuentra lineamientos tensionales como las estructuras mineralizadas observadas en la mina Tangana con orientación Andina. Por lo tanto, el lineamiento de las vetas de la mina Tangana indican que están relacionadas directamente con el origen de Sistema de Fallas Chonta y sus tensionales.

Los estudios realizados por Pérez & Yparraguirre (2013) indican que el sistema de Fallas Chonta se originó durante el evento compresivo Quechua I en el Mioceno Inferior (21 a 14 Ma) iniciando como una falla inversa, luego, en la fase Quechua III (10 a 8 Ma) este se reactivó con movimientos sinestrales cesando

su actividad hace unos 3.8 Ma, según indica un dique que ha cortado a este sistema de fallas. En este estudio se define que el Sistema de Fallas Chonta no ha estado relacionado con el control de depósitos económicos ni a alteraciones hidrotermales ya que se mantuvo cerrado para el paso de fluidos hidrotermales. Sin embargo, las estructuras tensionales de este sistema de fallas dieron lugar a la mineralización económica.

Lo mencionado por Pérez & Yparraguirre (2013) se confirma con el estudio realizado por Rodríguez (2008) donde menciona que, existe dos eventos estructurales, uno de apertura y uno de cierre, además separa el sistema de Fallas Chonta en 4 Zonas estructurales. Como se observa en la figura 25 en el capítulo III, la mina Tangana se ubica en la Zona estructural 3. Con esta premisa, el primer evento estructural genera tensionales con movimiento sinestral entre el Sistema de Fallas Chonta y las Fallas Huachocolpa – Huancavelica debido a esfuerzos con dirección E – W datados entre 10.4 – 8.0 Ma (Rodríguez, 2008), además, da inicio al emplazamiento del magmatismo de la Formación Apacheta, luego define que el evento de tensionales sinestrales continúa conjuntamente con el emplazamiento de domos relacionados a mineralización aurífera y dando inicio también a los primeros indicios de mineralización polimetálica en el Distrito Minero de Huachocolpa (Rodríguez, 2008). Esta primera etapa termina con los últimos eventos de mineralización polimetálica datados en 3.8 Ma según reportes técnicos de la Unidad Minera Recuperada, además de, intrusiones de digues andesíticos datados también en 3.8 Ma (Wise & Noble, 2001) y los últimos eventos de magmatismo de la Formación Apacheta. El segundo evento, datado con edades menores de 3.7 Ma por Wise & Noble (2001) corresponde a una etapa de cierre con movimientos dextrales y componente Normal resultado de un cambio de dirección de esfuerzos de E – W a NE – SW, generando que las estructuras se cierren (Rodríguez, 2008).

Por lo tanto, el origen de las estructuras mineralizadas en la mina Tangana son tensionales hacia el NW de las fallas Chonta y Huachocolpa - Huancavelica con movimientos sinestrales y generando así zonas de apertura (Jog Estructural) para la filtración de fluidos hidrotermales generando mineralización económica en el área de estudio con edades de 8.0 a 3.8 Ma, esto indica la relación genética entre la mineralización y la actividad ígnea en la zona.



Figura 26: Relación entre el sistema de Fallas Chonta con las vetas de la mina Tangana. Adaptado de Rodríguez (2008).

4.3. CONTROL ESTRUCTURAL DE VETAS EN LA MINA TANGANA

El análisis estructural de las vetas en la mina Tangana se realiza en las estructuras principales considerando también los sistemas de fallas con pequeños saltos o movimientos que las cortan y controlan. Para este fin, se ha usado la representación gráfica de las vetas a partir del cartografiado geológico detallado de las labores subterráneas, para generar una representación estadística en estereogramas polares, de densidad, rosetas e histogramas, de este modo, se podrá conocer la tendencia de los esfuerzos tectónicos que originaron su formación y así definir su control estructural.

Como punto de partida, tenemos que las vetas emplazadas en la mina Tangana tienen, en su mayoría, orientación NW – SE (Andina) y son sinuosas en su continuidad tanto horizontal como vertical variando su rumbo y echado a lo largo de las labores que se han desarrollado. Asimismo, los buzamientos de estas vetas son sub verticales y oscilan desde los 70° hasta los 87°.

Con las premisas mencionadas en el apartado 4.2 se tiene una idea general de las tendencias y del tipo de movimiento que han tenido las estructuras, así como su edad de formación. Además, para tener un mejor resultado del control estructural de las vetas en la mina Tangana se va a analizar cada una de las vetas para definir con mayor detalle las características estructurales que han favorecido a su formación, así como los esfuerzos principales y tendencias de rumbo que estas presentan.

Para este análisis se ha usado el Software RockScience Dips v5.1. Para este primer análisis se agrupan las 10 vetas descritas anteriormente, así se podrá conocer de manera gráfica y estadística la tendencia del comportamiento estructural de dichas estructuras.

Luego, se va a analizar 5 de las vetas mediante el software Win Tensor v5.0.1 para conocer su comportamiento estructural y los esfuerzos que han afectado en su formación, estas 5 estructuras que se van a desarrollar son de las que se tiene mayor información, ya que, se han reconocido mediante labores subterráneas en los distintos niveles de la mina Tangana.
4.3.1. DISTRIBUCIÓN DE POLOS DE LAS VETAS

Al realizar el análisis de los polos con los datos de Dip y Dip Direction en el software es notable observar que de las 10 vetas de la mina Tangana que se están analizando, son 5 vetas cuyos polos se ubican al Norte y 5 de ellas se ubican con orientación contraria al Sur, esto se debe a que, las estructuras con polos ubicados entre NE – SW son las estructuras principales en este sistema, y las que se ubican al SE son vetas conjugadas o tensionales de las principales.



Figura 27: Diagrama de Polos de las vetas en la mina Tangana.

4.3.2. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LAS VETAS

Como se puede observar en la figura 28, la mayor concentración de polos de las 10 vetas analizadas se encuentra hacia el lado NE como se puede observar en la distribución de los polos. La máxima concentración al NE equivale a la 27.45%. Sin embargo, al lado contrario (SW) se puede observar menos concentración de polos que están dispersos. Esto confirma que las estructuras mineralizadas principales en la mina Tangana tienen orientación NW/SE. La baja concentración que se observa hacia el SE forma parte de tensionales que nacen de las estructuras principales, que también se encuentran mineralizadas.



Figura 28: Distribución de Polos de las vetas en la mina Tangana.

4.3.3. FAMILIA DE ESTRUCTURAS

De las 10 vetas que se analizan de la mina Tangana es posible separarlos en 3 familias de acuerdo a su tendencia de polos. Teniendo como Familia 1 (Fam1) a la serie de estructuras con mayor grupo de concentración que son las agrupadas hacia el NE y su orientación promedio es 74°/222°. La segunda familia (Fam2) que tiene una concentración media de estructuras con grupo de polos al SW tiene su orientación promedio de 75°/49°. Finalmente, la tercera familia de estructuras se delimitó con las estructuras que tienen polos al SE y su orientación promedio es de 79°/312. Así se confirma que existen dos familias de estructuras con orientación NW/SE y una familia de vetas con orientación NE/SW.



Figura 29: Familias que conforman las vetas en la mina Tangana.

4.3.4. ROSETA ESTRUCTURAL

Con la Roseta Estructural se confirma la tendencia principal de las estructuras mineralizadas en la mina Tangana, siendo la orientación de las estructuras principales de tipo Andina (NW/SE), mientras que, en menor porcentaje se tiene estructuras con orientación de tipo Trasandina (NE/SW).



Figura 30: Diagrama de roseta Estructural de las vetas en la mina Tangana.

En la siguiente figura se muestra el rango de buzamientos de las distintas estructuras analizadas siendo este de 75° a 77.5°. por lo tanto, las vetas en la mina Tangana suelen ser sub verticales en su gran mayoría, aunque se sabe que los buzamientos suelen variar dependiendo de la cota en la que se analice o de acuerdo a como vayan profundizando.



Figura 31: Diagrama de intervalo de los buzamientos de las Estructuras.

4.4. SISTEMA DE FALLAS TRANSVERSALES EN LAS VETAS

Una vez analizado el control estructural de las vetas en conjunto se va a analizar cada una de estas de modo individual con cada una de las fallas que las afectan y controlan a una escala local, la data para este análisis nace del mapeo geológico a detalle que se realiza en las labores de preparación y exploración en la mina Tangana. Para este análisis se ha visto conveniente detallar 5 de las vetas mencionadas, ya que, son las vetas con más información en la mina Tangana, se realiza mediante el software RockScience Dips v5.1, con la finalidad de conocer la tendencia de las fallas y cuál es su influencia en las vetas.

