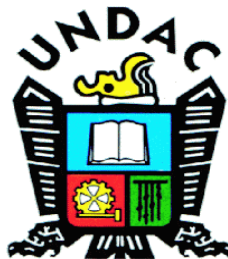


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

Escuela de Formación Profesional de Minas



**“PARAMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MASA ROCOSA
PARA EVALUAR EL SOSTENIMIENTO EN LA EMPRESA
EXPLOTADORA VINCHOS LTDA S.A.C”**

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

YONEL JORGE, ROJAS FERNANDEZ

CERRO DE PASCO – PERU

2015

DEDICATORIA

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi cordial agradecimiento a la EMPRESA EXPLOTADORA VINCHOS LTDA. S.A.C. y a los Ingenieros; Fidel Yalle, Adolfo Torre, Arturo Salvador, Víctor Tolentino y Cesar Farfán por la oportunidad y apoyo de haberme permitido realiza el presente trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a mi alma matar Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a la plana de docentes y compañeros de estudio de la Escuela de Formación Profesional de Minasa, por hacer de mi un digno profesional.

Yonel Jorge, ROJAS FERNANDEZ

INTRODUCCION

La excavación subterránea en rocas, siempre se encuentra en función a las propiedades físicas mecánicas del Macizo Rocoso implicando claro está a considerar como referencia las propiedades de la roca Intacta. En la medida que se controlen estas propiedades y se realicen excavaciones considerándolas se podrá mantener una estabilidad en las excavaciones subterráneas, las cuáles aseguran la vida útil de la labor, seguridad física para las personas y maquinarias y una mejor productividad a largo plazo.

En las excavaciones subterráneas se han probado y desarrollado continuamente distintos sistemas de soporte de roca. El control de la caída de roca ha incluido detallados estudios geológicos, innovaciones en geotecnia y mecánica de rocas, la introducción de distintos tipos de pernos de anclaje, la prueba y el desarrollo de equipos mecanizados para el desatado y empernado de roca, así como técnicas para el rociado con el concreto lanzado.

La ocurrencia de la inestabilidad de una abertura en laboreo minero está dado por falta de una geometría adecuada que este en relación de las propiedades físico - mecánico del

macizo rocoso con la abertura y el soporte natural y/o artificial. Este enfoque se desarrolla en la presente tesis.

El fundamento básico de la minería está en la extracción de los minerales; las excavaciones en subterráneo o en superficie son los medios para lograr este fin, por lo tanto, el criterio de que estas excavaciones son temporales subsiste en la actualidad, y mientras se pueda obtener y mantener un acceso seguro durante el tiempo necesario para la extracción no debe ser obstáculo para las demás operaciones; obviamente los recursos que se destinan para estudios de la estabilidad de las operaciones de consolidación están en relación con el tiempo que se requiere mantener estable la excavación.

Cuando se diseña con criterio geotécnico se requiere de otra visión al enfocar una obra de tunelería, esta debe ejecutarse controlando la sección de excavación, de manera que se disturbe lo menos posible la roca circundante e introduciendo el nuevo concepto de la excavación subterránea permanente, de acuerdo al uso o la vida útil que se debe dar a la obra.

Implementar un sistema de excavación adecuado para un determinado tipo de roca, en especial si esta roca es la que contiene el mineral económico a recuperar es un trabajo en

conjunto y coordinado de profesionales de Ingeniería, Geología,
Geotecnia y Planeamiento.

EL AUTOR

INDICE

CONTENIDO	Pags.
DEDICATORIA	
AGRADECIMEINTO	
INTRODUCCION	
INDICE	

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.1.1 PROBLEMA GENERAL	
1.1.2 PROBLEMA ESPECÍFICOS.	
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.	
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.4 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5 LIMITACIONES.....	15

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.....	17
2.2 BASES TEÓRICOS - CIENTÍFICAS.....	18

2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	18
2.4	SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	22
2.5	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	23

**CAPITULO III:
METODOLOGÍA**

3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	24
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24
3.4	MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	25
3.6	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	26
3.7	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS.....	26

**CAPITULO IV:
GENERALIDADES DE LA MINA**

4.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	27
4.2	HISTORIA.....	29
4.3	GEOLOGÍA.	
4.4	MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN.	

CAPITULO V

GEOLOGIA DE LA MINA

5.1	GEOLOGIA REGIONAL	
5.2	GEOLOGIA LOCAL.....	37
5.3	GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	40
5.4	GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	47
5.5	MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN.....	61

CAPITULO VI

6.0 CARACTERÍSTICAS GEOMECAÑICAS

6.1	Generalidades.....	67
6.2	Clasificación del Macizo Rocosó por RQD (Sistema NGI Barton).....	68
6.3	Clasificación del Macizo Rocosó: RMR (Bieniawski 1989)	75
6.4	Clasificación del Macizo Rocosó del Cuerpo Maria Inés RMR.....	81

CAPITULO VII

7.0 PARAMETROS GEOMECAÑICA DE LA VETA - CUERPO

MARIA INES PARA LA EVALUACION DEL

SOSTENIMIENTO.

7.1	Generalidades.....	96
7.2	Aplicación del método gráfico de estabilidad.....	96

7.2.1	Numero de estabilidad modificado.....	96
7.2.1.1	Calidad Tunelera	96
7.2.1.2	Factor de esfuerzo en la roca	96
7.2.1.3	Factor de ajuste por orientación de los sistemas de discontinuidades.....	100
7.2.1.4	Factor de ajuste por efecto de la gravedad	102
7.2.2	Factor de forma o radio hidráulico	104
7.2.3	Resultado de la aplicación del método	104
7.3	Análisis del Factor de seguridad de la abertura	106
7.3.1	Análisis por esfuerzos – Software Phases	107
7.3.2	Análisis por estructuras – Software Unwedge	108
7.4	Sostenimiento Sugerido.....	112
7.4.1	Pilares Horizontales	112
7.4.1.1	Generalidades	112
7.4.1.2	Análisis del Factor de Seguridad – Software Phases	112
7.4.2	Sostenimiento activo	116
7.5	Relleno	116

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del Problema.

Actualmente toda empresa en producción busca el mejoramiento continuo de sus operaciones con la finalidad de optimizar sus procesos y reducir sus costos de operación.

En la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C se viene llevando a cabo programas de desarrollo y explotación por contar con importantes reservas de mineral. La explotación de minas a niveles más profundos trae consigo muchas interrogantes, entre ellas: ¿Cuáles son las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en profundidad? ¿Qué influencia tendrán los esfuerzos in-situ más altos

en el comportamiento del macizo rocoso de las excavaciones?
¿Será necesario hacer excavaciones o cambios en el método del minado? ¿Será necesario variar las dimensiones de los tajos? ¿Será necesario establecer nuevos esquemas y secuencias de avance del minado? ¿Será necesario adoptar otros métodos de sostenimiento?, etc.

A fin de dar respuestas a estas interrogantes, se optó por la siguiente investigación destinada a caracterizar el macizo rocoso con el fin de evaluar el sostenimiento adecuado en la mina.

1.2 Formulación del Problema.

El escenario donde la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C, considerada como mediana minería, es de ardua competencia dentro de una industria minera que cada vez se tecnifica a medida que transcurren los años y que está comprometida a obtener mejores resultados en el minado y así poder competir tanto a nivel Nacional e Internacional.

1.2.1 Problema General.

¿Cómo **podremos** determinar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso para evaluar el sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C?

1.2.2 Problemas Específicos.

a) ¿Conociendo los parámetros geomecánicos del macizo rocoso podremos realizar la clasificación geomecánica, su zonificación, su resistencia, la estabilidad y principalmente el tipo de sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C.

b) ¿Será posible evaluar el comportamiento del macizo rocoso desde el punto de vista geotécnico para poder controlar el factor de seguridad, la estabilidad y el sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

"**Determinar** los parámetros geomecánicos del macizo rocoso para poder evaluar el sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C.,”.

1.3.2 Objetivos Específicos.

a) Determinar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso para realizar una clasificación geomecánica, su zonificación y el tipo de sostenimiento.

b) Evaluar el comportamiento del macizo rocoso mediante un procedimiento geotécnico para poder controlar el factor de seguridad, la estabilidad y el sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C.”.

1.4 Justificación del Problema

El alto costo de producción de la mina y el hecho de seguir profundizándola con la finalidad de desarrollar y explotar el yacimiento minero en forma económica y segura, justifica su realización, toda vez que contribuirá al desarrollo de los conocimientos sobre geomecánica.

1.5 Importancia y alcances de la Investigación

La presente investigación adquiere especial importancia toda vez que contribuirá a evaluar el sostenimiento mediante los conocimientos de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso y

a la vez nos permitirá reducir el costo de producción y disminuir los índices de seguridad.

La presente investigación también podrá servir de referencia a otras minas que cuenten con características similares a la mina de la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C."

1.6 Limitaciones

En el desarrollo de la presente investigación, prácticamente no hubo limitaciones en cuanto se refiere a la obtención de los datos de la mina, debido a las facilidades otorgadas por la Gerencia de la Empresa Minera.

Es de mencionar que las únicas limitaciones fueron las referidas al financiamiento para la presente investigación y la falta de apoyo del personal capacitado

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes.

La Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C, actualmente viene innovando los trabajos con la finalidad de mejorar la producción y reducir los costos de operación y también los índices de seguridad, garantizando de este modo la obtención de las metas planteadas.

Habiendo realizado una revisión de la literatura sobre estudios geomecánicas del macizo rocoso, encontramos la existencia de abundante información sobre este tema, los mismos que fueron aplicados adecuándolo a la realidad de cada mina tanto Nacionales como Internacionales; todas estas experiencias nos servirán para la ejecución del presente proyecto.

2.2 BASES TEORICO- CIENTIFICAS

El presente proyecto de determinación de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso tendrá como finalidad de evaluar el sostenimiento en la mina de la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C, en el que haremos uso de una serie de información tanto bibliográficos, de laboratorio y de campo. Estos serán la evidencia, sobre el presente estudio de aplicación de la geomecánica a la minería.

Este proyecto está basado, principalmente en una evaluación de las reservas minables actuales, ya que éste será el soporte del crecimiento de la producción en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C, en el corto plazo, por lo cual, la Empresa tiene la visión de ampliar su producción con la mayor economía y con la mayor seguridad.

2.3 DEFINICION DE TÉRMINOS

CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Consiste en determinar la calidad desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo del macizo rocoso.

DICONTINUIDADES

También se le conoce **comúnmente** como rajadura, fractura o también juntas, conociendo bien este parámetro en una evaluación geomecánica se puede llegar a determinar la calidad de la masa rocosa.

ESTABILIDAD

Del verbo estabilizar; en minería, significa dar permanencia firme y constante a las **excavaciones** subterráneas y a los taludes de labores a cielo abierto.

Se logra **estabilidad** en labores subterráneas, utilizando métodos de sostenimiento con soporte metálico, de madera o con relleno, con pernos, malla y otros elementos que fortifique la labor minera.

FALLA

Es una fractura que separa dos bloques de roca, pudiendo haber deslizamiento uno respecto del otro.

ESFUERZOS

Son las fuerzas que aparecen inevitablemente alrededor de cualquier excavación subterránea y son las responsables de provocar los deslizamientos y desprendimientos de las rocas en una labor minera.

GEOMECÁNICA

Es la ciencia teórica y aplicada que se encarga del estudio del comportamiento mecánico de la roca y de las fuerzas inducidas como resultado de una excavación subterránea, dando una solución más favorable al problema de sostenimiento en las labores mineras.

LOGUEO

Actividad que se desarrolla para registrar en un reporte las características geológicas, mineralógicas, **alteraciones** y estructuras de una muestra obtenida por perforación diamantina denominada testigo.

LOGUEO GEOMECÁNICO

Es la descripción **detallada** de las características geomecánicas de un testigo de perforación diamantina.

MACIZO ROCOSO

Conjunto de bloques de roca y de discontinuidades. Mecánicamente son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. De esta forma la caracterización se enfoca básicamente en las discontinuidades observadas a lo largo de una línea de detalle.

MALLA ELECTRO SOLDADA

Malla de alambón soldado que se emplean para poder evitar caídas de roca.

MAPEO

Es el conjunto de actividades que se realiza para registrar en un reporte (hoja de mapeo) las características litológicas, mineralógicas, alteraciones y rasgos estructurales de los tajos y labores mineras de desarrollo, exploración y preparación en las Unidades Mineras del Grupo Milpo.

MAPEO GEOMECÁNICO

Es el conjunto de actividades que se realiza para registrar en un reporte (hoja de mapeo) las características físicas del macizo rocoso como, estructuras, discontinuidades, alteraciones, presencia de agua para luego ser analizado y emitir las recomendaciones a Operaciones Mina como una acción preventiva para aplicar o no el soporte adecuado.

PERNO HELICOIDAL

Barras laminadas en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso.

PRESION

La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie.

PRUEBAS DE ARRANQUE PULL TEST

Son mecanismos que **nos** permiten determinar la capacidad de soporte de los pernos de fortificación en toneladas / pie instalado.

SHOTCRETE

Mezcla de concreto compuesto **de** cemento, arena, agua, acelerante de fragua y fibra según el caso, para ser lanzado al macizo rocoso.

SOSTENIMIENTO

Es el refuerzo que **requiere** una labor cuando las condiciones de inestabilidad y seguridad lo requieran. Para conseguir un buen sostenimiento es necesario una correcta indagación y evaluación del macizo rocoso a fin de elegir el correcto elemento de soporte.

SPLIT SET

Es un tipo de sostenimiento metálico considerado TEMPORAL que trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro.

2.4 Sistema de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general.

“Si determinamos los parámetros geomécánicos del macizo rocoso, **entonces** podremos evaluar el sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C.”

2.4.2 Hipótesis específico.

a) “Si **determinamos** los parámetros geométricas del macizo rocoso, entonces podremos realizar la clasificación, la zonificación y la evaluación del sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C.”

b) Si **podemos** evaluar el comportamiento del macizo rocoso mediante un procedimiento geotécnico, entonces podremos controlar el factor de seguridad, la estabilidad y el sostenimiento en la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C”

2.5. Identificación de Variables

2.5.1 Variable independiente

Parámetros Geomecánicos del macizo rocoso.

2.5.2 Variables dependientes.

Clasificación, zonificación, estabilidad geomecánica y evaluación del sostenimiento.

2.5.3 Variables intervinientes.

Cultura organizacional de Empresa Explotadora Vinchos
LTDA S.A.C”

CAPITULO III METODOLOGIA

3.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de carácter aplicativo conforme al propósito y naturaleza del proyecto. El estudio se realizó bajo el análisis descriptivo, explicativo y de correlación.

3.2 Diseño de Investigación

El diseño que se usó es de acuerdo a los objetivos las hipótesis con el esquema siguiente:

OG = Objetivo General

HG = Hipótesis General

CG = Conclusión General

OG = HG + CG.

3.3 Población y Muestra.

3.3.1. Población.

La población está constituida por todos los estudios de parámetros geomecánicos del macizo rocoso realizadas en las minas a nivel Nacional e Internacional.

3.3.2. Muestra.

La muestra, está constituido por las labores de desarrollo y explotación de la Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C.

3.4 Métodos de Investigación

En la presente investigación se aplicarán los métodos deductivo, evaluativo, explicativo, análisis y síntesis. Se tomarán datos de campo y se buscarán informes respecto a parámetros geomecánicos del macizo rocoso.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos y su posterior evaluación en la determinación de los parámetros geomecánicos se tomó en cuenta los rubros siguientes:

Entrevistas, encuestas, análisis documentario, observación, medición, etc.

3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Serán mediante las técnicas de medición estadística de tendencia central (media, mediana y moda) y de dispersión (desviación y varianza estándar) mediante la tabulación computarizado.

3.7 Tratamiento Estadístico de Datos

Los resultados de investigación serán puestos a prueba de hipótesis, usando el análisis paramétrico mediante la prueba de distribución "Z" o "T. Student".