Las vetas que se va a tomar en cuenta para el análisis estructural son: Tangana 1, Tangana 2, Tangana 3, 1A y Cauca, debido a que, estas vetas son las más desarrolladas en la mina Tangana y se tiene labores con mejores condiciones para la toma de datos y mapeos geológicos.

Para la toma de datos de las fallas se han tomado en cuenta solo aquellas que tienen abertura mayor a 2.00 cm, relleno como gouge o brecha de falla, además de su continuidad en los distintos niveles de la mina Tangana.

4.4.1. SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 1

Para el análisis del sistema de fallas que controlan y cortan esta veta se ha visto conveniente tomar datos en el SN. 255 NW y SN. 255 SE, considerado el piso 1 del Nivel 650 de la mina Tangana.

Este subnivel tiene un desarrollo lineal de 238.50 m. y en los cuales se ha mapeado 12 fallas que cuentan con las características antes mencionadas para realizar el análisis correspondiente.

4.4.1.1. DISTRIBUCIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 1

Las fallas que cortan a esta veta forman un sistema de distribución de polos orientados tanto al NW como al SE, en la orientación andina de la veta principal, esto indica evidentemente que las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta.

Se observan dos fallas también que buzan hacia el SW, estas se interpretan como estructuras que nacen de la misma veta como tensionales, estas a su vez, indicarían el desplazamiento horizontal o reactivación de las cajas de la veta.



Figura 32: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Tangana 1.

4.4.1.2. CONCENTRACIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 1

Las fallas que cortan esta veta tienen mayor concentración de polos orientados al SE con un porcentaje de 21.40%, en la orientación sur de la veta principal, esto indica que las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta y sus direcciones de buzamiento son con tendencia al sureste.



Figura 33: Distribución de Polos de las fallas en la veta Tangana 1.

4.4.1.3. FAMILIAS DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 1

Se observa en la siguiente figura que ambas familias (1m y 2m) cortan al plano que forma la veta Tangana 1 (TN1) de manera transversal y con buzamientos contrarios afectando a la veta en dos direcciones formando una serie pequeños de saltos que controlan tanto a la veta como a la mineralización. Se ha visualizado en campo que algunas de estas fallas arrastran el mineral de la veta unos metros; y otras, por el contrario, han sellado el paso del fluido reduciendo la mineralización. Sin embargo, se sabe que cuando el fallamiento ha sido después de la formación de la veta, este solo causa pequeños saltos sin afectar el contenido de mineral.



Figura 34: Familia de fallas en la veta Tangana 1.

4.4.2.1. ROSETA ESTRUCTURAL DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 1

En la roseta estructural se observa con mayor detalle la tendencia de las fallas, observando su orientación NE/SW se confirma el corte transversal con respecto a la veta Tangana 1, tal cual se observa en la figura que se adjunta a continuación.



Figura 35: Roseta Estructural de las fallas en la veta Tangana 1.

El plano del mapeo geológico de la veta Tangana 1 con las fallas que la controlan se puede visualizar en el anexo 03, plano N°03. Con el plano se observa de manera más gráfica la tendencia de las fallas y como han afectado a la veta.

4.4.2. SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 2

Para el análisis del sistema de fallas que controlan a esta veta se han tomado datos en la GL. 6700 SE y GL. 6700 NW, en el Nivel 700 de la mina Tangana, un nivel hacia arriba de donde se tomó los datos de la veta Tangana 1.

Esta galería tiene un desarrollo lineal de 280.00 m. en los cuales se ha mapeado 13 fallas que cuentan con las características antes mencionadas para realizar el análisis correspondiente.

4.4.2.1. DISTRIBUCIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 2

Las fallas que cortan a esta veta forman un sistema de distribución de polos orientados al SE principalmente, además de, polos discontinuos orientados al lado NW y SW, esto indica que la mayor cantidad de fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta y 3 de ellas tienen un comportamiento tipo tensional al encontrarse en el mismo cuadrante donde se encuentra el polo de la veta Tangana 2.



Figura 36: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Tangana 2.

4.4.2.2. CONCENTRACIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 2

Las fallas que cortan a la veta Tangana 2 tienen mayor concentración de polos orientados al SE con un porcentaje de 18.45 %, estas características en las fallas son similares a las de la Veta Tangana 1, esto indica que las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta y sus direcciones de buzamiento son con tendencia al sur.



Figura 37: Distribución de Polos de las fallas en la veta Tangana 2.

4.4.2.3. FAMILIAS DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 2

Se observa en la siguiente figura que ambas familias cortan trasversalmente al plano que forma la veta Tangana 2 (TN2) y con buzamientos similares afectando a la veta en una sola dirección formando una serie de pequeños saltos que controlan tanto a la continuidad estructural de la veta como a la calidad de la mineralización.



Figura 38: Familia de fallas en la veta Tangana 2.

4.4.2.4. ROSETA ESTRUCTURAL DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 2

En la roseta estructural se observa con mayor detalle la tendencia de las fallas, observando su orientación NE/SW, lo cual, corrobora el corte transversal con respecto a la veta Tangana 2, así como se observa en la figura que se adjunta a continuación.



Figura 39: Roseta Estructural de las fallas en la veta Tangana 2.

El plano de mapeo geológico de la veta Tangana 2 y sus fallas se puede visualizar en el anexo 03, plano N°04. Con el plano se observa de manera más gráfica y detallada la tendencia de las fallas y como han afectado a la veta.

4.4.3. SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 3

Para el análisis del sistema de fallas que controlan a esta veta se han tomado datos en la GL. 6169 NW, en el Nv. 650 de la mina Tangana. Al mismo nivel en el cual se ha tomado la data para analizar la veta Tangana 1, la cual tiene la misma orientación de buzamiento que la veta Tangana 3. Esta galería tiene un desarrollo lineal de 120.00 m. en los cuales se ha mapeado 5 fallas que cuentan con las características necesarias para realizar el análisis, se presentaron venillas angostas de Qz-Carbonato, con potencia menor a 1.00 cm. que nacen de la veta principal y no fueron de relevancia para el estudio.

4.4.3.1. DISTRIBUCIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 3

Las fallas que cortan a esta veta forman un sistema de distribución de polos orientados al SE principalmente, además de, un solo polo hacia el lado NW, esto indica que estas fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta, además hay un polo de falla en el mismo cuadrante que de la veta indicando un comportamiento tensional de la falla.



Figura 40: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Tangana 3.

4.4.3.2. CONCENTRACIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 3

Las fallas que cortan a esta veta tienen mayor concentración de polos orientados al SE con un porcentaje de 26.41%, en la orientación sur de la veta principal al igual que la Veta Tangana 2 y la veta Tangana 1, esto indica que las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta y con tendencia al sur. Hasta el momento, las fallas que ha interceptado, cortado o controlado a las vetas tienen la misma tendencia en sus polos, lo que indica el comportamiento principal de los esfuerzos que ha afectado a las estructuras.



Figura 41: Distribución de Polos de las fallas en la veta Tangana 3.

4.4.3.3. FAMILIAS DE FALLAS EN LA VETA TANGANA 3

Se observa en la figura 42 que existe solo una familia de fallas que corta de manera transversal al plano de la veta Tangana 3 (TN3) afectando a la veta en una sola dirección formando una serie de pequeños saltos que controlan la continuidad estructural de la veta y su calidad de mineralización.



Figura 42: Familia de fallas en la veta Tangana 3.

4.4.3.4. ROSETA ESTRUCTURAL FALLAS EN LA VETA TANGANA 3

En la roseta estructural se observa con mayor detalle la tendencia de las fallas, observando su orientación NE/SW confirmando así, el corte transversal con respecto a la veta Tangana 3, tal cual se observa en la figura.



Figura 43: Roseta Estructural de las fallas en la veta Tangana 3.

El plano geológico a detalle de la veta Tangana 3 con las fallas que la cortan y sus características se puede visualizar en el anexo 03, plano N°05. Con el plano se observa de manera gráfica la tendencia de las fallas y la veta.

4.4.4. SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA 1A

Para el análisis del sistema de fallas que controlan a esta veta se ha tomado datos en el SN 200 SE, ubicado en el Nivel 650 de la mina Tangana. Este subnivel tiene un desarrollo lineal de solo 40.00 m. en un clavo mineralizado de la veta 1A, en los cuales se ha mapeado 7 fallas que cuentan con las condiciones para realizar el análisis estructural. Se observa que, a diferencia de las vetas anteriores, esta veta tiene menor avance y una cantidad de fallas en promedio mayor. Esto se debe a que esta veta es una tensional que se reconoce desde la veta Tangana 2 y cruza a la veta Tangana 1, su emplazamiento se encuentra en una zona alterada previamente por las estructuras principales.

4.4.4.1. DISTRIBUCIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA 1A

Las fallas que cortan a esta veta forman un sistema de distribución de polos orientados al SE principalmente, además de, un solo polo hacia el lado NW, esto indica que todas las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta y la mayor parte de estas con dirección de buzamiento al Sur.



Figura 44: Diagrama de Polos de las fallas en la veta 1A.

4.4.4.2. CONCENTRACIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA 1A

Las fallas que cortan esta veta tienen mayor concentración de polos orientados al SE con un porcentaje de 33.64%, en la orientación sur de la veta principal al igual que la Veta Tangana 3, esto indica que las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta. Se observa que la distribución de fallas se mantiene con la misma orientación, por lo tanto, el comportamiento estructural de esta veta está relacionada con los eventos que afectaron a las vetas ya mencionadas, a pesar, de que esta veta es un Split de las vetas principales.



Figura 45: Distribución de Polos de las fallas en la veta 1A.

4.4.4.3. FAMILIAS DE FALLAS EN LA VETA 1A

Se observa en la siguiente figura que existe solo una familia de fallas que cortan al plano que forma la veta 1A (F1) de manera transversal afectando a la veta generalmente en una sola dirección y formando así pequeños de saltos que controlan la continuidad de la veta y su mineralización.



Figura 46: Familia de fallas en la veta 1A.

4.4.4.4. ROSETA ESTRUCTURAL DE FALLAS EN LA VETA 1A

En la roseta estructural se observa con mayor detalle la tendencia de las fallas, observando su orientación NE/SW se confirma el corte transversal con respecto a la veta 1A cuya orientación es Andina (NW/SE).



Figura 47: Roseta Estructural de las fallas en la veta 1A.

El plano del mapeo geológico de la veta 1A con las fallas que la controlan se puede visualizar en el anexo 03, plano N°06. Con el plano se corrobora la tendencia de las fallas y como afectaron a la veta.

4.4.5. SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA CAUCA

Para el análisis del sistema de fallas que controlan a esta veta se ha tomado datos en la GL. 8409 NW y GL. 8409 SE, ubicado en el Nivel 650 de la mina.

Este subnivel tiene un desarrollo lineal de 400.00 m. una labor de exploración en la veta, en esta labor se ha mapeado 9 fallas que cuentan con las condiciones para realizar el análisis estructural. En esta labor se ha evidenciado que las cajas de la veta se encuentran bastante alteradas (argilización alta) causando inestabilidad, sin embargo, hay pocas fallas que controlen la veta, la mineralización aquí es muy variable.

4.4.5.1. DISTRIBUCIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA CAUCA

Las fallas que cortan esta veta forman un sistema de distribución de polos orientados al SE principalmente, además de, un solo polo hacia el lado NW, esto indica que todas las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta y la mayor parte de estas con dirección de buzamiento al Sureste.



Figura 48: Diagrama de Polos de las fallas en la veta Cauca.

4.4.5.2. CONCENTRACIÓN DE POLOS DEL SISTEMA DE FALLAS EN LA VETA CAUCA

Las fallas que cortan esta veta tienen mayor concentración de polos orientados al SE con un porcentaje de 25.37%, en la orientación sur de la veta principal al igual que las vetas anteriores, esto indica que las fallas se encuentran cortando transversalmente a la veta. Se observa que la concentración de polos tiende a distribuirse hacia el lado Sureste, esta veta es paralela a la veta Tangana 2 con buzamientos similares, esta distribución confirma que el control estructural no ha variado y que pertenecen al mismo sistema estructural.



Figura 49: Distribución de Polos de las fallas en la veta Cauca.

4.4.5.3. FAMILIAS DE FALLAS EN LA VETA CAUCA

Se observa en la siguiente figura que existe solo una familia de fallas que cortan al plano que forma la veta Cauca de manera transversal afectando a la veta generalmente en una sola dirección y formando así saltos que controlan la continuidad de la veta y su mineralización.



Figura 50: Familia de fallas en la veta Cauca.

4.4.5.4. ROSETA ESTRUCTURAL DE FALLAS EN LA VETA CAUCA

En la roseta estructural se observa con mayor detalle la tendencia de las fallas, observando su orientación NE/SW se confirma el corte transversal con respecto a la veta Cauca cuya orientación es Andina (NW/SE).



Figura 51: Roseta Estructural de las fallas en la veta Cauca.

El plano del mapeo geológico de la veta 1A con las fallas que la controlan se puede visualizar en el anexo 03, plano N°07. Con el plano observa de manera gráfica la tendencia de las fallas y como afectaron a la veta.

4.5. ANÁLISIS DEL CONTROL ESTRUCTURAL CON WIN TENSOR

Mediante este software se analizó las fallas haciendo uso de las características de los lineamientos o microestructuras como estrías, escamas de arrastre, escamas de arranque, entre otros, tanto de las fallas como de las vetas en las que se observó con claridad los espejos de falla y las cajas de las vetas.

Se han tomado datos sobre las microestructuras visibles en algunas de las fallas de la veta Tangana 1 durante el proceso de tajeo en el nivel 650, el tajeo en el nivel 700 de la veta Tangana 2 y el avance de la veta Cauca en el nivel 650. Cabe destacar que la formación de microestructuras depende de los materiales que rellenen las fallas y el nivel de energía que se haya aplicado.

Los datos de las microestructuras analizadas indican la dirección de los esfuerzos que influenciaron en la formación de las vetas, el análisis mediante polos de fallas indicó que la mayor distribución de fallas se encuentra hacia el lado SE en las vetas analizadas dando indicios del comportamiento estructural.

Por lo tanto, los datos fueron tomados en los planos observables en el nivel 650 y 700 de la mina Tangana, se va a visualizar de manera gráfica en estereogramas con los respectivos desplazamientos y ejes de esfuerzo principales mediante la optimización rotacional y diedros rectos.

A continuación, se presenta fotos con las microestructuras observadas en las vetas, Tangana 1, Tangana 2 y Cauca. Cuyos datos se han tomado de manera cuidadosa en interior mina.



Foto 10: Planos Ondulados en la caja piso de la veta Tangana 1.

En la foto 10 se observa planos ondulados con aspecto de costra que indican la dirección de movimiento de la veta Tangana 1 mostrando que la caja piso (plano que se observa en la foto) ha tenido un desplazamiento descendente, lo que indica un movimiento normal con respecto al techo, y su orientación va al lado izquierdo o NW, este movimiento indica un desplazamiento sinestral con respecto al techo de la veta. Por lo tanto, se interpreta un desplazamiento de tipo Sinestral con componente Normal (desplazamiento indicado por la flecha de color negro). Se grafica con líneas punteadas el desplazamiento de la caja techo, ya que, en campo esta caja ha sido minada.



Foto 11: Planos Ondulados en la caja piso de la veta Tangana 2.

En la foto 11 se observa planos ondulados que indican la dirección de movimiento de la veta Tangana 2 mostrando que la caja piso, en el hastial izquierdo de la labor con dirección al NW, (plano que se observa en la foto) se desplaza ascendentemente, indicando un movimiento normal con respecto a la caja techo y se desplaza hacia el lado izquierdo o SE, indicando un desplazamiento sinestral en relación a la caja techo. Por lo tanto, se interpreta un desplazamiento de tipo Sinestral con componente Normal (desplazamiento indicado por la flecha de color negro). Se grafica con líneas punteadas el desplazamiento de la caja techo, ya que, en campo esta caja ha sido minada.



Foto 12: Planos Ondulados en la caja piso de la veta Cauca.

En la foto 12 se observa planos ondulados que indican la dirección de movimiento de la veta Cauca mostrando que la caja piso (plano que se observa en la foto) se desplaza ascendentemente, indicando un movimiento normal con respecto a la caja techo y se desplaza hacia la izquierda o SE, indicando un desplazamiento sinestral. Por lo tanto, se interpreta un desplazamiento de tipo Sinestral con componente Normal. Se grafica con líneas punteadas el desplazamiento de la caja techo, ya que, en campo esta caja ha sido minada.

De las microestructuras que se ha analizado se puede observar que, en las vetas analizadas se tienen desplazamientos oblicuos de tipo Sinestral – Normal. Para confirmar el análisis microestructural se realiza el procesamiento de la data mediante el software Win Tensor v.5.01.

4.5.1. ANÁLISIS DE LA VETA TANGANA 1 CON WIN TENSOR

Esta estructura es una veta de relleno hidrotermal cuya roca encajonante es una brecha andesítica principalmente en las zonas más superficiales, pero en las zonas de mayor profundidad, esta veta se emplaza en rocas de lava andesítica afanítica y porfiríticas haciendo intercalaciones entre estos dos tipos de litología, el análisis se realiza en la propia estructura y las fallas transversales que la cortan, esto con la finalidad de entender el comportamiento estructural de esta veta que nace de Tangana 2 como una tensional hacia el NW.