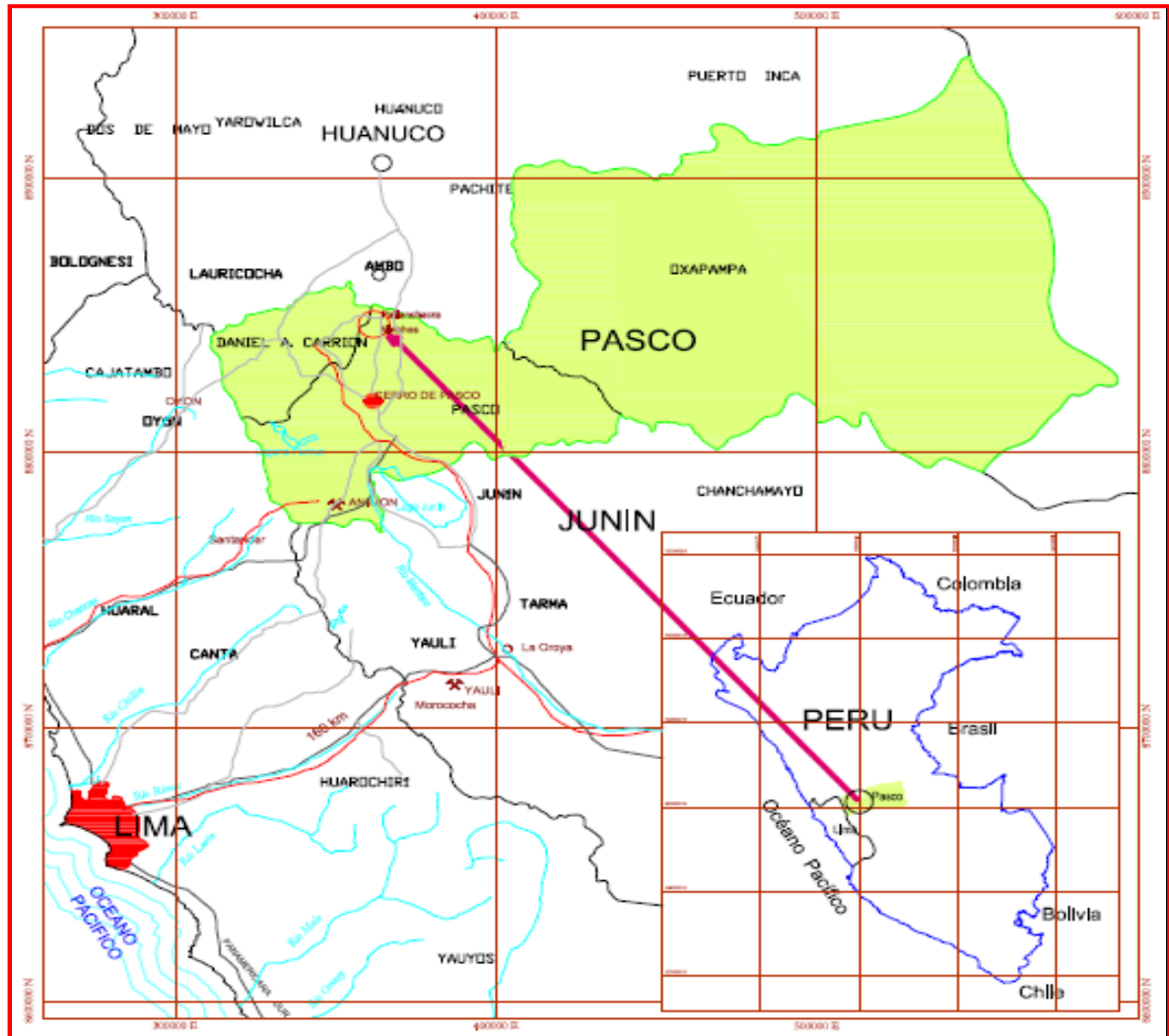
CAPITULO IV

GENERALIDADES

4.1 UBICACIÓN

El Distrito Minero Vinchos se ubica a 19 Km en línea recta al Norte de la Ciudad de Cerro de Pasco, en el Anexo del mismo nombre, Distrito de Pallanchacra, de la Provincia y Departamento de Pasco, entre las coordenadas UTM: 8'845,830 N y 359,950 E a una cota promedio de 4,200 msnm. (Ver plano N° 01)

MAPA DE UBICACION



4.2 ACCESIBILIDAD

De la ciudad de Lima, la unidad es accesible por la carretera central, pasando por Matucana, Junín y Cerro de Pasco. De allí al Campamento Minero Vinchos es accesible a través de una carretera afirmada que une con el Distrito Minero de Goyllarisquizga de donde parte un desvío de 25 km. hacia la derecha.

4.3 BREVE HISTORIA

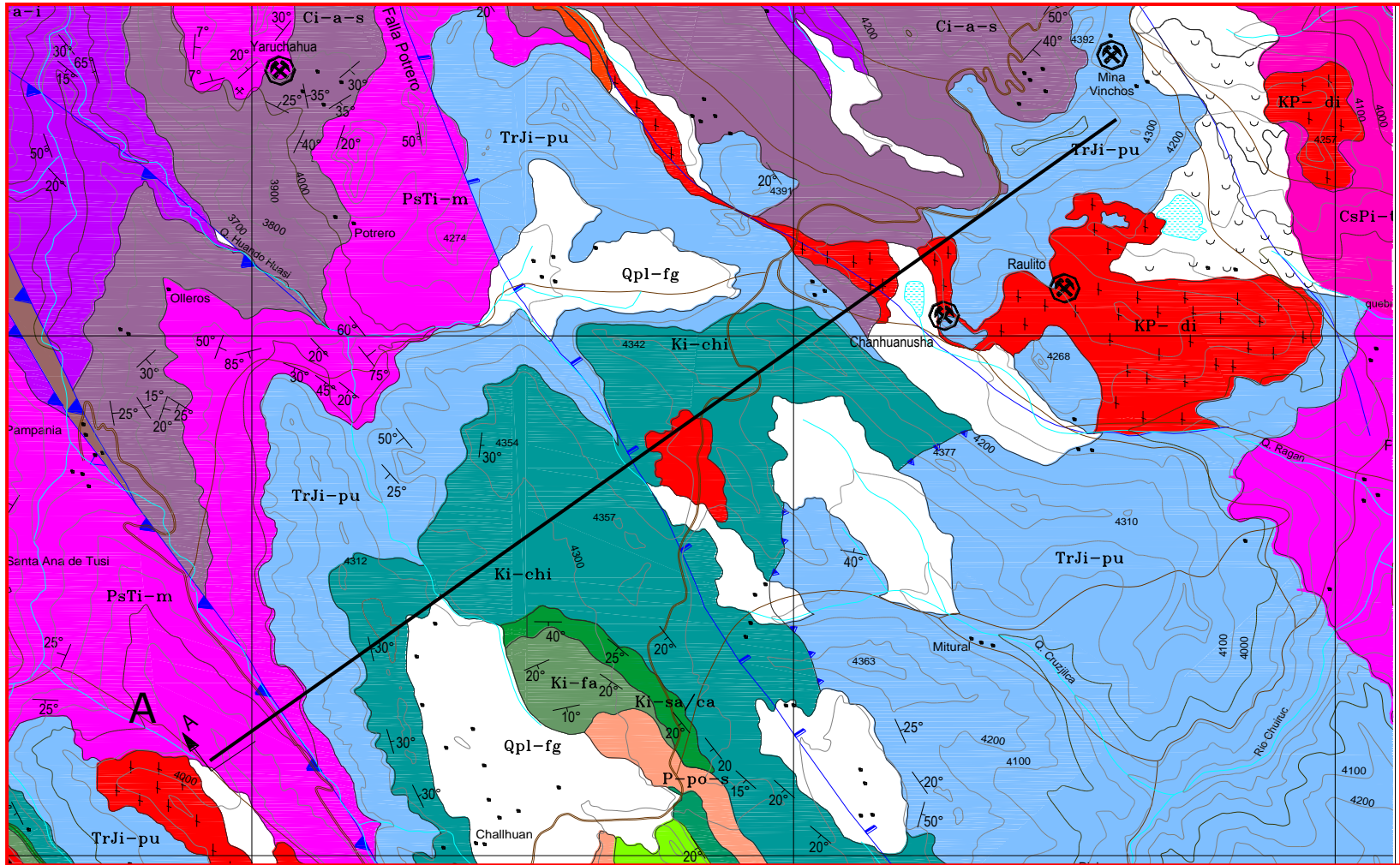
La explotación de Distrito Minero Vinchos data de épocas muy antiguas, haciéndose referencia en los libros de Antonio Raimondi que parte de la Plata utilizada para el rescate de Atahualpa durante la Conquista fue obtenida de Vinchos. Este Distrito fue trabajado continuamente en la Época Colonial Española desde fines del siglo XIX habiéndose beneficiado vetas ricas en Ag (Pb). Entre los años 1880 y 1890 fue trabajada por inmigrantes Portugueses.

A partir de 1890 Don Juan Azalia inicia la explotación de la Veta Corte de León (Yanamina) desarrollando también en 1902 la zona de Pariajirca con la realización del socavón Oyama (nivel 192) con resultados negativos. En diciembre de 1909 Don Juan Azalia arrienda la mina Nuestra Señora del Milagro (parte de Vinchos) a Don Tomas Chamorro quien explora y explota la zona Mina Julio César (Pariajirca) continuando en 1910 el socavón Oyama (nivel 192) cortando la Veta Milagros (cuerpo piritoso).

A inicios del año 2003 Volcan decide realizar una campaña de exploración avanzada en Vinchos, encargando al departamento de Geología Regional de Cerro de Pasco realizar este trabajo, lo cual permitió conocer mejor el marco geológico y estructural del yacimiento, así como definir zonas importantes de skarn con posibilidades de albergar mineralización económica de Ag.

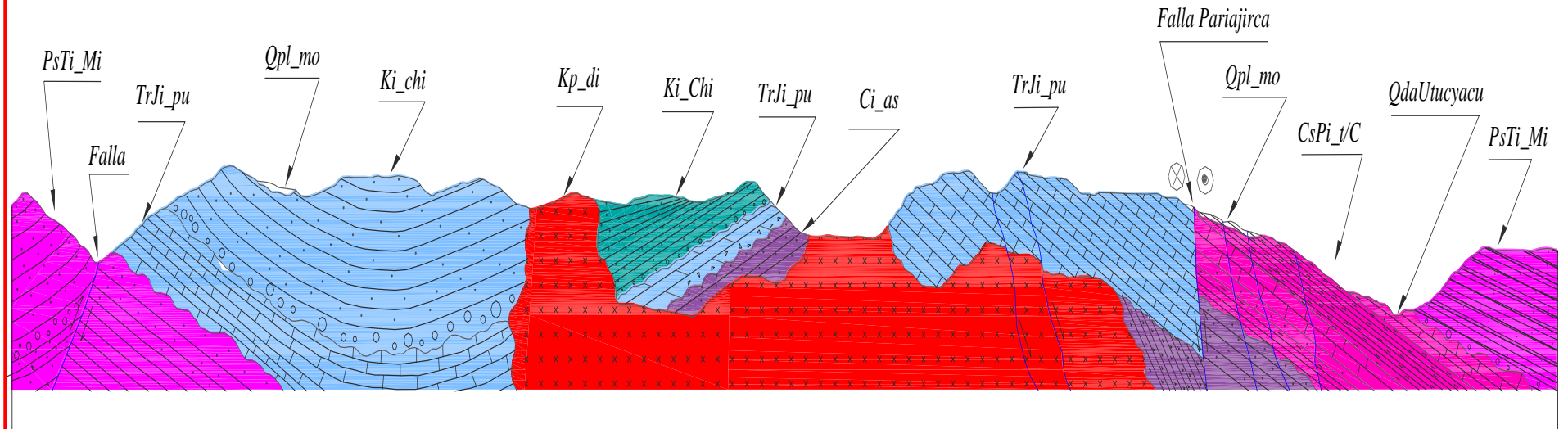
Posteriormente se realizó una campaña de Prospección Geofísica (Magnetometría-IP) ejecutada por Val D'or del Perú, confirmándose la existencia de fuertes anomalías magnéticas e IP. Luego se realizó una campaña de perforación diamantina lográndose confirmar la presencia de vetas y descubrir cuerpos masivos de mineral (Zona Nueva).

Actualmente se continúa la campaña de Perforación Diamantina sobre las proyecciones de las estructuras mineralizadas ubicadas en superficie y sobre las anomalías detectadas con el estudio Geofísico, definiéndose en la Zona Nueva los cuerpos María Inés, Scarlet y Balarín; vetas Balarín II y Haswuz con un potencial bastante interesante



SECCIÓN GEOLÓGICA MIRANDO AL NW

SECCION MIRANDO AL NW



SIMBOLOGÍA

	Eje Anticlinal
	Eje Sinclinal
	Falla
	Contacto Geologico
	Línea de Sección

LITOLÓGÍA

Depositos Morrenicos	Qpl-mo
Diorita	kp-di
Form. Chimu	Ki-chi
Grupo Pucara	TrJi-pu
Grupo Mitu	PsTi-m
Grupo Ambo Sup	Ci-a-s

CAPITULO V

GEOLOGIA LOCAL

5.1 GENERALIDADES

La zona de Vinchos, está emplazada sobre rocas de origen ígneo (intrusivo) y rocas sedimentarias. Estas se encuentran comprendidas desde la época Paleozoica a Mesozoica. Se describe a continuación un resumen de la Estratigrafía local (desde lo más antiguo a lo reciente) (ver plano adjunto):

5.2 GRUPO MITU (PÉRMICO SUPERIOR)

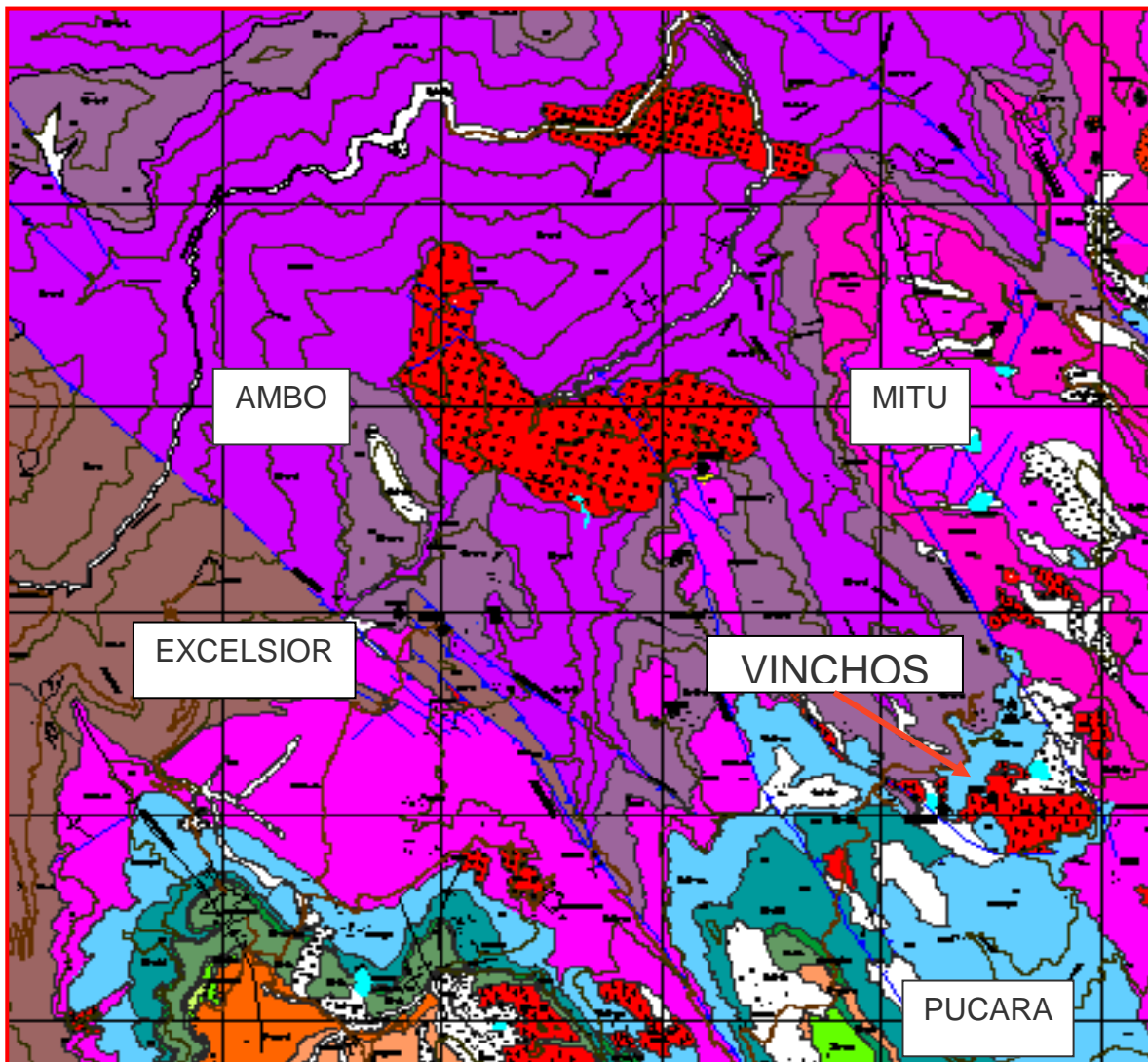
Compuesto por depósitos molásicos que afloran al Este y NE de Vinchos, la base está conformada por conglomerados con clastos redondeados de cuarcitas blancas y en menor proporción de esquistos y filitas suban gulosos en una matriz arenácea de color

rojo ocre, intercalándose además con clastos de areniscas finas con delgados niveles de conglomerados. Las areniscas se aprecian bien clasificadas y cambian a un color pardo claro hacia el contacto-falla con el Grupo Tarma.