Figura 52: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Tangana 1.

En el estereograma, se analiza a la veta Tangana 1; cuyo azimut promedio es de N125° a N130° y buzamientos que oscilan entre 75° y 80° hacia el SW, además de las 12 fallas que la cortan. Los ejes principales de esfuerzos estructurales de esta veta son: σ_1 (21°/254°), visto gráficamente como flechas azules con dirección SW – NE y σ_3 (07°/346°), visto gráficamente como flechas rojas con dirección NW – SE. Además, se observa la zona influenciada por σ_2 (68°/095°) el cual es el esfuerzo vertical.

Para definir el control estructural de la veta Tangana 1 y confirmar lo evaluado en las microestructuras se realizó el análisis por Diedros Rectos a partir de los esfuerzos que ya se han observado.



Figura 53: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Tangana 1.

Se observa una distribución de esfuerzos de compresión representado por las zonas sombreadas hacia el NW – SE del estereograma, lo que indica un esfuerzo de tipo transcurrente generando un sistema de fallas tipo Sinestral y Normal, según (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

4.5.2. ANÁLISIS DE LA VETA TANGANA 2 CON WIN TENSOR

Del mismo modo que la veta Tangana 1, esta veta es de relleno de mineral y su caja principal es brecha andesítica. Esta veta, como estructura, es uno de los lineamientos principales que controlan a la veta Tangana 1 y 1A generando áreas de bonanza en las zonas de intersección de estructuras.



Figura 54: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Tangana 2.

En el estereograma, se analiza a la veta Tangana 2; cuyo azimut promedio es de N315° a N320° y buzamientos que oscilan entre 80° y 85° hacia el NE, además de las 13 fallas que la cortan en el NV 700. Los ejes principales de esfuerzos estructurales de esta veta son: σ_1 (03°/079°), visto gráficamente como flechas azules con dirección SW – NE y σ_3 (37°/172°), visto gráficamente como flechas rojas con dirección NW – SE. Además, se observa la zona influenciada por σ_2 (53°/345°) el cual es el esfuerzo vertical.

Para definir el control estructural de la veta Tangana 2 y confirmar lo evaluado en las microestructuras se realizó el análisis por Diedros Rectos a partir de los esfuerzos que ya se han observado.



Figura 55: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Tangana 2.

Se observa una distribución de esfuerzos de compresión representado por las zonas sombreadas hacia el NW – SE del estereograma, aunque con mayor tendencia N – S en relación a la veta Tangana 1, lo que indica un esfuerzo de tipo transcurrente generando un sistema de fallas tipo Sinestral y Normal, según (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

4.5.3. ANÁLISIS DE LA VETA TANGANA 3 CON WIN TENSOR

Esta estructura es una veta de relleno hidrotermal emplazada en brechas andesíticas principalmente, el análisis se realiza con la finalidad de entender el comportamiento estructural de esta veta cuya orientación es similar a la de la veta Tangana 2.



Figura 56: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Tangana 3.

En el estereograma, se analiza a la veta Tangana 3; cuyo azimut promedio es de N130° a N135° y buzamientos que oscilan entre 70° y 75° hacia el SW, además de las 5 fallas principales que la cortan en el NV 650. Los ejes principales de esfuerzos estructurales de esta veta son: σ_1 (27°/248°), visto gráficamente como flechas azules con dirección SW – NE y σ_3 (25°/144°), visto gráficamente como flechas rojas con dirección NW – SE. Además, se observa la zona influenciada por σ_2 (51°/018°) el cual es el esfuerzo vertical.



Figura 57: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Tangana 3.

Se observa una distribución de esfuerzos de compresión representado por las zonas sombreadas hacia el NW – SE del estereograma, lo que indica un esfuerzo de tipo transcurrente generando un sistema de fallas tipo Sinestral y Normal, según (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

4.5.4. ANÁLISIS DE LA VETA 1A CON WIN TENSOR

La veta 1A es una estructura de relleno hidrotermal emplazada en brechas andesíticas, el análisis se realiza en la estructura y las fallas que la cortan, con la finalidad de entender el comportamiento estructural de esta veta que se intercepta y cruza a Tangana 1 y tiene características de ser una tensional o ramificación que nace desde la veta Tangana 2.



Figura 58: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta 1A.

En el estereograma, se analiza a la veta 1A; cuyo azimut promedio es de N290° a N300° y buzamientos que oscilan entre 60° y 65° hacia el NE, además de las 6 fallas principales que la cortan en el NV 650. Los ejes principales de esfuerzos estructurales de esta veta son: σ_1 (13°/061°), visto gráficamente como flechas azules con dirección SW – NE y σ_3 (09°/153°), visto gráficamente como flechas rojas con dirección NW – SE. Además, se observa la zona influenciada por σ_2 (74°/276°) el cual es el esfuerzo vertical.



Figura 59: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta 1A.

Se observa una distribución de esfuerzos de compresión representado por las zonas sombreadas hacia el NW – SE del estereograma, lo que indica un esfuerzo de tipo transcurrente generando un sistema de fallas tipo Sinestral y Normal, según (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

4.5.5. ANÁLISIS DE LA VETA CAUCA CON WIN TENSOR

La veta Cauca es una estructura principal, al igual que Tangana 2 y Tangana 3 con características de relleno hidrotermal con mineralización polimetálica. Esta veta contiene clavos mineralizados sobre el nivel 650 reconocidos durante su desarrollo, donde se observa su comportamiento estructural tipo tensional.



Figura 60: Análisis con Win Tensor de las fallas en la veta Cauca.

En el estereograma, se analiza a la veta Cauca; cuyo azimut promedio es de N330° a N335° y buzamientos que oscilan entre 75° y 80° hacia el NE, además de las 9 fallas principales que la cortan en el NV 650. Los ejes principales de esfuerzos estructurales de esta veta son: σ_1 (21°/254°), visto gráficamente como flechas azules con dirección SW – NE y σ_3 (22°/155°), visto gráficamente como flechas rojas con dirección NW – SE. Además, se observa la zona influenciada por σ_2 (59°/22°) el cual es el esfuerzo vertical.



Figura 61: Análisis mediante Diedros Rectos de la veta Cauca.

Se observa una distribución de esfuerzos de compresión representado por las zonas sombreadas hacia el NW – SE del estereograma, lo que indica un esfuerzo de tipo transcurrente generando un sistema de fallas tipo Sinestral y Normal, según (De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992).

Al evaluar cada una de las vetas se observa lo siguiente:

- La veta Tangana 1, la cual es una estructura tensional de Tangana 2, tiene un comportamiento de extensión como transcurrente formando un movimiento Sinestral Normal, el cual genera una zona de apertura muy conveniente para la mineralización, aquí el mejor contenido metálico se encuentra en la intersección de las estructuras.
- La veta Tangana 2, la cual es una estructura principal en el sistema de vetas de la mina Tangana, tiene un comportamiento de extensión y también transcurrente formando un movimiento Sinestral Normal. El

mineral de mejor calidad se observó en la intersección con las vetas Tangana 1 y 1A siendo estas las zonas mejor mineralizadas "ore shoot" de la Mina Tangana, además, el desprendimiento de estructuras da bastante información para entender el comportamiento estructural de este sistema.

- La veta Tangana 3, la cual es paralela a Tangana 2 y es una estructura principal, tiene un comportamiento tanto de extensión como transcurrente formando un movimiento Sinestral Normal.
- La veta 1A, es una estructura tensional que nace de la veta Tangana 2, tiene un comportamiento de extensión como transcurrente formando un movimiento Sinestral Normal dentro del sistema estructural conformado por las vetas Tangana 1 y Tangana 2.
- La veta Cauca, la cual es paralela a Tangana 2 y es una estructura principal, tiene un comportamiento extensivo como transcurrente formando un movimiento Sinestral Normal.

Por lo tanto; se logra definir que, las 5 vetas analizadas mediante el Software Win Tensor v.0.5.1 presentan un control estructural oblicuo Sinestral – Normal, lo cual confirma lo observado inicialmente en el campo. Además, este comportamiento estructural nos indica que la Mina Tangana se encuentra dentro de un sistema estructural mayor que conforma un Jog en una zona extensional o definida como flor negativa debido a las zonas de apertura generadas por el fallamiento normal secuencial, (Oyarzun & Lillo, 2013) que se observan en las vetas analizadas. Este sistema de fallas genera un ambiente bastante propenso para la filtración de fluidos hidrotermales debido a los espacios vacíos que se van generando durante las inflexiones y cambios de rumbo que son comunes dentro de un Jog Estructural.

4.5.6. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE VETAS CON WIN TENSOR

Luego de analizar cada una de las vetas de las cuales se tiene más información, se va a analizar el sistema de esfuerzos general que ha afectado al control estructural en la formación de las vetas de la mina Tangana y así entender el comportamiento en macro de estas estructuras. Con este análisis se puede deducir los controles de mineralización tanto en vertical como horizontal, ya que,

se podrá ver los esfuerzos que las originaron conjuntamente con sus direcciones y tendencias.

Este análisis va a contar con un mayor número de estructuras y datos por lo que se podrá optimizar el resultado de los esfuerzos con mayor detalle. Se usará el software Win Tensor mediante el método Optimización Rotacional F5, ya que, se puede generar gráficos de estabilidad usando todos los esfuerzos en todas las direcciones logrando un resultado más real y óptimo y también se generará su representación mediante Diedros Rectos con la finalidad de obtener el desplazamiento tanto vertical como horizontal, de acuerdo a los modelos presentados por De Vicente, Muñoz, & Giner, (1992) citados previamente.

En el gráfico que resulta de analizar el sistema de fallas mediante el régimen de Optimización F5 se observa que, los esfuerzos principales σ_1 tienen dirección SW – NE, lo cual se adjudica a los esfuerzos que se ejercen en el proceso de subducción de placas y las fases tectónicas del levantamiento de los andes. Mientras que el σ_3 o esfuerzo de tensión presenta dirección NW – SE o dirección Andina. Finalmente, σ_2 se encuentra cerca al centro de los cuadrantes con dirección al SE del gráfico.

En el estereograma mostrado anteriormente se observa que, la mayor cantidad de fallas que cortan a las estructuras mineralizadas principales forman una tendencia en orientación al NW – SE y buzamientos que tienden al NW en gran mayoría. Las estructuras principales y mineralizadas, por lo tanto, indican que el esfuerzo principal de este sistema es Transcurrente con orientación NW – SE. Mientras que el grupo de fallas que afectan y cortan a las estructuras mineralizadas, en su gran mayoría, tienen su orientación con tendencia NE – SW y con buzamientos hacia el SE evidenciando que existe un esfuerzo tensional menos preponderante o anterior al esfuerzo de cizalla, lo que ha generado fallas de tipo normal dentro del sistema estructural. Este sistema tensional tiene una orientación SW – NE.





Figura 62: Análisis de esfuerzos con Win Tensor del Sistema de Fallas en la Mina Tangana.

En el análisis mediante los tensores de esfuerzos con los Diedros Rectos tomando como referencia la posición del σ_2 al lado SE del gráfico, el cual coincide con el eje de los Diedros rectos, indica un régimen mixto de desgarre horizontal y saltos verticales. Si se toma en cuenta a las fallas que cortan transversalmente a las vetas en dirección SW – NE, se puede concluir indirectamente que el σ_3 es tensional, ya que se observa mayor influencia de estas fallas al lado NW de la mina Tangana. Sin embargo, al realizar la comparación de los Diedros Rectos obtenidos y la dirección de los esfuerzos con los modelos presentados por, De Vicente, Muñoz, & Giner, (1992) citados previamente, confirman un desplazamiento horizontal de desgarre sinestral y saltos verticales de tipo normal, predominante, en todo el sistema estructural de la mina Tangana.

Finalmente, los ejes principales de este sistema estructural son; σ_1 (21°/254°) y σ_3 (61°/122°) los cuales son esfuerzos horizontales, σ_2 (20°/352°) el cual es el esfuerzo vertical. Esto indica un esfuerzo efectivo Transcurrente Extensivo. Siendo σ_1 el esfuerzo que ha ocasionado el fallamiento Normal, mientras que σ_3 fue generando un esfuerzo de cizalla tipo Sinestral hacia el NW y finalmente, σ_2 ha generado un esfuerzo de cierre final terminando así con el sistema estructural de formación de las vetas en la Mina Tangana.

4.6. SECCIONES TRANSVERSALES DE LA MINA TANGANA.

Finalmente, se realiza secciones transversales de las estructuras mineralizadas que han sido reconocidas en la Mina Tangana, esto con la finalidad de interpretar el control estructural de las vetas de manera vertical y proyectar su continuidad como veta en profundidad de acuerdo a los buzamientos y a las labores que se han desarrollado en las estructuras. Para esto, se usó el software AutoCAD y se proyectó las vetas que afloran con las desarrolladas mediante labores subterráneas, de este modo se define de manera más exacta la continuidad de las estructuras principales y los ramales que se desprenden de estas.

En total se realizaron 4 secciones proyectando todas las estructuras en cuestión a partir de los datos obtenidos en superficie como en las labores en interior mina. Con lo cual, se ha logrado definir de mejor manera el control estructural en la mineralización de las vetas en la mina Tangana.

4.6.1. SECCIÓN – 1:

En la Sección – 1 se observa claramente el desprendimiento de la veta Tangana 1 desde la parte superior de la veta Tangana 2. De la cual, a su vez, se desprenden estructuras con buzamientos hacia el sur. Mientras que, de la veta Tangana 2 se desprenden estructuras que buzan hacia el NE. Es más notorio que la veta Tangana 1 disminuye su ángulo de buzamiento al aumentar la profundidad, este podría estar asociado a un enriquecimiento mineralógico. La veta Tangana 2 no está desarrollada en profundidad por lo que se proyecta su continuidad a partir de los sondajes realizados observando una tendencia a reducir su ángulo de buzamiento en comparación con la parte alta.

Las estructuras tensionales que nacen a partir de las vetas principales indican claramente el desplazamiento tipo Normal del sistema, se observa que la mayor las tensionales que nacen del techo de las vetas se dirigen hacia superficie indicando que la caja techo tiene un desplazamiento hacia abajo, mientras que, las tensionales que nacen del piso de la veta tienen tendencia a profundizar indicando que esta caja tiene un desplazamiento hacia arriba.

4.6.2. SECCIÓN – 2:

En la Sección – 2 que se encuentra hacia el lado Este en relación a la primera sección se puede observar que la veta 1B nace de la veta Tangana 2, esta veta ha sido reconocida en interior mina, pero, no se ha desarrollado y no se ha tomado en cuenta para el análisis estructural. Sin embargo, su buzamiento indica que esta estructura nace de la veta Tangana 2 y se dirige hacia el oeste hasta interceptar a Tangana 1 en profundidad. Esta sección confirma el fallamiento Normal del sistema estructural. Aquí se ve con mayor claridad la intersección de la veta 1A con Tangana 1 y su proyección hacia Tangana 2. La veta Cauca mantiene su verticalidad y no se observa una estructura que controle su comportamiento.

En esta sección se observa también los desplazamientos tipo Normal, siendo la veta 1A la estructura que da el más claro ejemplo del desplazamiento de las cajas y también la veta Tangana 4, que de acuerdo al buzamiento tomado en superficie esta se uniría a la veta Tangana 3 en profundidad.

4.6.3. SECCIÓN – 3:

En la Sección – 3 se observa una estructura no reconocida en interior mina, pero si en superficie, que según la interpretación y la proyección esta estructura nace del techo de la veta Tangana 3 y se dirige hacia la veta Tangana 4, esta estructura confirma dos tipos de movimiento en esta estructura, la dirección confirma el movimiento de tipo Sinestral y la dirección del buzamiento confirma el movimiento de Tipo Normal, la estructura 1B se observa más profundo de acuerdo se avanza hacia el SE de la mina. La veta Cauca mantiene su verticalidad en conjunto con su ramal que tiene comportamiento similar. En esta sección se puede ver ya el nacimiento y continuidad de la veta Sigmoide que es una estructura con anomalías altas de Au y su naturaleza indica muy bien el desplazamiento tipo Normal del sistema estructural al igual que la veta 1A.

4.6.4. SECCIÓN – 4:

En la Sección – 4 se observa, según la interpretación y la proyección de una estructura mapeada en interior mina la veta cauca tiene un ramal que nace del techo de esta veta y confirma el tipo de movimiento en la vertical, siendo de tipo Normal. La veta Tangana 1 regresa a su buzamiento sub vertical, esto indica que, más hacia el NW la veta Tangana 1 va disminuyendo su ángulo de buzamiento. En esta zona se puede ver la proyección de la veta Morlupo cuya interpretación inicial es que nace de la veta Tangana 2 uniéndose a la veta Valentina cerca de la superficie. La veta Cauca tiene laboreo en esta sección transversal por lo que se ve variaciones en su buzamiento, se observa de manera más clara también la intersección con su ramal.

Finalmente, al analizar e interpretar las 4 secciones se corrobora el sistema de fallamiento tipo Normal que dio como resultado inicialmente el software Win Tensor v.0.5.1. confirmando y corroborando que los datos tomados coinciden gráficamente y numéricamente. Sin embargo, al analizar las estructuras gráficamente se obtiene la tendencia de buzamientos de las vetas y su variación en vertical, mientras que, en los planos de mapeo se observa las variaciones horizontales de rumbo, así como los saltos o control de las fallas que las cortan transversal.