5.3 GRUPO PUCARA

Calizas dolomíticas grises de grano fino con vetillas de dolomita blanca y con fina disseminación de pirita.

Calizas dolomíticas y dolomías claras de grano medio a grueso, con vetillas de siderita y ankerita, en partes silicificadas; presenta ínter estratificaciones de horizontes bituminosos lutíticos, fosilíferos y con nódulos de chert así como varios horizontes de tufos de composición dacítica. Esta litología es la que predomina casi en toda la pared este y específicamente dentro del área de excavación.



Afloran rocas desde el paleozoico hasta el mesozoico.
 G.Excelsior, esquistos y filitas, y filitas gris oscuras.
 G.Ambo, dos unidades (inf. Y sup.) Inferior (areniscas, lutitas y limolitas) Superior (arenisca)
 G.Tarma, areniscas intercal. Con limolitas y lutitas gris oscuro.

5.4 INTRUSIVOS

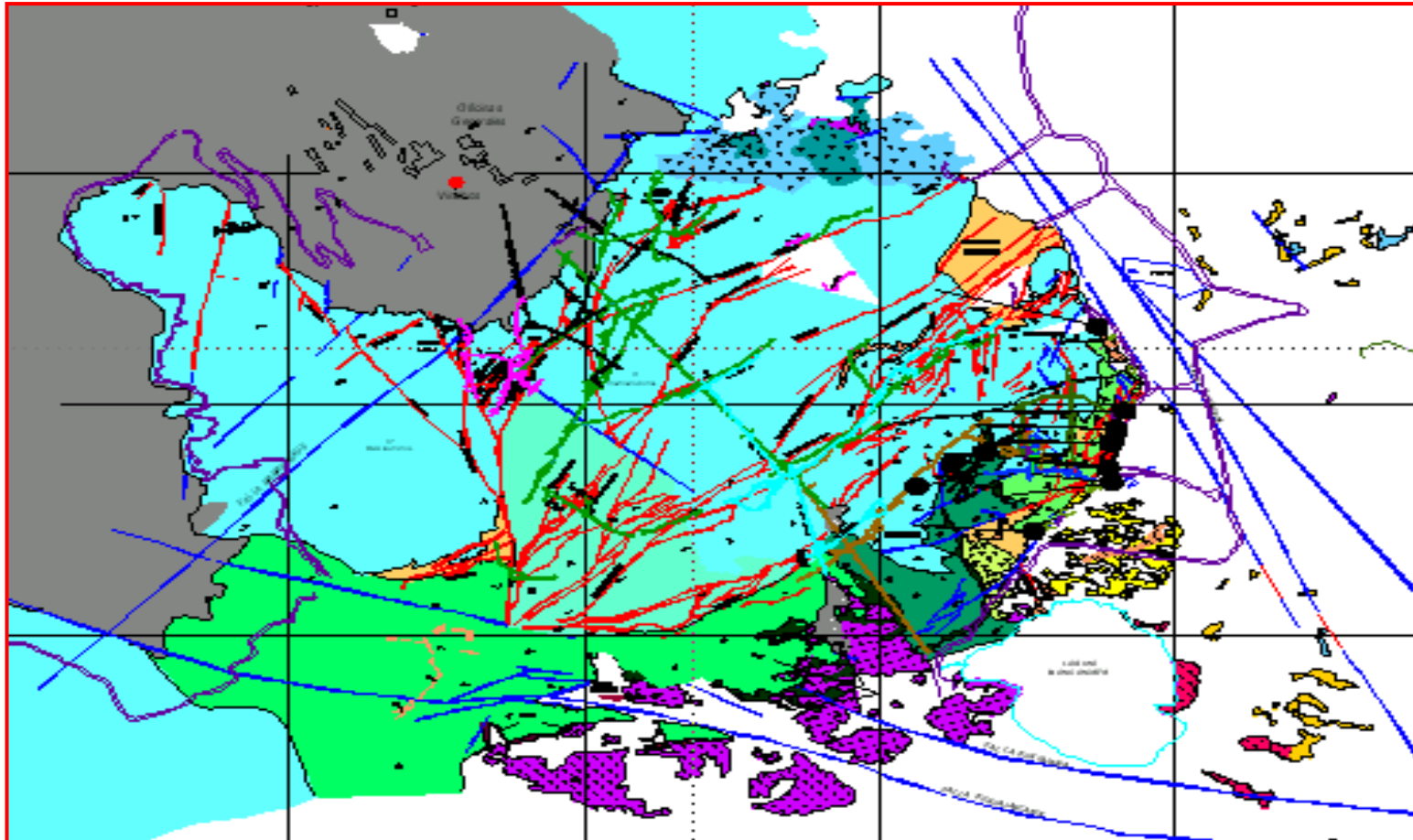
5.4.1 GRANODIORITA PARIAJIRCA

Aflora al Norte del poblado Pariajirca intruyendo rocas silico-clásticas del Grupo Tarma silicificándolas intensamente. Esta roca es de textura porfiritica con presencia de fenocristales de plagioclasas, cuarzo y abundante biotita.

5.4.2 TONALITA MANCANCOTO

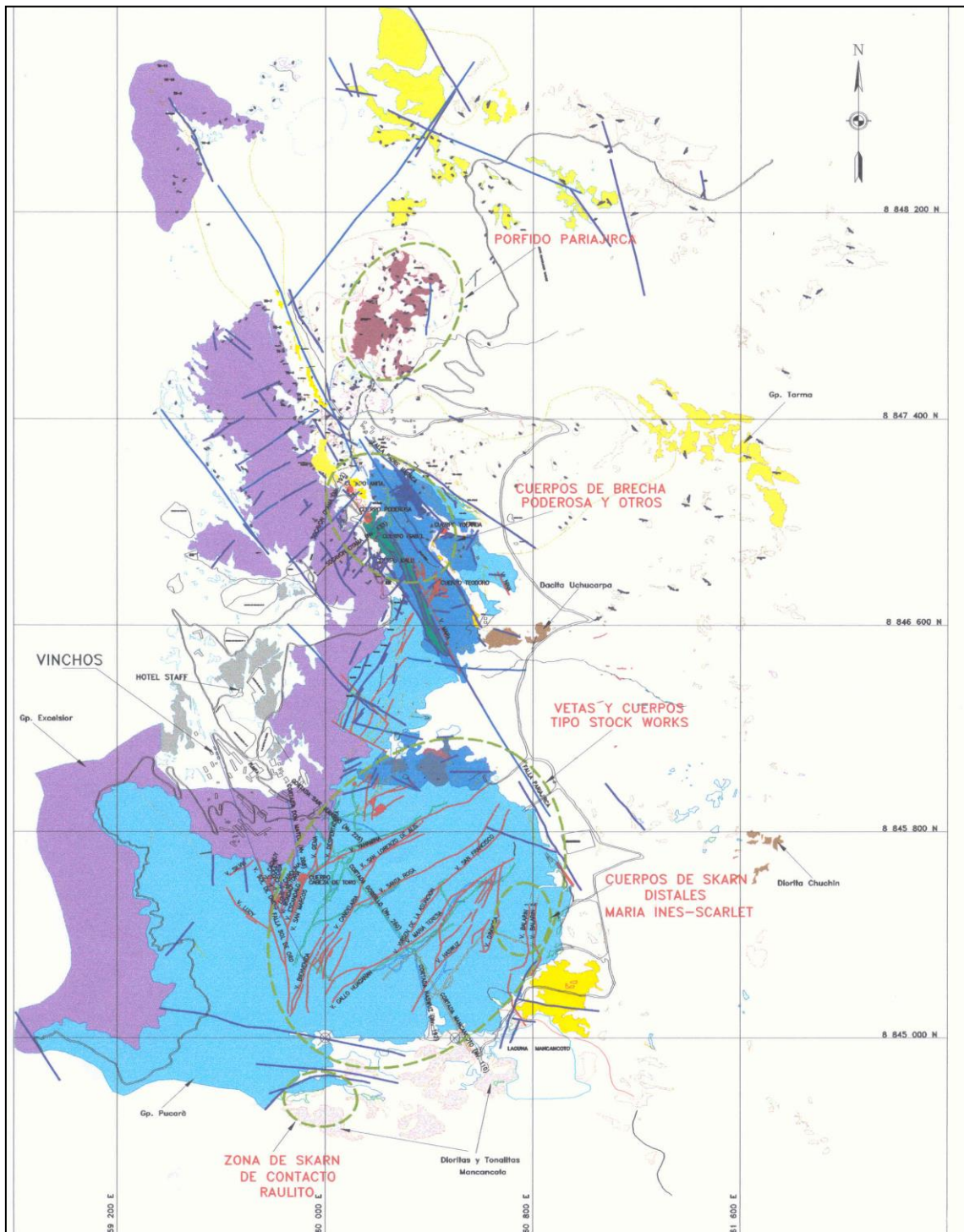
Intrusivo ácido de grano medio equigranular con abundante plagioclasa, horblenda y biotita. Se encuentra aflorando al Sur de la Laguna Mancancoto y está controlado por el sistema de fallamiento Puhujanca. Se encuentra en contacto con las calizas Pucará habiéndose generado por este contacto un halo de skarn con mineralización relevante llamado Raulito. (Ver plano N° 05, 06,07)

GEOLOGIA LOCAL



LITOLOGÍA

Depositos Morrenicos	Qpl-mo
Diorita	kp-di
Form. Chimu	Ki-chi
Grupo Pucara	TrJi-pu
Grupo Mitu	PsTi-m
Grupo Ambo Sup	Ci-a-s



LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS		
				PLUTÓNICAS	HIPABISALES	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales	Q-al		
			Depósitos Coluviales	Q-c		
			Depósitos fluvio-glaciales	Q-fg		
			Depósitos Morrenicos	Q-mo		
			Depósitos Aluviales	QF-a		
	PALEOGENO	EOCENO	Formación Casapala	KP-ca	KP-so,gt	Tonelita granodiorita
					Xp-df	Diorita
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Formación Amasba	Rr-j		
		INFERIOR	Fm. Chólec-Paratambo	M-ch-jk Ch-gt Ch-dh		
			Grupo Goyllarisquiña	Yg-g		
	JURASICO	INFERIOR	Gen. Pucará Fm. Condoronga Fm. Aramachay Fm. Chembart	Tr-j-pu J-c J-a J-dh		
	TRIASICO	SUPERIOR				
PALEOZOICO	PERMIANO	SUPERIOR	Grupo Mita	Ps-m	Ps-gr	Granito
		INFERIOR				
	CARBONIFERO		Grupo Tarma-Copacabana	CP-ta		
			Grupo Ambo	Ct-a		
	DEVONICO	INFERIOR	Grupo Exositor	SD-e		
	SILURICO					
ORDOVICICO	MEDIO	Fm. Contaya	O-c			
NEO-TERCIARIO	COMPLEJO MARAÑÓN		Esquistos	Pe-ene		
			Gneis	Pe-ong		

5.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

5.5.1 ASPECTOS ESTRUCTURALES

El Distrito Minero Vinchos se caracteriza por ser un distrito afectado fuertemente por las Fases Tectónicas Tardihercínica y Andina, evidenciándose en las rocas paleozoicas principalmente del Grupo Excelsior diferentes fases de esquistocidad y micropliegues fuertemente deformados.

El distrito minero ha sido la expresión de una tectónica global muy intensa como lo muestran las evidencias geológicas estructurales, estas se corroboran con la manifestación externa de sobrescurrimiento de la caliza Pucara sobre las rocas paleozoicas como la formación Excelsior.

Toda esta tectónica complementada con la intrusión de rocas que han generado un metamorfismo de la caliza Pucará así como la formación de depósitos minerales tipo Skarn (ver foto adjunto).

5.5.2 PLIEGUES

En la foto podemos observar los pliegues en la zona de Vinchos

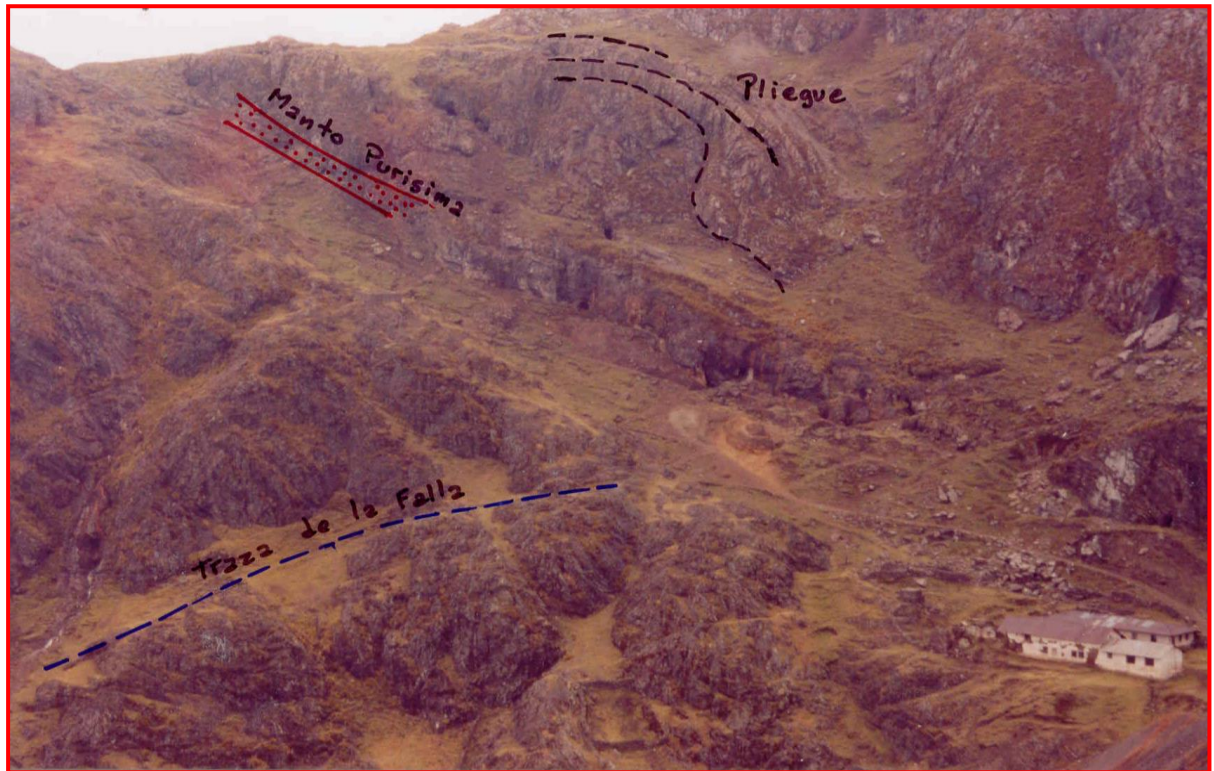


FOTO N° 2

5.5.3 SISTEMA DE FALLAS

La Fase Andina netamente compresiva afectó además a las rocas Mesozoicas generando en Vinchos tres sistemas de fracturamiento-fallamiento.

El primer sistema de rumbo $N25^{\circ}-30^{\circ}W$ de movimiento transcurrente está evidenciado por las **Fallas Principales Pariajirca y Leongasha** ubicadas al Este y Oeste del yacimiento. Otra falla sensiblemente paralela a la primera es la Falla Padre Urraca.

La falla Pariajirca evidencia su continuidad hacia el Sur hasta la prolongación de la gran Falla Milpo-Atacocha, conformando parte de esta.

El segundo sistema está constituido por fallas de rumbo N70°-80°W evidenciado por la **Falla** Puhujanca que corre por la quebrada del mismo nombre. Existen otras fallas de rumbo similar en el área del Yacimiento.

Un tercer sistema está conformado por estructuras de rumbo N40°-50°E representado por la **Falla Mamanvinchos** y una serie de fallas paralelas que llegan a interceptarse con el primer sistema.