4.7. CONTROL ESTRUCTURAL A ESCALA REGIONAL DE LA MINA TANGANA

Finalmente, luego de analizar los esfuerzos de cada una de las vetas de la mina Tangana y entender que los esfuerzos predominantes en la zona son de cizallamiento tipo Sinestral y Normal se define el control estructural como un sistema tipo oblicuo, se ha visto conveniente observar la mina en un nivel más amplio y poder conocer los esfuerzos más allá de la zona de minado para tener una referencia mayor al que ya se ha definido en todo el análisis local en interior mina y en superficie dentro del área de investigación.

Para ello, se ha tomado los planos de mapeo superficial y se ha corroborado con la información previa de las cartas nacionales reconociendo el sistema de fallas principales a mayor escala.

De este modo, se observa que las vetas de la mina Tangana forman parte de un sistema de fallas en una zona de apertura dominadas por fallamiento normal y en los extremos por dos fallas sinestrales de naturaleza inversa, definiendo así que, el control para la mineralización de estas vetas es un Jog Estructural dentro de fallas normales e inversas con orientación trasandina lo que ha generado un ambiente con muy buenas condiciones para el emplazamiento de mineral.

Por lo tanto, se confirma que el sistema estructural y el control que ha existido para la formación de vetas en la mina Tangana es de tipo Sinestral con componente Normal, las fallas inversas que se ha encontrado son, por ende, eventos posteriores al evento de apertura y mineralización siendo de poca relevancia en la formación de vetas, pero, significa una etapa final de cierre causado por esfuerzos de compresión. Confirmado de este modo el análisis inicial de esfuerzos mediante el Software Win Tensor.

El Jog Estructural interpretado se observa en el Plano N° 09 de los Anexos donde se detalla todas las características estructurales a escala regional, además de, la delimitación del Jog Estructural.
4.8. TIPO DE MINERALIZACIÓN EN LA MINA TANGANA

Se observa que, en todas las estructuras analizadas y desarrolladas en la mina Tangana se tiene un ensamble preponderante de Galena (86.6% Pb) – Esfalerita (67.0 % Zn). La Galena se presenta en un color plomo oscuro, mientras que, la Esfalerita se caracteriza por su color amarillo a marrón acaramelado. En la siguiente foto el ensamble se encuentra en la totalidad de la muestra.



Foto 13: Muestra de Mano de la asociación mineralógica Galena – Esfalerita de las vetas en la mina Tangana.

En cuanto a los minerales de ganga en las vetas se observan con intrusiones bandeadas de cuarzo – carbonatos, además de diseminaciones de Pirita y Calcopirita. Se observa también formación de geodas de Cuarzo con venillas del ensamble Galena – Esfalerita. Como se observa en la siguiente foto.



Foto 14: Muestra de geodas de cuarzo y venillas de Esfalerita – Galena de las vetas en la mina Tangana.

Se ha observado también mineral de ganga como la Rodocrosita (Carbonato de Manganeso MnCO₃) en hábitos de drusa en varios niveles de la mina Tangana. Este tipo de mineral se observa en todas las vetas analizadas variando solamente el porcentaje de presencia en las estructuras y el hábito. Es más común observarlo en las vetas Tangana 1 y 1A.



Foto 15: Muestra de Mano de Rodocrosita presente en las vetas de la mina Tangana.

Finalmente, uno de los minerales ganga más importante es el Cuarzo, que en la mina Tangana se ha observado en distintos hábitos especialmente en drusa como relleno de espacios vacíos dentro de las vetas. En la mina Tangana se ha visto al cuarzo asociado con la Rodonita (Silicato de Manganeso Mn₂SiO₃) en ocurrencias botroidales en la veta Tangana 2 y sus tensionales como 1A. Se observa con mayor detalle en la siguiente foto.

Foto 16: Muestra de Mano de Rodonita dentro de una matriz de Cuarzo presente en las vetas de la mina Tangana.

4.9. TIPO DE YACIMIENTO EN LA MINA TANGANA

De acuerdo a las características estructurales y mineralógicas analizadas en cada una de las vetas en la mina Tangana se define que, al ser estructuras brechadas y de relleno, estas son de origen hidrotermal y se han formado por la precipitación de elementos que fueron transportados por fluidos hidrotermales y estos se han movilizado a través de distintas zonas de apertura dentro de la roca encajonante.

Estas vetas se han formado como relleno en la porosidad secundaria generada por esfuerzos tectónicos en la roca encajonante, esta porosidad secundaria está conformada por fallas y fracturas producto de distintos eventos estructurales que ya han sido detallados, en la mina Tangana se tiene como roca encajonante Andesitas y brechas andesíticas cuya matriz es cementada. Por esto, este tipo de roca es un metalotecto que favorece al encapsulamiento de minerales dentro de sus cajas que ascienden mediante fluidos hidrotermales por fallas y/o fracturas originadas por distintos tipos de esfuerzos orogénicos.

La mineralización de las vetas es visible desde sus afloramientos, lo cual indica una ocurrencia de mineralización superficial (< 1.50 Km), indicando que el yacimiento es de tipo epitermal, juzgando por su poca profundidad. Del mismo modo, minerales como la rodocrosita y la rodonita indican que la temperatura a la que precipitaron los minerales es de media a baja, de acuerdo a Townley, (2001).

Por lo tanto, las vetas de la mina Tangana se han formado rellenando fallas en el interior de una zona donde la litología está compuesta por andesitas alteradas, aglomerados de andesita (Brecha Tinqui) y domos andesíticos. La mineralización es de tipo polimetálica constituyendo vetas brechadas con contactos alterados que gradualmente pasan a caolinita/Illita que funciona como sello para albergar la mineralización.

Por lo cual, el tipo de yacimiento de la mina Tangana es de tipo epitermal (por su baja profundidad) de media a baja sulfuración (por su temperatura de formación) (Fernández, 2019).

4.10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para realizar la discusión de resultados se ha tomado en cuenta el estudio de Rodriguez (2008) quién realizó el estudio del sistema de fallas Chonta y sus implicaciones metalogenéticas en Huancavelica. En esta investigación él concluye que, el sistema de fallas Chonta no se encuentra relacionado a la mineralización de las vetas, pero sí las estructuras tensionales que se desprenden de este sistema zonificando así 4 sectores de mineralización, que a su vez, cuenta con dos eventos cinemáticos; el primer evento (10.4 y 3.7 Ma.) es de apertura (Rodríguez, 2008), entre el sistema de fallas Chonta y las fallas Huachocolpa – Huancavelica, que ha generado que los fluidos hidrotermales filtren y se formen vetas, mientras que, el segundo evento (edad menor de 3.7 Ma.) fue de Transpresión ocasionando que se cierren los sistemas estructurales (Rodríguez, 2008).

De acuerdo a los resultados obtenidos por Rodriguez (2008), se concuerda que, las estructuras mineralizadas de la mina Tangana con orientación andina forman parte de la zona de apertura generada por el sistema de Fallas Chonta y Huachocolpa – Huancavelica dentro de la Zona 3 de mineralización definida por Rodriguez (2008), además el análisis de cada una de las vetas y el sistema de fallas que las controlan se observa que existen dos tipos de esfuerzos, el primero que generó el movimiento sinestral y normal con orientación NW-SE y un esfuerzo de presión que generó fallas inversas y normales transversales a las estructuras principales evidenciando así los dos eventos cinemáticos principales mencionados en la investigación de referencia.

Finalmente, comparando la investigación de Rodriguez (2008) y la presente, se entiende que, las estructuras de la mina Tangana forma parte de la actividad cinemática del sistema de fallas Chonta y Huachocolpa – Huancavelica y de manera más local se observa que estas vetas forman parte de un Jog Estructural entre fallas inversas con la misma dirección de la falla Huachocolpa, formando a su vez, un fallamiento progresivo de forma paralela (TN1, TN3, TN4 y Cauca) a la inflexión, estas vetas son fallas tipo Riedel (Asintéticas o R2) dentro del Jog con traza recta. Todo ello, da como resultado un sistema de fallas Sinestral Normal que ha generado leves hundimientos lo que se coincide con el modelo

de una "Flor Negativa" en un Dúplex Transcurrente. Además, la mineralización de estas vetas tiene un control estructural con orientación NW-SE producto de eventos tectónicos asociados al sistema de Fallas Chonta.