SISTEMAS DE FALLAS VINCHOS

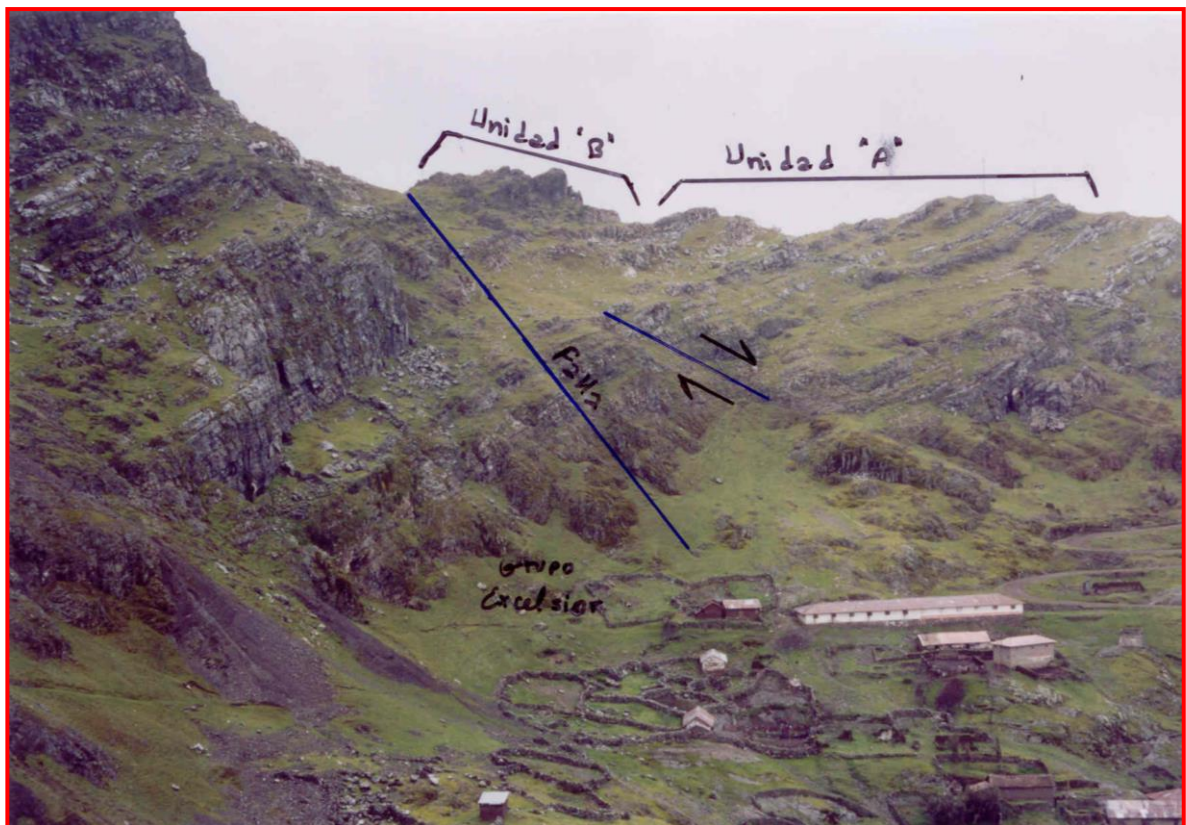


FOTO Nº 3

Estos tres sistemas en Vinchos constituyen el denominado “Triángulo Estructural” dentro del cual se han formado sistemas secundarios de fracturas tensionales múltiples con rumbos sensiblemente paralelos a los tres sistemas principales, que constituyen las vetas que albergan mineralización económica en el yacimiento. Dentro de esta área están emplazadas la mayoría de vetas explotadas anteriormente (Vetas Yanamina, San Lorenzo, Candelaria, Santa Rosa, San Francisco, Maria Teresa y Haswuz).

Un último sistema no menos importante pero poco evidente en la zona es el sistema N-S actualmente explorado y donde se emplaza la mayoría de mineralización en la Zona Nueva como son María Inés, Balarin 1, Balarin 2 y Sol de Oro.

SISTEMAS DE FALLAS NW

Se han definido este sistema de fallas definido a la presencia de una falla regional Pariajirca que tiene rumbo N 20-25° W. Este sistema ha desempeñado un papel importante en los emplazamientos de Stocks, en la formación de brechas tectónicas y en la mineralización.

Dentro de este sistema podemos mencionar una variante a N 70° W, como lo es el sistema de fallas de Purujanca. Dentro del área definida como zona de explotación del Posible Cuerpo Maria Inés, también se aprecia este sistema de fallamiento pero de acuerdo a su sistema conjugado y al

buzamiento entre 60 y 75° se manifiestan más en superficie que en subterráneo. En la galería Nivel 185 se ha cartografiado este sistema más hacia el norte.

SISTEMAS DE FALLAS NE

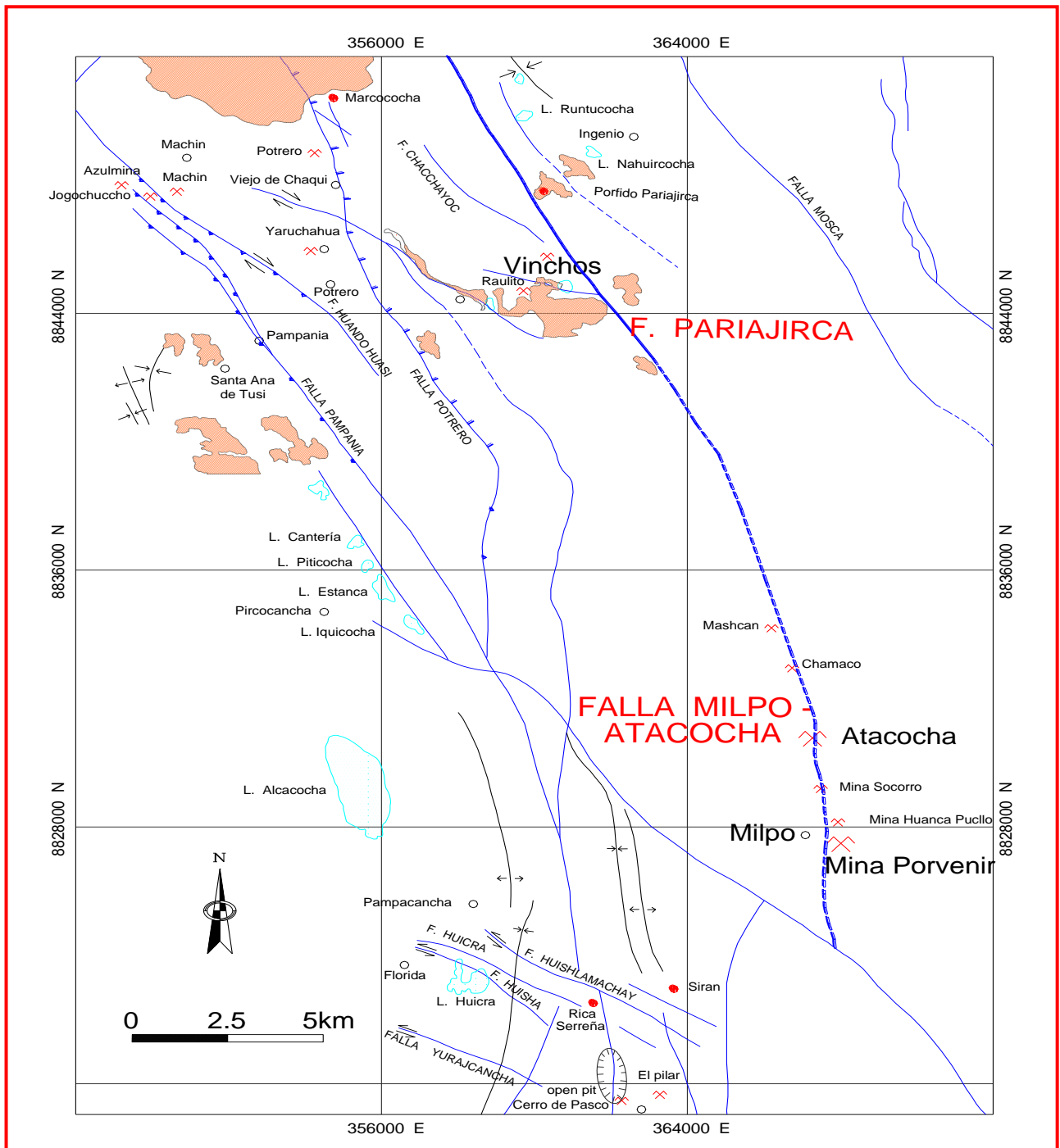
Este sistema está representado por un sistema de fallas y fallas-vetas como lo son falla Balarín, falla Alianza, falla veta Haswus. El sistema varía entre N 40 - 65° E, siendo consecuencia de este sistema un fallamiento conjugado que se ha manifestado en la zona del **cuerpo María Inés**.

Podemos considerar a este sistema como uno de los principales para la excavación en subterráneo, debido a que se han encontrado en las excavaciones de las galerías de investigación en los tres niveles investigados.

SISTEMAS DE FALLAS NS

Otro sistema de fallas definidas por un sistema de vetas que se asocian a ellas. Podemos decir también que el posible cuerpo mineralizado María Inés se encuentra alineado a este sistema, conservando un buzamiento hacia el este con ángulo promedio de 70 a 75°. (Ver plano N° 08)

SISTEMAS DE FALLAS

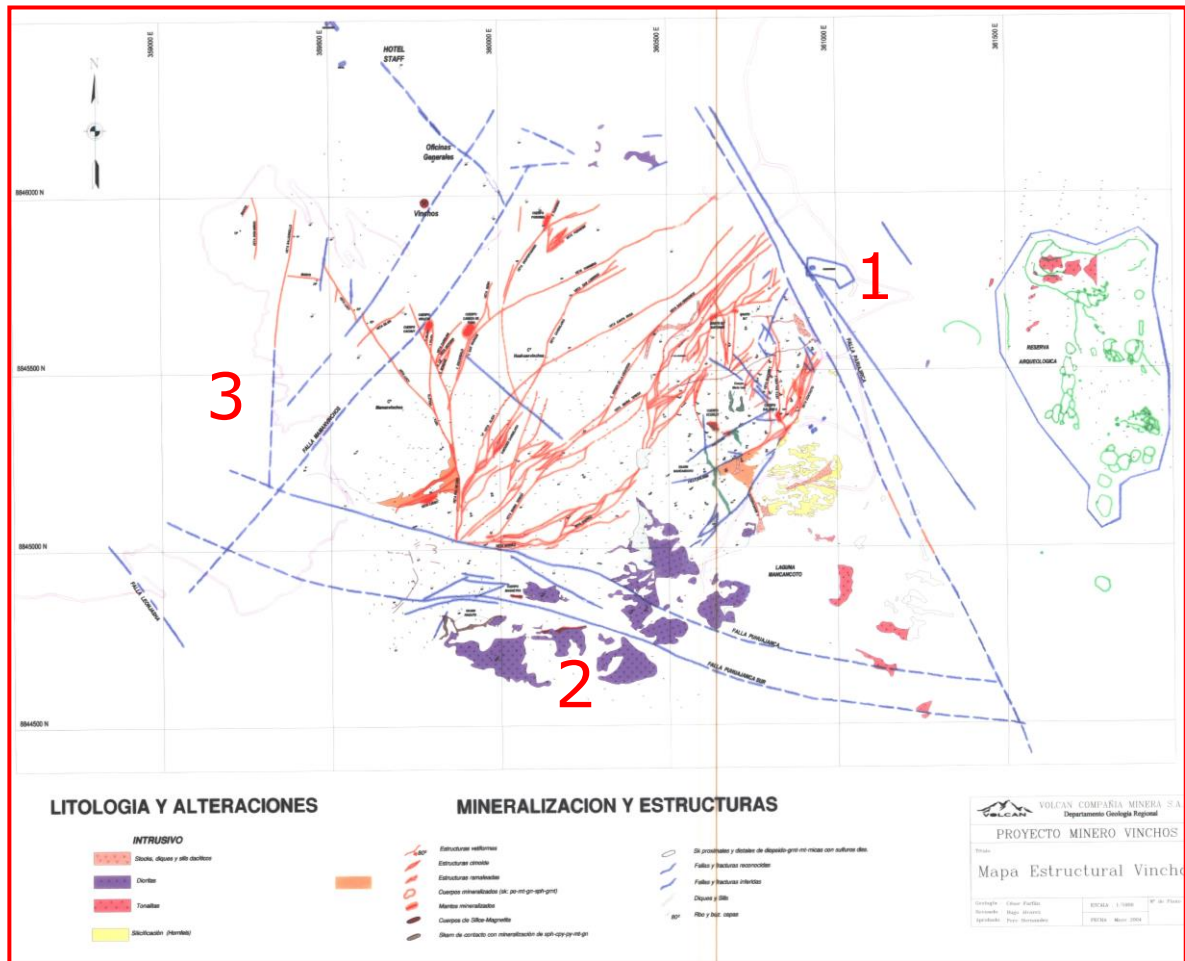


Este sistema se ha apreciado también en subterráneo en especial en el nivel 185 y parte en el nivel 145 pero en menor proporción. De acuerdo al buzamiento definido que van por el orden de 70 a 80° grados se puede considerar que llegue solamente hasta el nivel 145. Esto habrá que ser corroborado con posteriores controles que se desarrollen durante las excavaciones de las galerías y en todo caso durante la excavación de la explotación en sí.

SISTEMAS DE FALLAS EW

Este sistema resulta de la tectónica formadora de fallas NS. Se han apreciado en superficie pero además se han encontrado el nivel 105 formando parte de un sistema de inflexión del cuerpo en profundidad.

Se han definido con buzamientos entre 70 - 80° hacia el norte. Pueden haberse generado como consecuencia de una tectónica residual o de equilibrio durante el emplazamiento de los intrusivos. Estos sistemas son de importancia, debido a su formación reciente no han adquirido un equilibrio de esfuerzos regionales como si lo han realizado las fallas regionales, por lo cual pueden generar un sistema de bloques inestables durante la excavación de explotación masiva del cuerpo María Inés. (Ver plano N° 09)



Principales Fallas:

1.-Falla Pariajirca. (N25-35W): aprox. 3.5km

2.-Falla Puhujanca. (N70-80W)

3.-Falla Mamanvinchos. (N40-E)

5.6 GEOLOGIA ECONOMICA

5.6.1 GENERALIDADES

Vinchos es un yacimiento porfirítico con el emplazamiento de varios pulsos intrusivos que cortaron las calizas del Pucará generando en ellas un reemplazamiento del tipo skarn de contacto, en donde las fugas de fluidos calientes se emplazaron a manera de vetas. Reemplazando las rocas carbonatadas aprovechando el comportamiento estructural de la zona generando cuerpos o ensanchamientos en niveles favorables. Además su asociación estructural y porfirítica permitió emplazar dentro de un corredor estructural llamado Pariajirca cuerpos de brecha asociados a la generación de un pórfido de débil alteración hidrotermal.

La Zona Nueva comprende los Cuerpos Maria Inés, Balarín 2 y Scarlet, y las Vetas Balarín 1, Balarin 2, Haswuz y Maria Teresa.

Las fallas tensionales de rumbo NE-SW (Alianza, Balarin 1 y otras) de gran extensión en superficie y con persistencia en profundidad al parecer sirvieron de conducto para los fluidos mineralizantes provenientes del intrusivo diorítico **Mancancoto**, rellenando y mineralizando los espacios abiertos de rumbo NS (Maria Inés, Balarín 1 y 2) y NE-SW (Haswuz, Maria Teresa y otros menores).

TIPOS DE MINERALIZACION

Estructuras Vetiformes

Son las estructuras que más se conocen y han sido explotadas en años anteriores, tienen altos contenidos de Ag (Pb). Las principales son Haswuz, María Teresa, San Francisco, Santa Rosa, Yanamina, etc

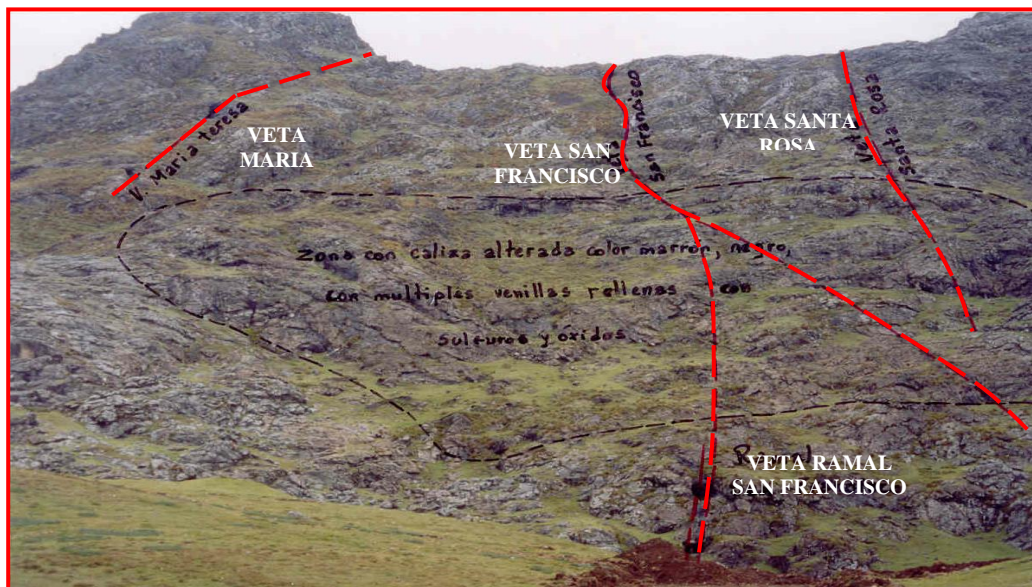


FOTO N° 4

Skarn de Contacto

La zona más representativa es Raulito, con mineralización de Zn-Pb-Cu-Ag. Este skarn se emplaza en el contacto entre rocas intrusivas (tonalitas Mancancoto) y calizas del Pucará.