4.11. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El análisis estructural de las vetas de la mina Tangana y las fallas transversales indican el movimiento y comportamiento de estas estructuras, observando así las direcciones de los esfuerzos principales y a su vez reconociendo los distintos eventos tectónicos que las generaron, además de las secciones y proyección de las vetas en planos regionales, confirma la hipótesis que las vetas de la mina Tangana se encuentran controladas de manera directa por las estructuras reactivadas y generadas en las fases tectónicas Quechua II y Quechua III hace unos 10.4 Ma aproximadamente, según Palacios & Sanchez, (1995); dentro del Sistema de fallas Chonta y Huachocolpa – Huancavelica, que a su vez generaron fallas de rumbo de tipo sinestral y normal con rumbo NW – SE (Rumbo Andino) en las que se han filtrado los fluidos hidrotermales precipitando así los minerales de mena, conformando las principales vetas de explotación de la mina Tangana. Estas vetas forman parte de un Jog Estructural entre dos fallas con rumbo similar a las Fallas Huachocolpa.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El control estructural de la mina Tangana es una serie de vetas con rumbo andino Sinestrales y Normales con mineralización abundante en las intersecciones de las vetas.

Las vetas en la mina Tangana se formaron en la fase Quechua III en un Jog Estructural durante la reactivación del sistema de Fallas Chonta y Huachocolpa – Huancavelica hace 10.4 Ma a 3.7 Ma.

Las vetas analizadas son de tipo Sinestral Normal de relleno con mineralización polimetálica y rumbo Andino formadas en conductos tensionales y cizallamiento.

La mineralización de las vetas en la mina Tangana es polimetálica con asociación de Gn – Sph, menas de plomo y zinc respectivamente, con matriz de cuarzo asociado con Rodonita/Rodocrosita.

El tipo de yacimiento de la mina Tangana es de tipo Epitermal por su baja profundidad y de baja a intermedia sulfuración por su baja T° de formación.

Se han generado planos geológicos y estructurales, además de, secciones transversales para una mejor visión de los controles estructurales.

5.2. RECOMENDACIONES

La compañía debe realizar secciones de láminas delgadas o pulidas en muestras de las vetas de manera sistemática para conocer el control mineralógico y tendencias de eventos mineralizantes.

La compañía debe realizar estudios de Geometalurgia en los distintos niveles de la mina para conocer la distribución espacial de los ensambles y asociaciones mineralógicas.

La compañía debe realizar un estudio detallado del control litológico mediante láminas delgadas en las zonas de mayor mineralización para conocer la influencia de la roca encajonante den el yacimiento.

Se recomienda a la compañía continuar con el análisis geoquímico de las alteraciones y relacionarlos con los procesos de mineralización para conocer la correlación con su ambiente de formación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., & Cerpa, L. (2018). Control Estructural y Litológico en el Emplazamiento de Yacimientos Minerales en el Sector Condoroma – Paratia (Cusco – Puno), Sur del Perú. Lima: INGEMMET.
- Arellano, J. (2002). Ejercicios de Geología Estructural. México D.F.: Universidad Autónoma de México.
- Belousov. (1974). Geología Estructural. Moscú: MIR.
- Boetsch, M. (2014). Control Estructural de la Mineralización Argento Aurífera y Criterios de Exploración en el Distrito Cerro Bayo, región de Aysén, Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Bush, R, & Tasa, D. (2003). Manual de Ciencias de la Tierra. Mexico Df.: Universidad Autónoma de México.
- Caycho, Y. (2019). Análisis estructural de la configuración relacionada con la mineralización Cordillera Negra, región Ancash - Perú. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Dávila, J. (2011). Diccionario Geológico. Lima: INGEMMET.
- De Vicente, G., Muñoz, A., & Giner, J. (1992). El uso del método de los diedros rectos: Implicaciones a partir del modelo de deslizamiento del análisis poblacional de fallas. Madrid: Universidad Complutense.
- Delvaux, D. (2014). Publicación del programa Win-Tensor 5.0.1 para la inversión de tensiones tectónicas: expresión estadística de los parámetros de tensión. Tervuren: Geophysical Research Abstracts.
- Fernández, G. (2019). Génesis de Yacimientos Minerales. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Fossen, H. (2010). Geología Estructural. New York: Cambridge University Press.

Garcés, F. (2013). El Granito. Madrid: A Química e a Socoedade do Benestar.

Geología Estructural. (2020). www.geologíaestructural.com. Obtenido de www.geologíaestructural.com:

https://www.geologiaestructural.com/estructuras-planares-y-lineales/

- Google Maps. (15 de abril de 2024). www.google.com.pe. Obtenido de www.google.com.pe: https://www.google.com.pe/maps/@-13.0954553,-74.9507548,16z?hl=es-419
- Griem, W. (15 de junio de 2022). Geovirtual2.cl. Obtenido de Geovirtual2.cl: https://www.geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm
- Huang, W. T. (2009). Petrología. México D.F.: Limusa.
- La Torre, O., & De La Cruz, N. (1996). Geología del Cuadrángulo de Huachocolpa. Lima: INGEMMET.
- Moncayo, O., & Agapito, S. (1995). Geología del Perú. Lima: INGEMMET.
- Niemeyer, H. (1999). Apuntes de Geología Estructural. Antofagasta.
- Oyarzun, R., & Lillo, J. (2013). Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera. Madrid: GEMM.
- Palacios, O., & Sanchez, A. (1995). Geología del Perú. Lima: INGEMMET.
- Passchier, C., & Trouw, R. (2005). Microtectonismo. Berlín: Springer.
- Pérez, C., & Yparraguirre, J. (2013). El Distrito Polimetálico de Huachocolpa (Huancavelica, Perú). Lima: Revista Ibérica de Mineralogía.
- Ragan, D. (1987). Geología Estructural: Introducción a las técnicas Geométricas. Arizona State: Ediiciones Omega S.A.
- Rodríguez, R. (2008). El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias Metalogenéticas entre 12°15' S y 13°30' S (Huancavelica - Perú) . Huancavelica: Universidad Politécnica de Madrid.
- Romero, D., & Torres, V. (2013). Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Huancavelica (26-n). Lima: INGEMMET.
- SGM. (22 de marzo de 2017). Servicio Geológico Mexicano. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgosgeologicos/Tectonica-de-placas.html

Smirnov, V. (1982). Geología de los yacimientos minerales. Moscú: MIR Moscú.

- Tarbuck, E., & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra. Madrid: Perason Education.
- Townley, B. (2001). Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Valdivia, E., & Raymundo, T. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huachocolpa (27-n). Lima: INGEMMET.
- Wise, J., & Noble, D. (2001). La falla Chonta del Perú central-una falla inversa con reactivación de rumbo sinestral respondiendo a un cambio de la oblicuidad relativa de convergencia de las placas tectonicas. Lima: Sociedad Geológica del Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS

ANEXO 2: DATA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA MINA TANGANA

ANEXO 3: PLANOS

- Plano 1: Plano de Ubicación
- Plano 2: Plano Geológico
- > Plano 3: Plano Geológico de la veta Tangana 1
- Plano 4: Plano Geológico de la veta Tangana 2
- > Plano 5: Plano Geológico de la veta Tangana 3
- > Plano 6: Plano Geológico de la veta 1A
- > Plano 7: Plano Geológico de la veta Cauca
- Plano 8: Plano Estructural
- Plano 9: Plano Jog Estructural

ANEXO 4: SECCIONES TRANSVERSALES

- Sección 1: Sección Transversal A-A'
- > Sección 2: Sección Transversal B-B'
- Sección 3: Sección Transversal C-C'
- Sección 4: Sección Transversal D-D'

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS

Foto 17: Afloramiento de la veta Cauca con evidente oxidación superficial.

Foto 18: Afloramiento de la veta Tangana 2 hacia al NW, presenta zonas de oxidación superficial.

Foto 19: Afloramiento de estructura tensional de la veta Tangana 2, presenta zonas de oxidación superficial.

Figura 63: Vista 3D de la interpretación superficial de la mina Tangana.