FOTO N° 5

Cuerpos Distantes

Este tipo de mineralización es uno de los nuevos

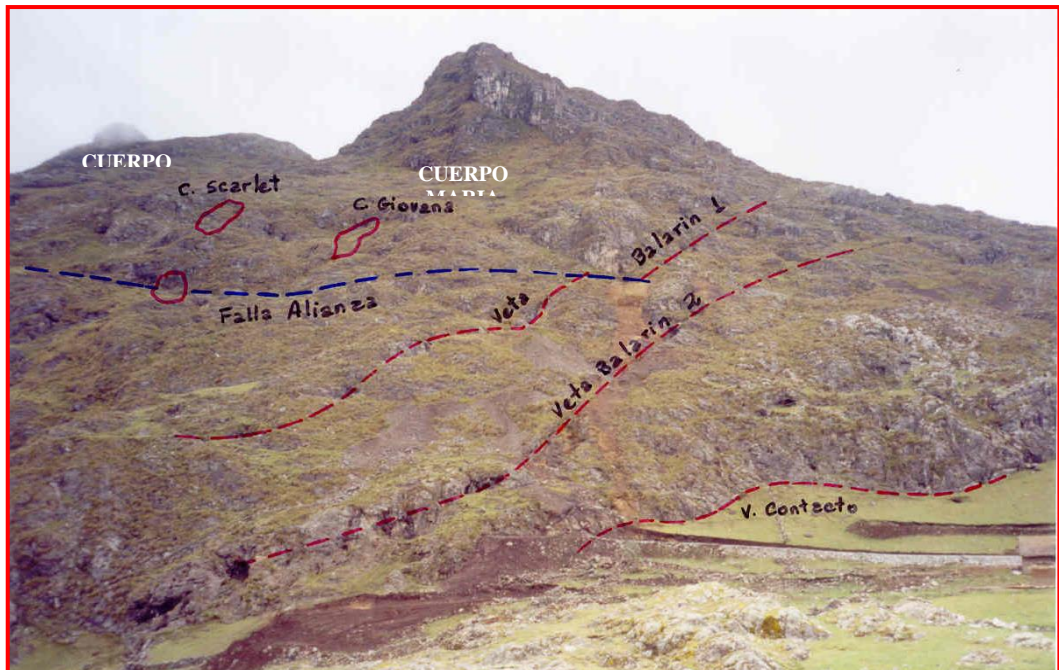


FOTO N° 6

Stockwork

El intenso fracturamiento en las calizas ha producido un stockwork siendo el mejor expuesto el de San Francisco, que se trata de una gran cantidad de vetillas rellenas con oxmn, hematita.

Cuerpos de Brecha

Son bx con morfología de “pipes” formados en el cruce de la Falla Pariajirca y un sistema tensional N30°-50°E.

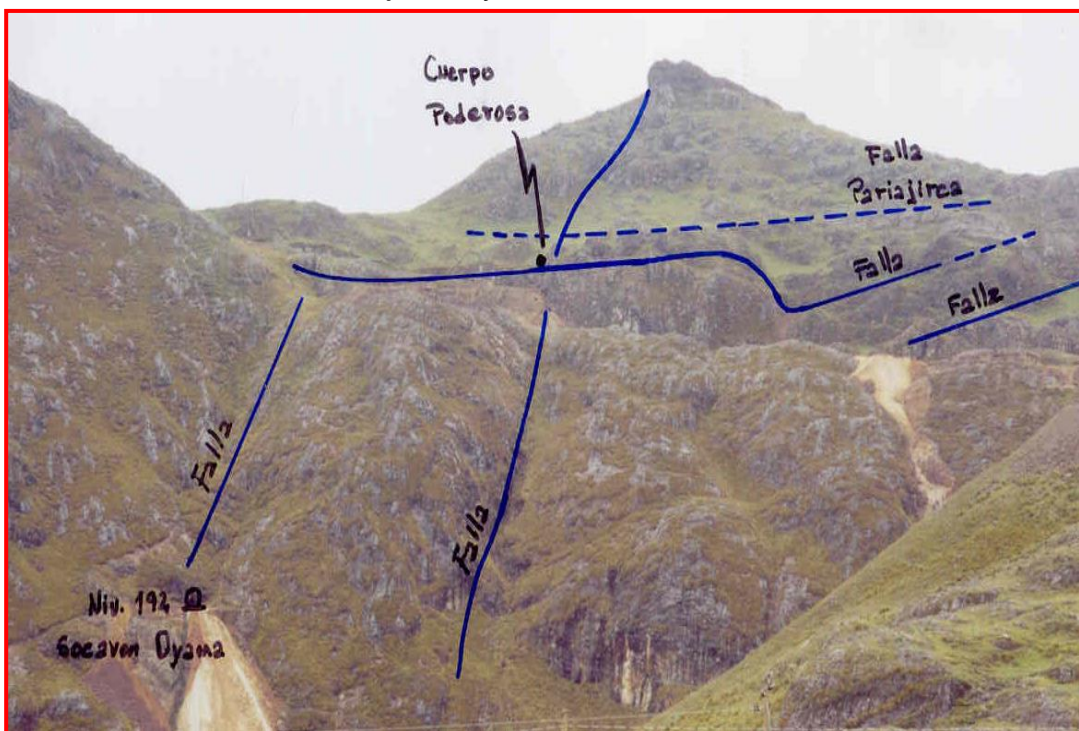


FOTO N° 7

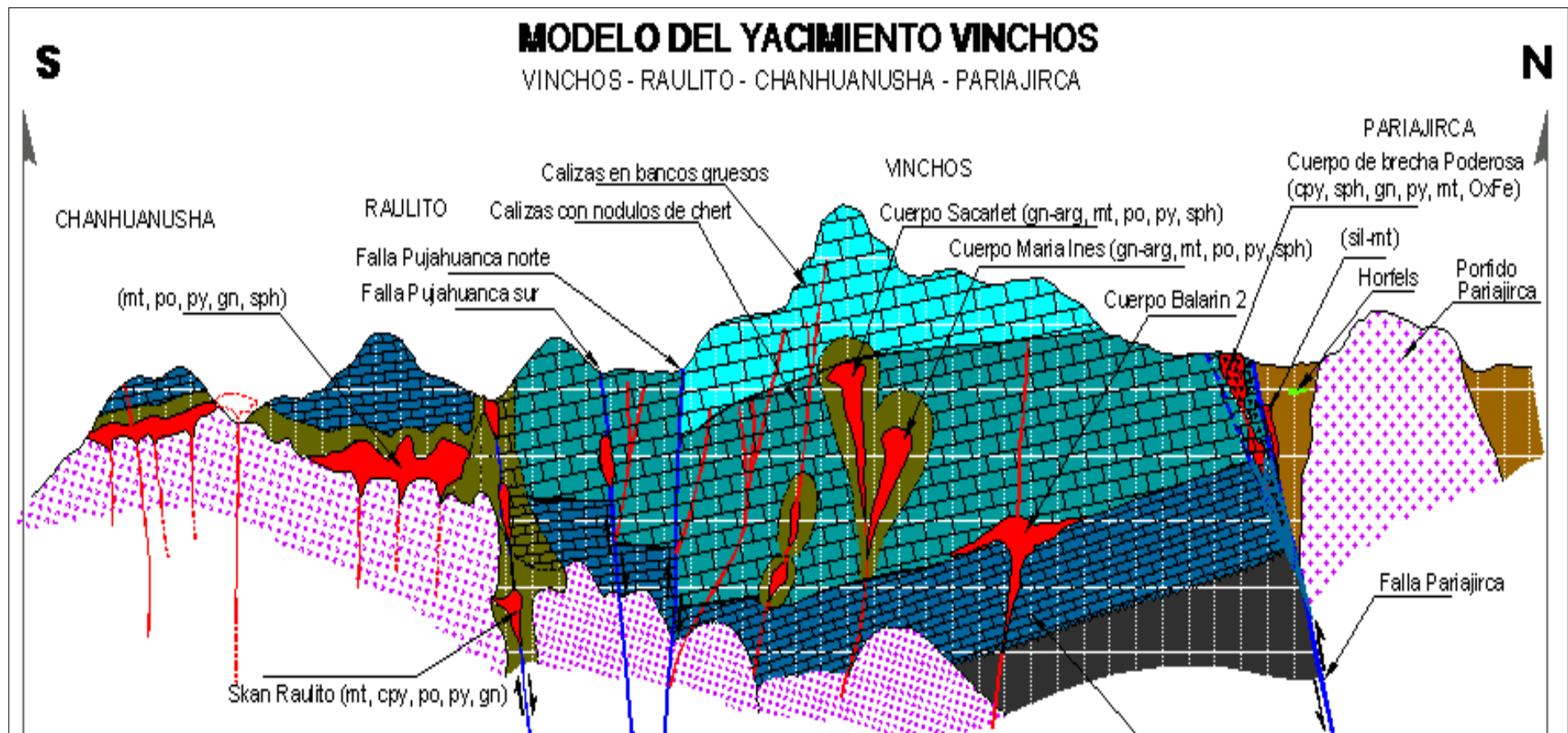
5.7 VETA - CUERPO MARIA INÉS

Este Cuerpo de Skarn conocido como María Inés es uno de los nuevos descubrimientos hallados por el Grupo de Exploraciones Vinchos y que en la actualidad está siendo intensamente explorado, desarrollado y preparado en esta nueva etapa operativa

de la mina. Se le ha reconocido en 3 niveles principales de preparación (Niveles 185, 145 y 105) hasta el nivel 65 con perforaciones diamantinas con una diferencia de elevación de más de 130m quedando abierto en profundidad hasta desarrollar laboreos inferiores que permitan conocer en mayor detalle su mineralización en profundidad. La mineralización económica de este Cuerpo no aflora en superficie y solo aparece conformando un halo de alteración del tipo skarn de diópsido-granates-micas con valores anómalos en Ag.

Estructuralmente este Cuerpo tiene orientación N-S y buzamiento de 75°E, variando hasta los 80°E. Sus dimensiones del cuerpo son de 8-10m de ancho y 70-80m de largo, presentando hacia sus extremos Norte y Sur una continuidad estructural y mineralizada de forma de Veta con anchos promedios a 0.80m con valores de 5-7oz.Ag/t, siguiendo el mismo rumbo N-S, por lo que se le llama Cuerpo-Veta María Inés.

La mineralización que presenta como mena corresponde a galena argentífera masiva y platas rojas (pirargirita–proustita), y como mineral de ganga se tiene pirrotita masiva, pirita en diseminaciones y magnetita en trazas. (Ver plano N° 10)



CUERPOS Y VETAS

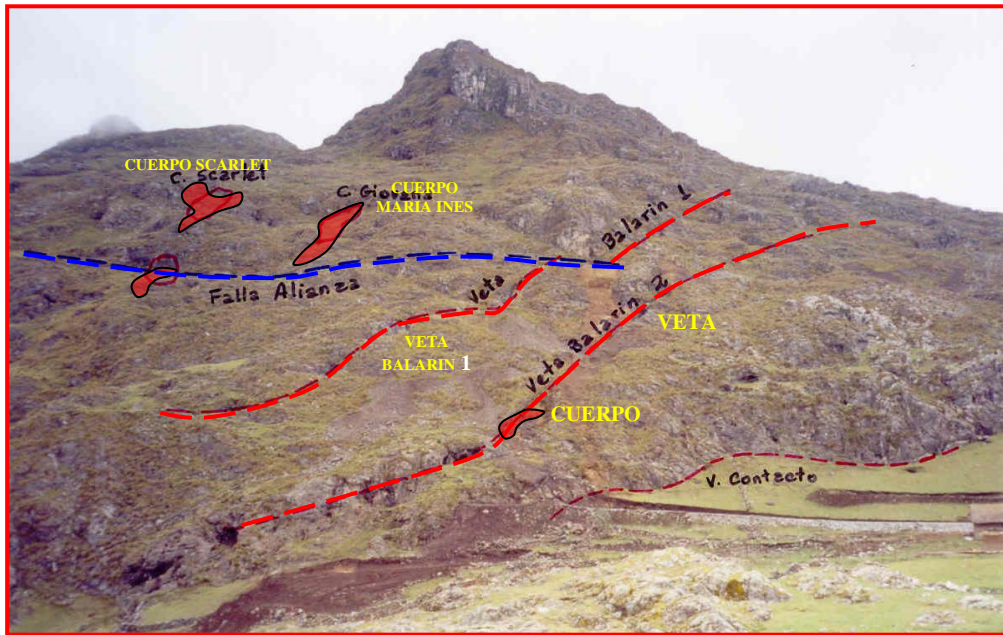
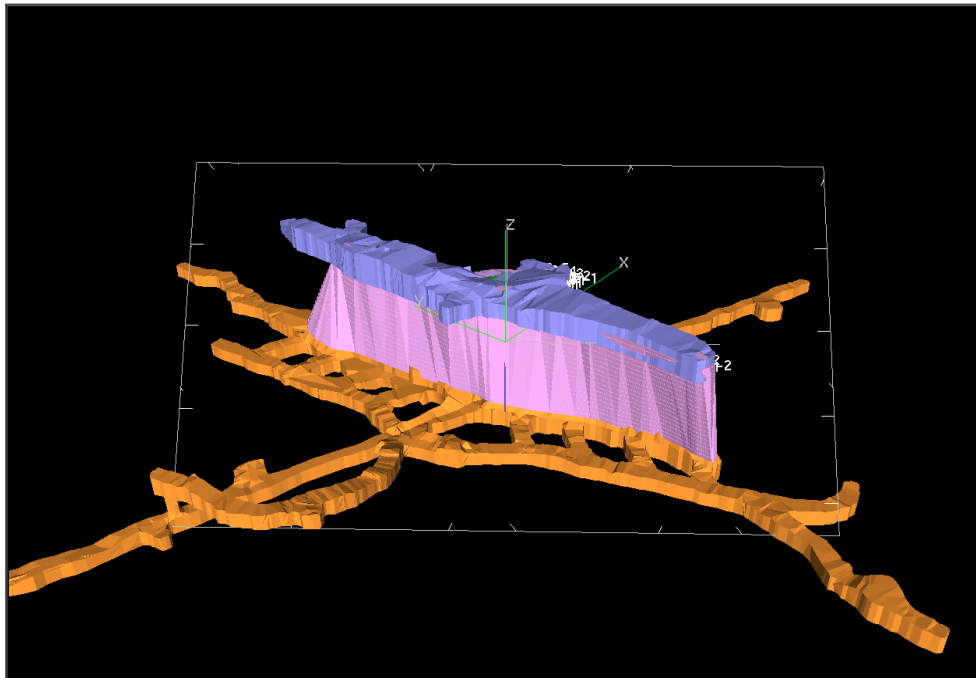


FOTO N° 8

CUERPOS MARIA INES



5.8 ASOCIACIÓN MINERALÓGICA

A fines del año 2,004 se realizó un estudio mineragráfico de muestras de Mineral de Vinchos que se procesa en San Expedito tanto de cabeza, como concentrado y relaves, realizado por la Empresa Geoxinsa obteniéndose los siguientes resultados.