ANEXO 2: DATA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA MINA TANGANA

	VETA TANGA	NA 1	
AZ	130	PLUNGE	48
DIP	77	TREND	295
FALLAS	AZIMUT	DIP	DD
1	204	64	294
2	215	55	305
3	356	80	86
4	220	73	310
5	225	75	315
6	218	80	308
7	50	78	140
8	30	53	120
9	60	65	150
10	355	48	85
11	242	72	332
12	208	68	298

Tabla 7: Data de las fallas que cortan a la veta Tangana 1

 Tabla 8: Data de las fallas que cortan a la veta Tangana 2

	VETA TANGA	NA 2	
AZ	315	PLUNGE	45
DIP	83	TREND	310
FALLAS	AZIMUT	DIP	DD
1	345	70	75
2	80	63	170
3	285	60	15
4	287	65	17
5	252	62	342
6	263	86	353
7	202	56	292
8	255	81	345
9	245	67	335
10	198	62	288
11	210	50	300
12	55	72	145
13	205	66	295

	VETA TANGA	NA 3	
	AZ	13	35
[[DIP	7	5
FALLAS	AZIMUT	DIP	DD
1	185	77	275
2	212	75	302
3	175	51	265
4	200	78	290
5	60	60	150

Tabla 9: Data de las fallas que cortan a la veta Tangana 3

Tabla 10: Data de las fallas que cortan a la veta 1A

	VETA 1A	l l	
AZ	300	PLUNGE	47
DIP	65	TREND	330
FALLAS	AZIMUT	DIP	DD
1	215	70	305
2	220	65	290
3	78	68	168
4	235	65	325
5	227	66	317
6	224	62	314
7	256	78	346

Tabla 11: Data de las fallas que cortan a la veta Cauca

	VETA CAU	CA	
AZ	335	PLUNGE	40
DIP	80	TREND	342
FALLAS	AZIMUT	DIP	DD
1	195	60	285
2	196	55	286
3	200	75	290
4	175	55	265
5	235	70	325
6	240	70	330
7	220	80	310
8	248	70	338
9	15	80	105

ANEXO 3: PLANOS

N S 567 400 N S 567 400 N S 567 400 N S 567 550 N S 557 550 N S 557 550 N S 557 550 N S 5			
S 567 350 // S 567 3	400 400		N 8 561 400 1
64 8 561 350 M 64 8 561 300 M 64 8 561 300 M 7 8 561 300 M 8 561 300 M 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0			
54 8 561 300 M 54 8 561 300 M NACIONAL DE CAJAMARCA TAD DE INGENIERÍA Imageniería IONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Imageniería PLANO N° 4 ESCALA: 1/500 FECHA: mayo, 2025 FECHA:			8 561 350 1
ACIONAL DE CAJAMARCA TAD DE INGENIERÍA ONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA L EN LA FORMACIÓN DE VETAS EN CHOCOLPA - HUANCAVELICA VETA TANGANA 2 ESCALA: 1/500 HOCOLPA - HUANCAVELICA VETA TANGANA 2 ESCALA: 1/500 HOCOLPA - HUANCAVELICA Mayo, 2025			
NACIONAL DE CAJAMARCA TAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA INGENIERÍA GEOLÓGICA NL EN LA FORMACIÓN DE VETAS EN CHOCOLPA - HUANCAVELICA VETA TANGANA 2 ESCALA: T/500	64		8 561 300 1
PLANO CHOCOLPA - HUANCAVELICA VETA TANGANA 2 ESCALA: 1/500 FECHA: mayo, 2025	IACIONAL DE CA TAD DE INGENIERÍA IONAL DE INGENIERÍA G	JAMA EOLÓGI	
ESCALA: 1/500 FECHA: mayo, 2025	L EN LA FORMACIÓN DE VE CHOCOLPA - HUANCAVELICA	TAS EN	PLANO N° 4
1/500 mayo, 2025	ESCALA:		FECHA:
	1/500		mayo, 2025

400 .000 £	8 561 275 N
	8 561 250 N
4 6 4 4 79° 4 4 4	4 72° 4
GAL. 3	³³ SW
	8 561 225 N
NACIONAL DE CAJAMA TAD DE INGENIERÍA BIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓG	ICA
AL EN LA FORMACIÓN DE VETAS EN CHOCOLPA - HUANCAVELICA DE LA VETA 1A ESCALA: 1/250	PLANO N° 6 FECHA: mayo, 2025

Bach. Marcos Raul Vasquez Ruiz

_	
título:	ANÁLISIS DE CONTROL ESTRUCTUR LA MINA TANGANA, DISTRITO DE HUA
PLANO:	PLANO GEOLÓGICO DE
ASESOR:	MCs. Ing. Victor Arapa Vilca
TESISTA:	Bach. Marcos Raul Vasquez Ruiz

ANEXO 4: SECCIONES TRANSVERSALES

	N
	COTA
Nv. 910	
Nv. 880	
Nv. 850	
Nv. 820	
	4800 m.s.n.m.
NY. 70*	
Nv. 730	
Ny. 700	
Nv. 650	
Nv. 630	
Nv. 590	
Nv. 560	4800 man.m.
Nv. 530	
Nv. 480	~~~
	XX - z
	- V
	Town Street
Managardhan y an bai ann M paar hall 2016 ge parchar	·
	SHE ST.
	SECCION A'
	Lanco
FACULTAD DE INGEN	
PROFESIONAL DE INGENI	ERIA GEOLOGICA
STRUCTURAL EN LA FORMACIÓN TO DE HUACHOCOLPA - HUANCA	VELICA SECCIÓN
N TRANSVERSAL A - A'	N° 01
a Vilca ESCALA:	1/5000 FECHA: mayo, 2025
	I

		Ν
		COTA
Nv. S	10	
NV. S	860	
Nv. 8	150	
NV 8	SUPERFI	CIE
NV.7	80	4800 m.an.m.
No. 3		
No. 7		
	~	
Ny, 6	50	
NV. 5	90	4000 m.s.o.m.
NV. 5	80	
Nv. S	130	
No. 4	eo	
Ny. 4	190	
100	2 miles	5 T.
-		d2 - z
		*
	-	
	SECC	ION B'
A STR		
A		
1 the		
Lato	- A	AA
11877	ANT	
AD NACIO ACULTAD DI ROFESIONAL D	NAL DE CAJAMA E INGENIERÍA DE INGENIERÍA GEOLÓG	
JCTURAL EN LA DE HUACHOCOLP	FORMACIÓN DE VETAS EN A - HUANCAVELICA	SECCIÓN
ANSVERSAL B - E	3'	N° 02
a Ruiz	ESCALA: 1/5000	FECHA: mayo, 2025

1	NI
	IN IN
	COTA
	5000 m.a.n.m
Nv. 910	
Ny. 880	
1.100	
NH, 850	
spi. 020	-
2019020	100000000
	400 m.x.n.m
NV. 730	
	SUPERFICIE
10.194	
Nv. 650	
NV. 630	
NY, DAV	4600 m.a.n.m
Nv. 500	
Nv. 530	
NV. 400	
W. 430	
Ny. 430	4400 man.m
50 430 50 500	450) mann 1900 m
Hr 430	4400 mann e mark 2
Hr. 450	4400 maaar and and and and and and and and and and
90.430 94.50	450 mann ensor SECCIÓN C'
90.450 90.500	4400 maam unation SECCIÓN C'
90.450 90.500	450 maar and SECCIÓN C'
90.450	440 maam
	450 maar waar SECCIÓN C'
90.450	450 maar
	450 maar waar SECCIÓN C'
NACIONAL DE CA.	ADD MARCA
NACIONAL DE CA. LTAD DE INGENIERÍA G	ASECCIÓN C' SECCIÓN C' JAMARCA EOLÓGICA
NACIONAL DE CA. LTAD DE INGENIERÍA GI SIONAL DE INGENIERÍA GI	SECCIÓN C' SECCIÓN C' JAMARCA EOLÓGICA
NACIONAL DE CA. LTAD DE INGENIERÍA GI RAL EN LA FORMACIÓN DE VET ACHOCOLPA - HUANCAVELICA	AMARCA EOLÓGICA TAS EN SECCIÓN SECCIÓN SECCIÓN SECCIÓN SECCIÓN N° 03
NACIONAL DE CA. LTAD DE INGENIERÍA GI SIONAL DE INGENIERÍA GI RACHOCOLPA - HUANCAVELICA ERSAL C - C'	APPENDENT APPENDENT

1		
		NI
	Ny, RID	N
	Nr. 000	
	14 MA	
	- TOK. 1600	COTA
	HV. 62D	COIA
_	NV. 700	4800 m.a.n.m.
	Nx 730	
	CARDIFFERA No. 700	
	1	
	Hz. 650	
	117. Sale	
_	Nv. 590	4500 ma.n.m
	No. 560	
	Hv. 530	
	76.400	
	No. 430	
		20164 VISIO
	Nx, 360	4400 man.m.
19712	The All	APTA
	SI	CCIÓN D'
		CCIÓN D'
	CIONAL DE CAJAMA D DE INGENIERÍA AL DE INGENIERÍA GEOLÓG	CCIÓN D'
D NAC ULTAE ESIONA	CIONAL DE CAJAMA D DE INGENIERÍA AL DE INGENIERÍA AL DE INGENIERÍA GEOLÓO LA FORMACIÓN DE VETAS EN OLPA - HUANCAVELICA	
D NAC ULTAE ESIONA JRAL EN UACHOC	CIONAL DE CAJAMA DE INGENIERÍA AL DE INGENIERÍA AL DE INGENIERÍA GEOLÓG LA FORMACIÓN DE VETAS EN OLPA - HUANCAVELICA	ARCA BICA SECCIÓN 04