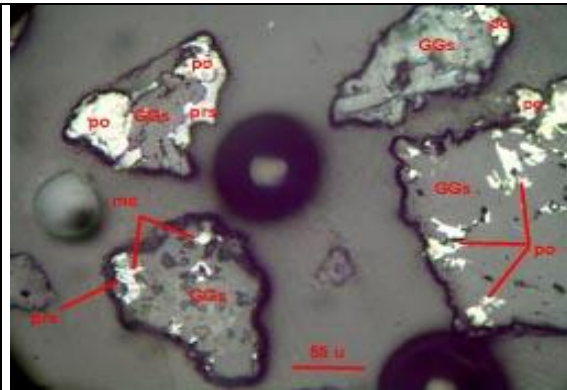
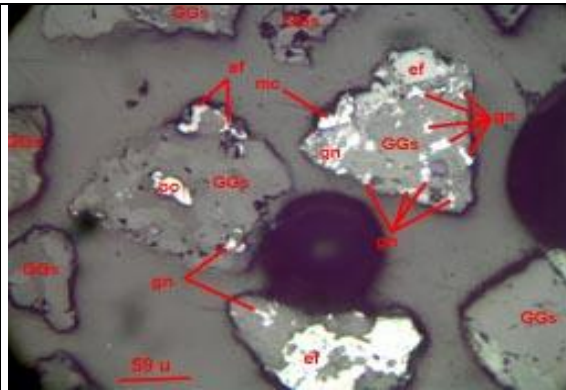
Los minerales que integran las diferentes muestras, es decir, tanto de cabeza, concentrado y relaves, en sus diferentes mallas, son los siguientes:

MINERALES	FORMULAS	SÍMBOLOS
Galena	PbS	Gn
Escalerita	ZnS	Ef
Calcopirita	CuFeS ₂	Cp
Argentita	Ag ₂ S	Agt
Plata Nativa	Ag	Ag
Proustita	Ag ₃ AsS ₃	Prs
Tetraedrita	(Cu,Fe,Au,Ag) ₁₂ SbS ₁₃	Td
Bournonita	PbCuSbS ₃	Bnn
Novelita	CuS	Cv
Pirita	FeS ₂	Py
Pirrotita	Fe _{1-x} S	Po
Marcasita	FeS ₂	Mc
Arsenopirita	FeAsS	Apy
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Mt
Hematina	Fe ₂ O ₃	Hm
Goethita	FeO.OH	Gt
Gangas		GGs

Los minerales económicos se hallan integrados por: galena, esfalerita, calcopirita, argentita, plata nativa, tetraedrita, bournonita y proustita.

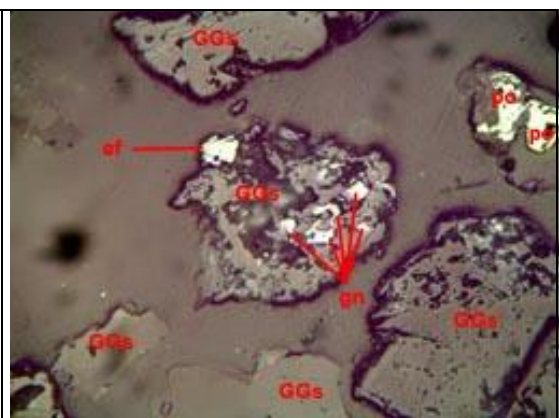
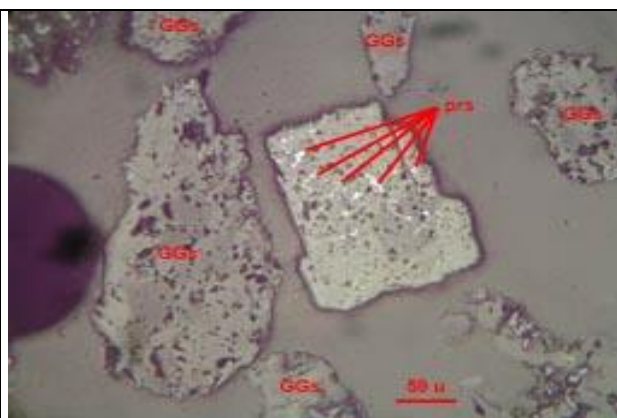
Los minerales de plata están constituidos por Proustita, Argentita y Plata Nativa. Como minerales portadores de plata están la Galena,

Tetraedrita y Calcopirita. En todas las muestras se observa presencia de Esfalerita, particularmente en los concentrados. Los minerales de gangas están integrados, mayormente, por silicatos y carbonatos.



Fot. 1. Partículas libres de gangas (GGs), partícula entrelazada de galena (gn) con esfalerita (ef), pirrotita (po) y ganga (GGs); otra partícula entrelazada de galena (gn) esfalerita (ef), marcasita (mc) y gangas (GGs). Muestra: CABEZA +100. Magnificación: 200X.

Fot. 2. Partículas entrelazadas de proustita (prs) pirrotita (po) y gangas (GGs), partícula entrelazada de pirrotita (po), con marcasita (mc) y gangas (GGs); partícula entrelazada de pirrotita (po) con la ganga (GGs) y otra partícula entrelazada de pirrotita (po) con gangas (GGs). Muestra: CABEZA + 100. Magnificación: 200X.



Fot. 3. Partículas libres de gangas (GGs) y partícula entrelazada de proustita (prs) con la ganga (GGs). Muestra: CABEZA + 100. Magnificación: 200X.

Fot. 4. Partículas libres de gangas (GGs), partícula entrelazada de galena (gn) con esfalerita (ef) y gangas (GGs), otra partícula entrelazada de pirrotita (po) con la

	ganga (GGs). Muestra: CABEZA + 100. Magnificación: 200X.
--	--

5.8.1 ALTERACIONES

Ciza recristalizada con abundantes vnlis de Fe Ox.

Hornfels de protolito silicoclastico y vnlis calcareos (Gpo. Tarma)

Skarn progrado de granates, wallastonita – baritina

Marmol

Skarn de silice – magnetita

5.8.2 PARAGÉNESIS DEL YACIMIENTO

5.8.2.1 PARAGENESIS

La paragénesis es la secuencia deposicional en el tiempo, a este orden de deposición de minerales se le denomina secuencia paragenética y el estudio de la paragénesis se realiza por medio de las texturas y estructuras. Las soluciones mineralizantes cambian su composición gradualmente durante su recorrido, formando diferentes tipos de minerales.

La secuencia paragenetica observada es como sigue:

A.- Alteración hidrotermal de la roca encajonante (skarnificación)

B.- Depositación hidrotermal de los minerales

Magnetita

Pirita

Arsenopirita

Pirrotita

Marcasita

Esfalerita

Tetraedrita-Tennantita

Bournonita

Proustita

Calcopirita

Plata Nativa

Galena

Oro Nativo

Melnikovita

C.- Deposición supérgena de los minerales:

Hematita

Goethita

**DESCRIPCIÓN MINERALOGICA DEL CUERPO
MARIA INES POR NIVELES:**

Nivel 185

Galería 740 N.

Aquí la estructura se comporta como veta de potencia reducida (25-45cm) rellena de sulfuros (galena, pirrotita, pirita) asociado al skarn de granates en roca

caja de caliza marmolizada con nódulos de chert, su buzamiento es de 65 a 70 hacia el Este.

Galería 740 S.

Consiste en veta con relleno de sulfuros (galena, pirrotita, pirita), asociado a skarn de granates e incremento de pirrotita sobre una caliza marmolizada fina a nodular. El buzamiento se mantiene en 75 hacia el este, el ensanchamiento que se tiene en los niveles inferiores.

Nivel 145.

Galería 765 N.

La veta tiene mayor ensanchamiento, se observa en este nivel con tramos de hasta 10 m, el mineral aparece de forma masiva orientadas como bandas y hacia las cajas la mineralización continua como disseminaciones en tramos bastante alterados, dentro de ellos es posible distinguir tramos estériles (caballos).

Nivel 105.

Galería 390 N.

Continua con el ensanchamiento sobre la proyección de los niveles superiores, la característica geológica es la misma, de igual manera hacia el extremo Norte la

potencia decrece. El ramal (split) interceptado en el nivel 145 persiste.

CUADRO DE MUESTREO SUPERFICIAL

N. Muestras	Pot (m)	% Cu	% Pb	%Zn	OzAg/TM	grAu/TM
31	0.57	0.02	3.85	3.89	22.22	0.53

CUADRO DE PERFORACIONES DIAMANTINAS SUPERFICIALES

Cod. Taladro	N. de Muestra	Pot (m)	Cu %	Pb %	Zn %	OzAg/TM	grAu/TM
LY-05	6485	0.20	0.02	1.35	1.37	8.55	0.038
LY-06	6356	0.15	0.02	3.27	0.61	27.46	0.123
LY-07	6044	1.80	0.01	0.04	0.36	2.44	0.107
LY-08	6150	0.35	0.01	5.80	9.15	7.84	0.024
LY-8A	6224	0.15	0.01	0.03	0.02	0.61	0.027
LY-09	6829	1.65	0.01	2.5	1.02	8.58	0.172
Y-10	6745	0.05	0.03	16.70	1.74	30.41	0.644
Y-11	6600	1.80	0.01	1.27	1.92	5.47	0.181
LY-12	6990	0.36	0.05	10.4	4.12	43.72	0.47
LY-13	6923	0.30	0.02	0.52	0.09	4.82	0.016
LY-14	13689	0.15	0.03	8.09	7.45	42.57	0.311
LY-16	14129	0.10	0.06	2.60	0.34	9.10	0.074

CUADRO DE PERFORACIONES SUBTERRANEAS

Cod. Taladro	N. de Muestra	Pot (m)	Cu %	Pb %	Zn %	OzAg/TM	grAu/TM
ME-145-20	14521	0.25	0.05	24.9	4.5	148.54	0.49
ME-145-20	14522	0.6	0.03	1.66	1.5	14.11	0.25
ME-145-21	14736	0.15	0.03	7.06	0.93	8.68	0.25
ME-145-22		0.04					
ME-145-23	14536	0.70	0.02	1.00	0.33	7.01	0.16
ME-145-24	14543	1.20	0.01	4.17	1.37	21.44	1.28
ME-145-25	14548	1.10	0.01	0.49	0.30	3.41	0.06
ME-145-26	14550	2.60	0.01	0.37	0.34	1.58	0.29
ME-145-27	14554	0.30	0.02	3.52	0.87	52.21	0.69
ME-145-28	14558	2.10	0.01	0.54	0.29	1.38	0.05

Descripción de Labores

5.9 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

Características del Método

Mineralización en vetas y cuerpos

Buzamiento : 80° a 90°

Potencia Mineralizada

Vetas 0.60 - 1.20 mts.

Cuerpos 3.0 - 8.0 mts.

Roca encajonante competente:

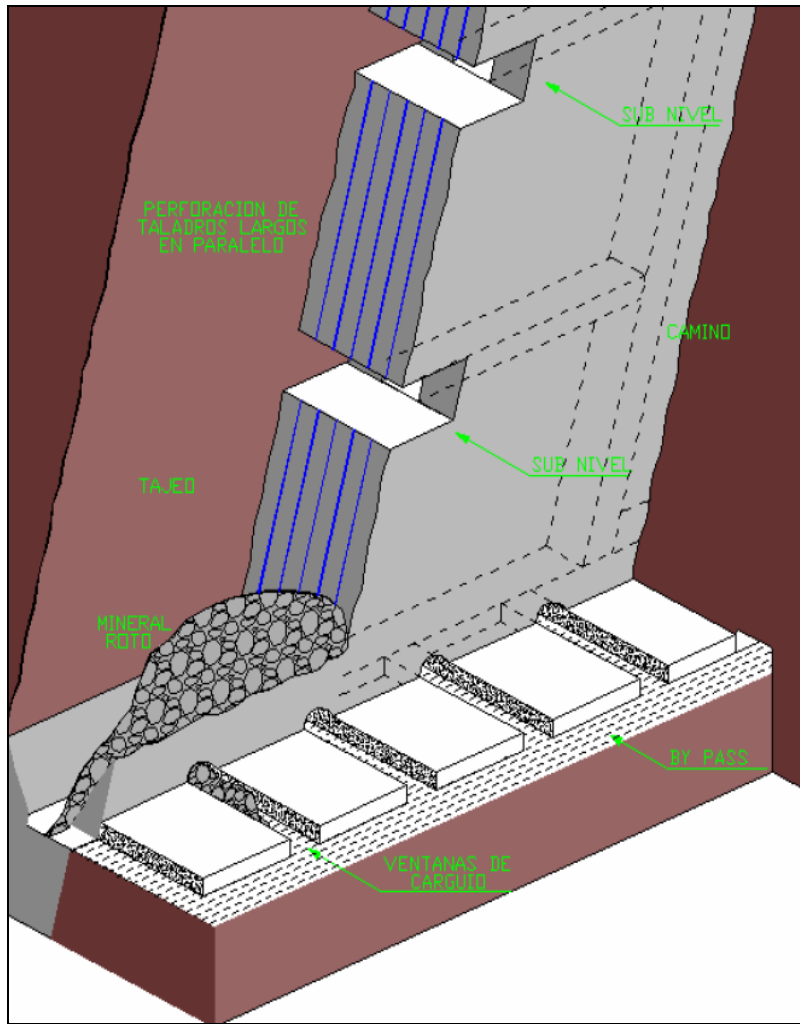
Caliza

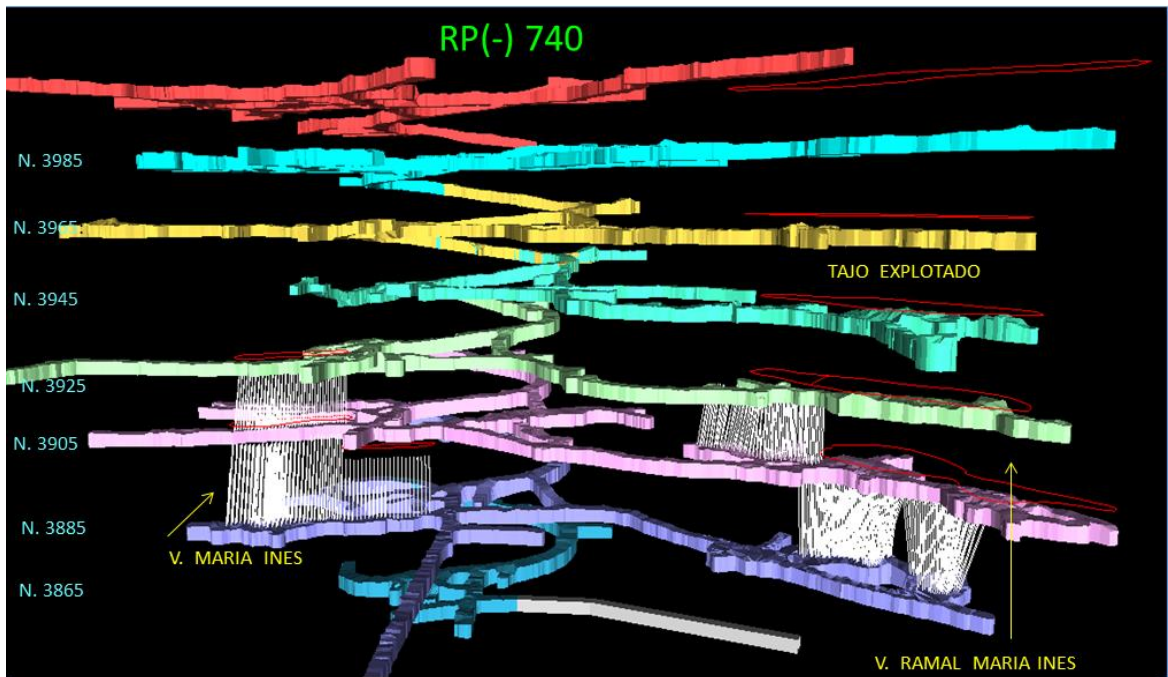
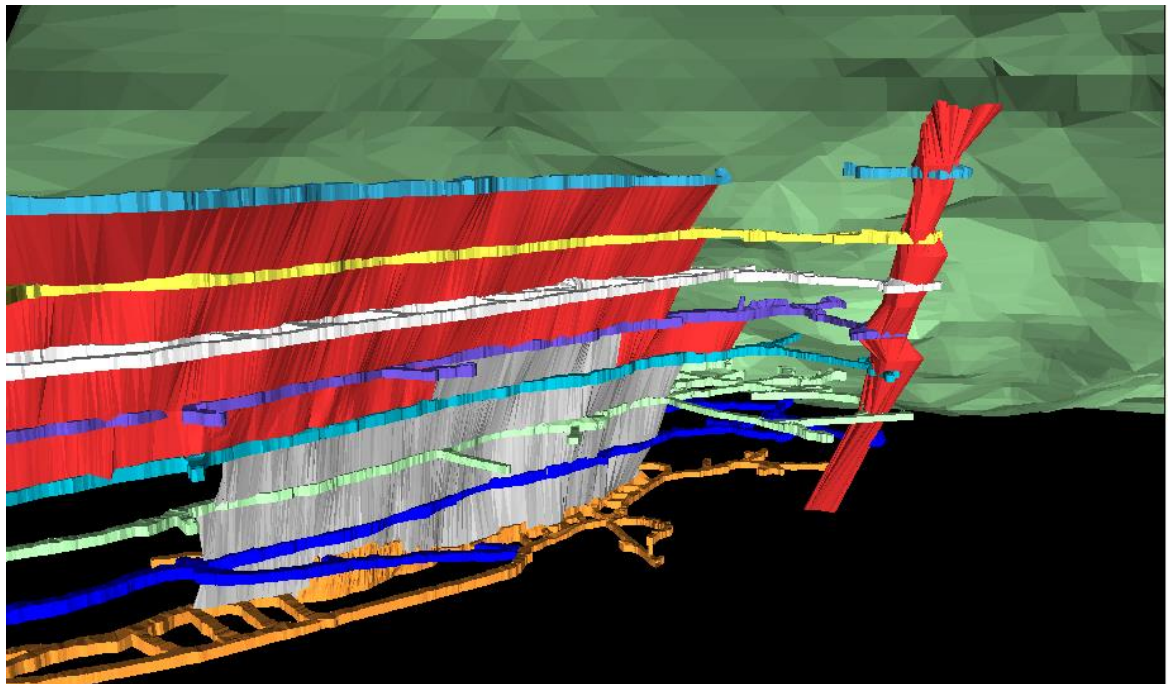
Acceso a partir de la Rampa:

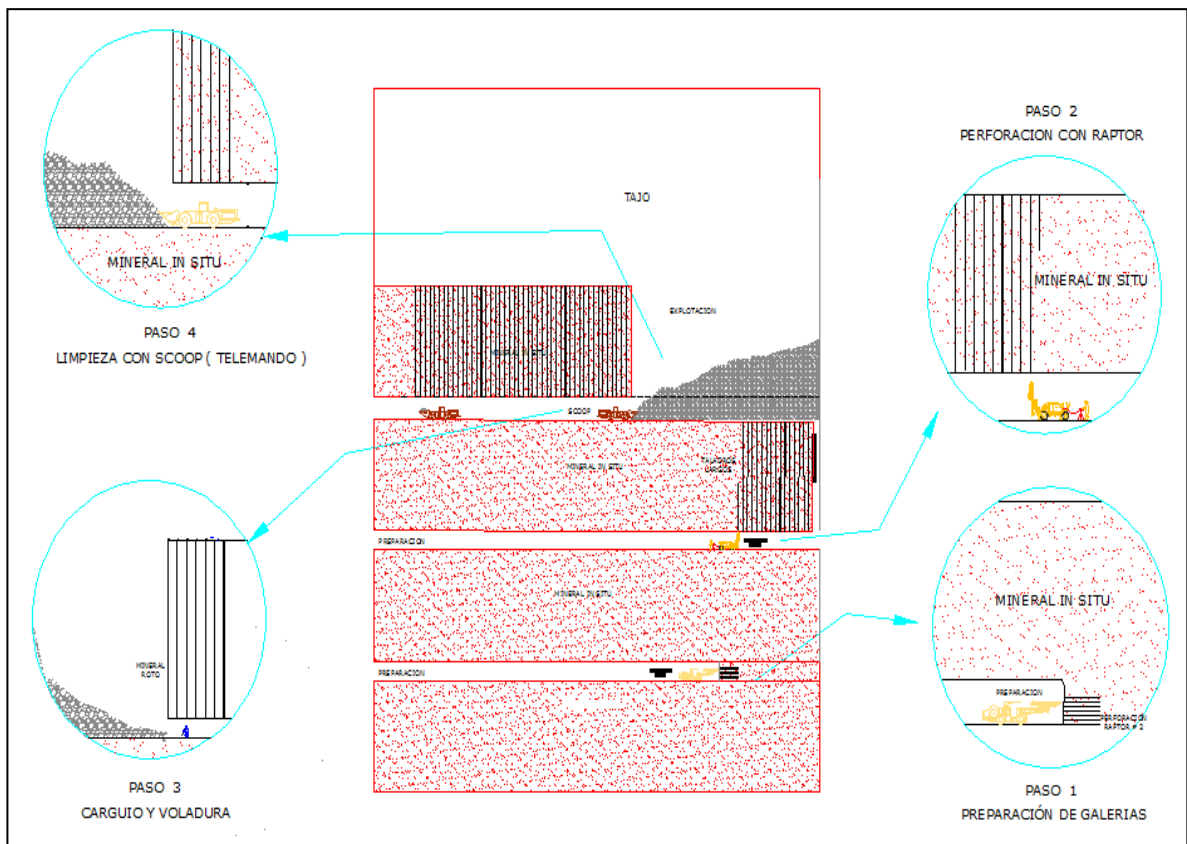
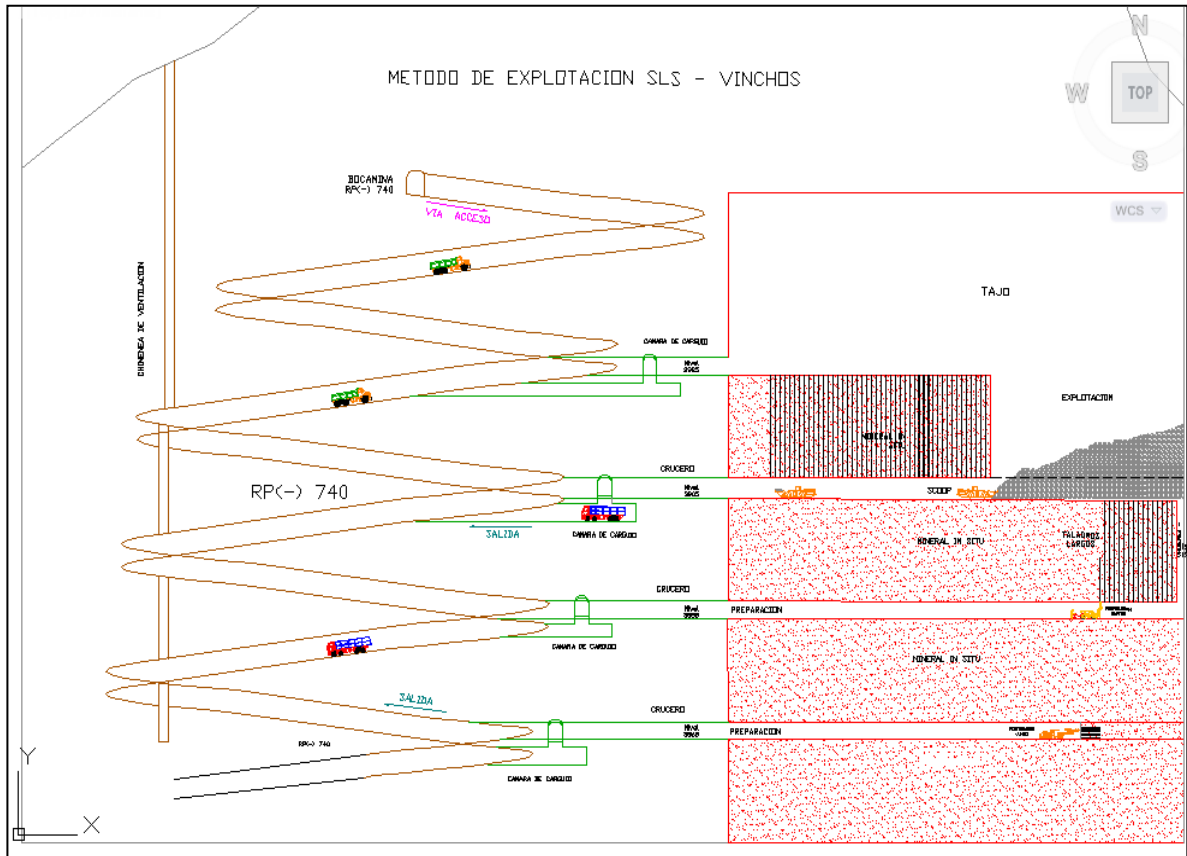
Cruceros – Galerías

Sección 3.0 x 3.5m

Gradiente: 1%







CAPITULO VI

CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS

6.1 GENERALIDADES

Las clasificaciones geomecánicas de Macizos Rocosos son métodos simplificados para definir y controlar la estabilidad de las obras que se ejecuten en él, mediante ciertos elementos y procesos que interactúan entre sí.

El reconocimiento de la necesidad e importancia de los sistemas de clasificación de los macizos a sido resaltado en un gran número de artículos indicados por varios autores; así tenemos los trabajos de Terzaghi (1946), Deere (1974), Stini y Lauffer, entre otros; pero de ellos los de mayor aplicación en la actualidad son la Clasificación CSIR, de Bieniawski, y la Clasificación de NGI, de Barton, Lien y Lunde, Sistema GSI, Clasificación de Gonzáles de Vallejos, Clasificación RMI.

Para la presente evaluación solamente nos referiremos a la clasificación CSIR y RMR de Bieniawski debido a que la roca es de buena calidad, la clasificación GSI es para rocas de regular a mala calidad, la de G. Vallejos para rocas muy malas.

Para la presente evaluación se ha considerado solamente la roca que está implicada en la excavación programada, en este caso es la roca caliza.

Esta es de color gris a gris oscuro, compacta, de alta durabilidad debida que se encuentra algo metamorfizada (mármolizada). Se han considerado parámetros teóricos y de otras rocas similares encontradas en la zona de Cerro de Pasco, pero los datos son confiables debido al tipo de roca.

6.2 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO POR Q (SISTEMA NGI BARTON)

Se hace mención a este sistema debido a que algunos datos se han obtenido del trabajo de campo y otros de los testigos de perforación (mayoría)

CLASIFICACION GEOMECANICA DE BARTON

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice de calidad “Q” denominado también índice de Calidad tunelera, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD : Rock Quality Designation

Jn : Joint Set Number, Índice de diaclasado que tiene en cuenta el número de Familias.

Jr : Joint roughness number, índice de rugosidad de las juntas.

Ja : Joint alteration number, índice de alteración de las juntas.

Jw : Joint water reduction factor, factor de reducción por presencia de agua en las juntas.

SRF : Stress reduction factor, factor de reducción por esfuerzos.

A continuación se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación:

Índice de Calidad de roca	RQD	Observaciones
A.- Muy mala	0 – 25	1.- cuando RQD 10, incluyendo cero; se puede utilizar el valor 10 para el RQD. 2.- Intervalos de 5 para RQD, ó sea 100, 95, 90 son precisos.
B.- Mala	25 – 50	
C.- Regular	50 – 75	
D.- Buena	75 – 90	
E.- Excelente	90 – 100	

Número de Familias	Jn	Observaciones
A.- Masivo, sin o con pocas juntas	0.5 - 1	1.- Para cruces en túneles utilizar (3 x Jn) 2.- Para Portales utilizar (2 x Jn)
B.- Una familia de juntas	2	
C.- Una familia y algunas juntas ocasionales	3	
D.- Dos familias de juntas	4	
E.- Dos familias y algunas juntas	6	
F.- Tres familias de juntas	9	
G.-Tres familias y algunas juntas	12	
H.-Cuatro familias o más, roca muy fracturada, Terrones de azúcar	15	
I.- Roca triturada terrosa	20	

Número de alteración de las juntas	Ja	Ør (aprox.)	Observación
- Contacto entre las dos caras de la junta.			1.- Los valores de de Ør el ángulo De fricción residual, se indican como guía aproximada de de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes.
A.- Junta sellada, dura, sin reblandamiento relleno impermeable, ej. Cuarzo.	0.75		
B.- Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25° - 35°	
C.- Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25° - 30°	
D.- Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	20° - 25°	
E.- Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ej. Caolinita, mica, clorita, talco, y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 162 mm	4	8° - 16°	
- Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.			
F.- Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.	4	25° - 30°	
G.- Fuertemente sobreconsolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor.	6	16° - 24°	
H.- Sobreconsolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor.	8	8° - 16°	
I.- Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El Valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12	6° - 12°	
- No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.			
J.- Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.	6 - 8 ó 8 - 12	6° - 24°	
K.- Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandamiento.	5	6° - 24°	
L.- Zonas o capas gruesas de arcilla.	10 - 13 13 - 20	6° - 24°	

Factor de reducción por presencia de agua en las juntas.	Jw	Presión agua Kg/cm²	Observaciones
A.- Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min. Localmente.	1	< 1	<p>1.- Los factores de C a E, son estimaciones aproximadas aumenta Jw si se instalan drenes.</p> <p>2.- Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.</p>
B.- Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.	0.66	1 - 2.5	
C.- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0.33	2.5 - 10	
D.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con las voladuras disminuyendo con el tiempo.	0.1 - 0.2	> 10	
E.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05 - 0.1	> 10	

Factor de Reducción de esfuerzos	SRF	Observaciones
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.		<p>1.- Redúzcanse estos valores SRF de 25%-50% si las zonas de fractura solo se intersectan pero no cruzan la excavación.</p> <p>2.- Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotropico, medidas: cuando $5 < d1/d3 < 10$, redúzcase: a 0.8 la d_c y el d_t. Cuando $d1$ y $d3 > 10$, redúzcase: a 0.6 la d_c y el d_t. donde: d_c = Resistencia Compresiva. d_t = Esfuerzo a la tracción $d1$ = Esfuerzo Principal Mayor. $d3$ = Esfuerzo Principal Menor.</p>
A.- Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).	10	
B.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.).	5	
C.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca Desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m.).	2.5	
D.- Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).	7.5	
E.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m.).	5	
F.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m.).	2.5	
G.- Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).	5	

Factor de Reducción de esfuerzos	dc / d1	dt / d1	SRF	Observaciones
- Roca Competente, problemas de esfuerzos.				3.- Hay pocos casos reportados donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere Que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5 para estos casos, ver H
H.- Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.	> 200	> 13	2.5	
I.- Esfuerzo medio.	200-10	13-0.66	1.0	
J.- Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad. Puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.66-0.33	0.5-2	
K.- Desprendimiento moderado de la roca masiva.	5-2.5	0.33-0.16	0.5-10	
L.- Desprendimiento intenso de la roca masiva.	< 2.5	< 0.16	10-20	
- Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostaticas.				
M.- Presión de flujo moderado.			5-10	
N.- Presión de Flujo Intenso.			10-20	
- Roca expansiva, actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.				
O.- Presión de expansión Moderado.			5-10	
P.- Presión de expansión Intensa.			10-15	

Número de rugosidad de las Juntas	Jr	Observaciones
- Contacto entre las dos caras de la junta - Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral 10 cm		
A.- Juntas discontinuas	4	1.- Se añade 1.0 si el espaciamiento medio juntas es mayor de 3 m. 2.- Jr = 0.5 se puede usar Para juntas de fricción Planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.
B.- Junta rugosa o irregular ondulada	3	
C.- suave ondulada	2	
D.- Espejo de falla, ondulada	1.5	
E.- Rugosa o irregulares plana	1.5	
F.- Suave plana	1.0	
G.- Espejo de falla o superficie de fricción plana.	0.5	
- Sin contacto entre las dos caras de la Junta desplazados lateralmente		
H.- Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.	1	
I.- Zona arenosa de grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1	

Recomendaciones para el uso de los cuadros:

1. El parámetro J_n , que representa en número de familia de juntas, puede estar afectado por foliación, esquistosidad, clivaje y laminaciones. Si las juntas paralelas tienen suficiente desarrollo, deben contabilizarse como una familia completa. Si hay pocas juntas visibles, roturas ocasionales en los testigos debido a estos planos, se contabilizan como juntas ocasionales al considerar el J_n en la tabla.

2.- Los parámetros J_r y J_a , cuyo cociente representa la resistencia al esfuerzo cortante, serán los de la familia de juntas o discontinuidad rellena de arcilla, más débil que exista en la roca, además es

necesario tener en cuenta la orientación de las familias o discontinuidades, de tal forma que deban ser representativas.

3.- El valor SRF, en el caso de que el macizo rocoso contenga arcilla, en este caso la resistencia de la roca es factor determinante de la estabilidad de la excavación subterránea. Cuando el macizo rocoso no contenga arcilla y el número de Juntas sea pequeño la resistencia de la roca puede convertirse en factor, tal que el cociente de d_t/d_c , defina la estabilidad de la roca.

4.- En el caso de rocas muy anisótropicas, la resistencia compresiva de la roca d_c y el esfuerzo a la tracción d_t , se evaluarán en la dirección más favorable para la estabilidad.

Los parámetros que definen “**Q**”, representan el siguiente aspecto:

RQD/Jn : Tamaño de bloques, representa la estructura global del macizo rocoso.

Jr/Ja : Resistencia al corte entre bloques.

Jw/SRF: Estado tensional en el macizo rocoso.

Para relacionar Q índice de calidad tunelera, con el comportamiento de una excavación subterránea y con las necesidades de sostenimiento de la misma.

Barton Lien y Lunde desarrollaron la relación denominada Dimensión Equivalente “De” de la excavación, esta relación se obtiene de dividir el ancho, diámetro o altura de la excavación por un factor denominado Relación de soporte de la excavación ESR (Excavation Support Ratio).

$$De = \frac{\text{Ancho de la excavación, diámetro o altura (m)}}{\text{Relación de soporte de la excavación ESR}}$$

La relación de soporte de la excavación ESR tiene que ver con el uso que se pretende dar a la excavación y hasta donde se le puede permitir cierto grado de inestabilidad Barton da los siguientes valores supuestos para ESR:

Tipo de excavación	ESR
A.- Excavaciones mineras provisionales.	3 - 5
B.- Excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
C.- Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
D.- Casas de maquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1.0
E.- Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fabricas.	0.8

6.3 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: RMR (BIENIAWSKI 1989)

Bieniawski, Z.T. (1979), Del Consejo Sud Africano para la Investigación Científica e Industrial (CSIR), sugiere que una Clasificación de macizo rocoso debería:

- Dividir el Macizo Rocosos en grupos de comportamiento similar.
- Proveer una buena base para el entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar el planeamiento y diseño de estructuras en rocas, otorgando datos cuantitativos requeridos para la solución de problemas reales de ingeniería.
- Proveer una base común para las comunicaciones efectivas entre todas las personas involucradas con problemas geomecánicos.

Para que estos objetivos sean cumplidos, la clasificación adoptada debería ser simple y significativa en términos, estaría basado en parámetros medibles que puedan ser determinados rápidamente y a bajo costo.

A fin de satisfacer estos requerimientos propuso que la Clasificación Geomecánica debería incorporar los siguientes parámetros:

1. Designación de la calidad de la roca (RQD).
2. Grado de meteorización.
3. Resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta.
4. Espaciamiento de juntas, estratos y discontinuidades en general.
5. Elementos de orientación de las discontinuidades.

6. Separación de las discontinuidades.
7. Extensión de las discontinuidades.
8. Flujo de aguas subterráneas.

Posteriormente, después de algunas experiencias en la aplicación de su sistema de clasificación CSIR original, Bieniawski modificó su sistema de clasificación eliminando el grado de meteorización con un parámetro separado, ya que su efecto está considerado en la resistencia compresiva uniaxial, e integrando la separación y extensión de las discontinuidades en un solo parámetro: Estado de discontinuidades.

Adicionalmente, el rumbo y buzamiento de las discontinuidades cambiaron de parámetros básicos de clasificación para ser contemplados como parámetros de ajuste con relación a la orientación y sentido de excavación, después de la evaluación de los parámetros básicos.

En consecuencia, los cinco parámetros básicos son:

a) RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Bieniawski emplea la clasificación basada en la resistencia a la compresión simple de la roca intacta propuesta por Deere y Miller (1966), que se indica a continuación:

DESCRIPCION	RESISTENCIA/COMPRESION SIMPLE Kg./cm ²	TIPOS DE ROCA
RESISTENCIA MUY BAJA	1 – 250	YESO Y CAL
RESISTENCIA BAJA	250 – 500	CARBON,

		ESQUISTO
RESISTENCIA MEDIA	500 – 1000	ARENISCA, LUTITA, PIZARRA
RESISTENCIA ALTA RESISTENCIA MUYALTA	1000 – 2000 2000	CUARCITA, DOLERITA GABRO, BASALTO

Alternativamente se puede emplear el índice de carga puntual (Is), para rocas de resistencia que no sea muy baja.

b) DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA (RQD)

El RQD, propuesto por Deere, es usado como una medida de la calidad de testigo de perforación. El RQD es la relación porcentual de la suma de las longitudes de testigos de 10 cm. A más, respecto a la longitud perforada.

$$\text{RQD} = \frac{\text{Longitud de testigos } >10\text{cm} \times 100}{\text{Longitud perforada}}$$

En el caso de realizar esta evaluación y al no contar con datos de muestras de testigos obtenidos de Perforaciones Diamantinas hemos asumido la estimación del R.Q.D. cuando no se dispone de testigos propuesta por el Sistema de Clasificación de Masas Rocosas del NGI. Que mencionaremos más adelante.

c) ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

Para la valuación de este parámetro se emplea la siguiente clasificación propuesta por Deere:

DESCRIPCION	SEPARACION DE FISURAS	GRADACION MACIZO ROCOSO
MUY AMPLIO	2.0 m.	SÓLIDO
AMPLIO	0.6 m. – 2.0 m	MASIVO
MODERADAMENTE CERCANO	0.2 m. – 0.6 m.	EN BLOQUES FISURADOS
CERCANO	0.06 m. – 0.2 m.	FRACTURADO
MUY CERCANO	0.06 m.	TRITURADO/ FRAGMENTADO

d) ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Este parámetro toma en cuenta la separación o abertura, extensión, rugosidad superficial, estado de las paredes y el material de relleno de las discontinuidades.

e) CONDICIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Toma en consideración la influencia del flujo de agua subterránea en rangos de flujo observados dentro de la excavación, considerando la relación de la presión del agua en las discontinuidades con el esfuerzo principal mayor, o por alguna observación cualitativa general de las condiciones del agua subterránea.

A cada uno de estos cinco parámetros se les asigna un número de puntos comprendidos dentro de un rango de valores que se encuentran indicados en el cuadro adjunto, donde se puede apreciar

cada uno de los parámetros considerados no necesariamente contribuyen con igual peso al comportamiento del macizo rocoso.

De la suma de cada uno de los cinco parámetros básicos se obtiene la valuación promedio para un determinado macizo, que está sujeto al ajuste por la orientación de las discontinuidades con relación a la orientación y sentido de la excavación, aplicando las correcciones indicadas en el siguiente cuadro:

CORREC. P/ORIENTACION DE FISURAS	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
TUNELES	0	- 2	- 5	- 10	- 12
CIMENTACIONES	0	- 2	- 7	- 15	- 25
TALUDES	0	- 5	- 25	- 50	- 60

f) TIPOS DE ROCA DE EXCAVACIÓN

Según la clasificación RMR los diferentes tipos de Roca están clasificados de la siguiente manera:

CLASE DE ROCA	CALIDAD	VALORACION RMR
I	MUY BUENA	100 – 81
II	BUENA	80 – 61
III	REGULAR	60 – 41
IV	MALA	40 – 21
V	MUY MALA	20

CLASIFICACIÓN GEOMECANICA DE BIENIAWSKI

A.- Clasificación de los parámetros y sus valores

Parámetros	ESCALA DE VALORES							
Resistencia de la roca intacta	Carga Puntual	80 kg/cm ²	40-80 kg/cm ²	20-40 kg/cm ²	10-20 kg/cm ²	10 kg/cm ²		
	A Compresión Simple	2000 Kg/cm ²	1000 - 2000 Kg/cm ²	500 - 1000 Kg/cm ²	250 - 500 kg/cm ²	100-250 kg/cm ²	30-100 kg/cm ²	10-30 Kg/cm ²
VALOR		15	12	7	4	2	1	0
R. Q.D.		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	25%		
VALOR		20	17	13	8	3		
Espaciado de Juntas		3 m	1 - 3 m	0.3 - 1 m	50-300 mm	50 mm		
VALOR		30	25	20	10	5		
Condición de Juntas		Muy rugosas sin continuidad cerradas, Paredes de roca dura	Ligeramente rugosa < 1 mm. de separación Paredes de roca dura	Ligeramente rugosa < 1 mm. de separación Paredes de roca suave	Espejo de falla o relleno de espesor < 5mm ó abiertos 1-5mm Fisuras Continuas	relleno blando de espesor < 5mm. ó abiertas <5 mm. fisuras continuas		
VALOR		25	20	12	6	0		
Aguas Subterráneas	Cant. Infiltración 10 m. de túnel	Ninguna		25 litros/min	25- 125 litros/min	>125 litros/min.		
	Presión de agua	Cero		0.0-0.2	0.2-0.5	0.5		
	Esfuer. principal	Cero		0.0-0.2	0.2-0.5	0.5		
	Situación General	Totalmente Seco		Solo húmedo agua insterst.	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
VALOR		10		7	4	0		

B.- Ajuste de valores por orientación de las juntas

Orientación de rumbo y buzamiento de las fisuras		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Valor total del RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Clase Número	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy Bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy Malo

D.- Significado de las clases de macizos rocosos

Clase Número	I	II	III	IV	V
Tiempo de Mantenimiento	10 años para 5m.	6 meses para 4 m.	1 semana para 3 m.	5 horas para 1.5 m.	10 minutos para 0.5 m.
Cohesión	> 3 Kg/cm ²	2-3 Kg/cm ²	1.5-2 Kg/cm ²	1-1.5 Kg/cm ²	< 1 Kg/cm ²
Angulo de fricción	> 45°	40°-45°	30°-40°	30°-35°	< 30°

6.4 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL CUERPO MARIA INÉS - RMR

Para la evaluación definitiva de la abertura del Cuerpo. Maria Inés se realizó en base al primer informe presentado a la unidad de Vinchos “Evaluación geomecánica del tajeo Maria Inés para la aplicación de taladros largos”.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS ROCAS.

Las Cajas (Paredes) del Cuerpo. María Inés está compuesto por calizas y calizas metamorizadas, presentando los siguientes parámetros teóricos y resultados de ensayos que son los siguientes:

Material	Peso Unitario (Ton/m ³)	Resistencia Compresión Simple (Mpa)	Modulo De Young (Mpa)	Relación de Poisson	Cohesión (Kpa)	Angulo De Fricción interna
Caliza	2.4	65 – 115	15000-20000	0.25–0.3	110–130	22 – 27
Caliza Metamorizada	2.6	95 – 130	20000-30000	0.2–0.25	130–160	27 – 33

Los ensayos de algunas propiedades mecánicas de la roca se realizaron en el laboratorio de Mecánicas de suelos “Volcan Cerro de Pasco”

PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE - INDICE DE CARGA PUNTUAL

Descripcion	Nivel	Diametro Cm.	Area Cm ²	Carga	Kg/Cm ²	Longitud Cm.	Carga Puntual Kg/Cm ²
ME-185-09 Caja-01.00m.	185	3,6	10,1788	7890	775,14	6,9	100
ME-145-13 Caja-66.00m.	145	3,6	10,1788	1820	178,8	3,8	80
ME-145-14 Caja-65.50m.	145	3,6	10,1788	13030	1280,1	6,1	85
ME-145-14 Caja-78.00m.	165	3,6	10,1788	9580	941,18	6,9	75
ME-145-21 Caja-0.80m.	145	3,6	10,1788	12950	1272,3	3,9	95
ME-105-27 Caja-11.15m.	105	3,6	10,1788	6430	631,71	5,2	40
ME-105-27 Caja-28.70m.	105	3,6	10,1788	11840	1163,2	6,9	105

GRAFICO DE LOS ENSAYOS

Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple

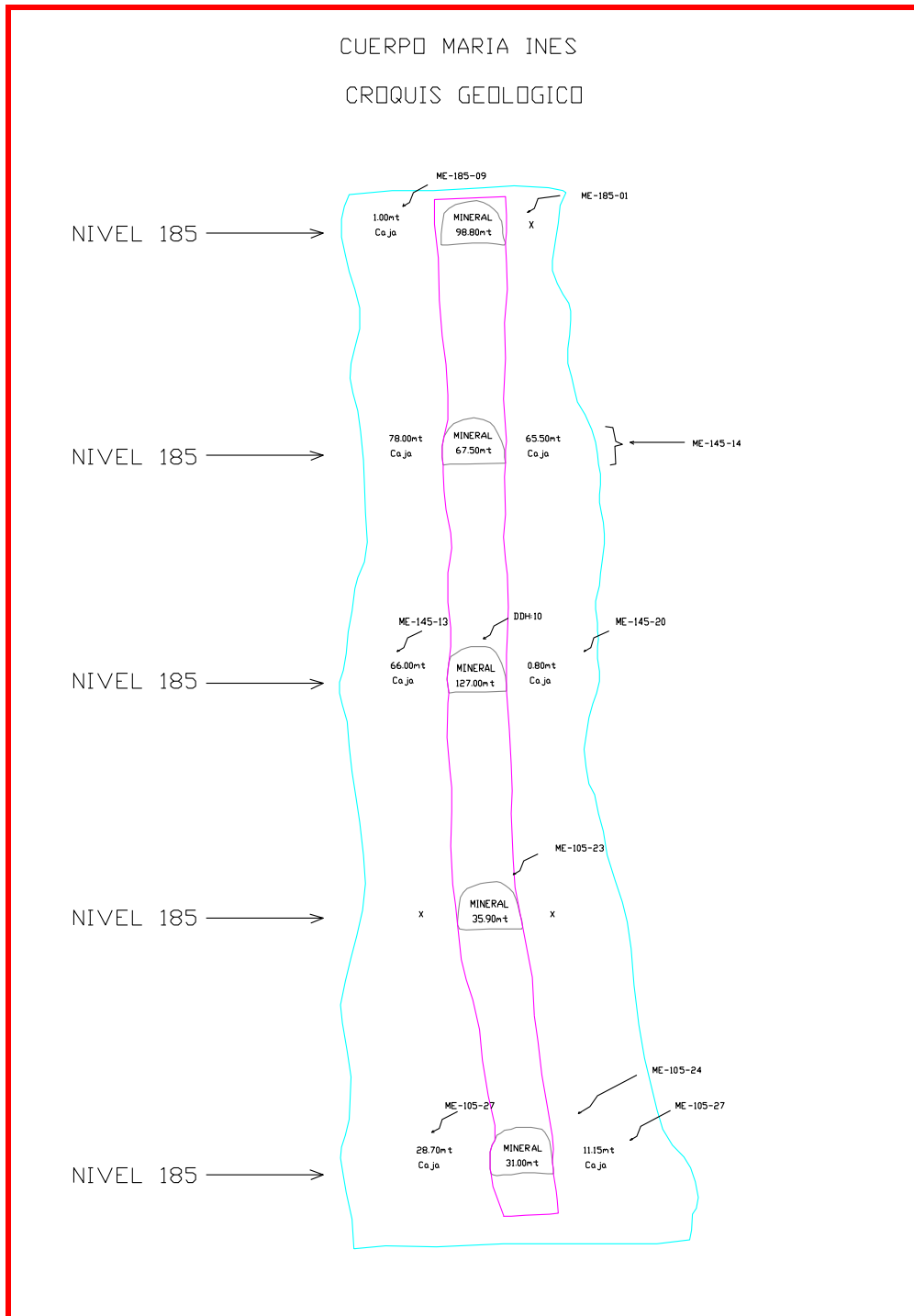


Ensayo del Índice de Carga Puntual



UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL CUERPO

MARIA INES



Croquis proporcionado por el Dpto. de Geología Vinchos

REGISTRO LINEAL DEL CUERPO MARIA INES CUADRO

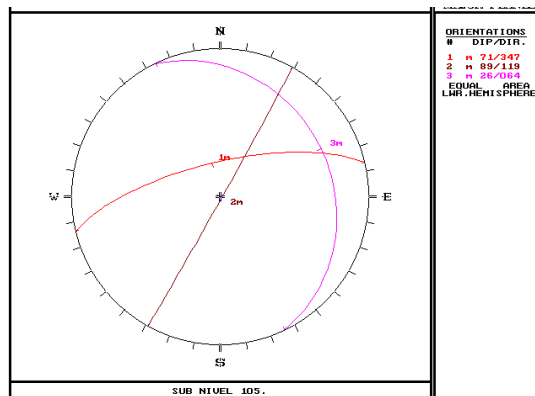
CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO.

Las estructuras fueron recopiladas de los diferentes Sub Niveles que se tienen en el cuerpo María Inés. (Ver cuadro de registro lineal)

Nivel 105: Se determinó 2 sistemas principales de discontinuidades y 1 secundario (Buzamiento/Dirección de Buzamiento).

Principal: 71/347 y 89/119

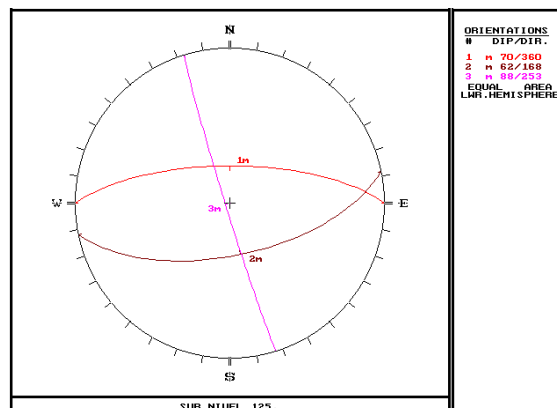
Secundario: 26/064



Nivel 125: Se determinó 2 sistemas principales de discontinuidades y 1 secundario.

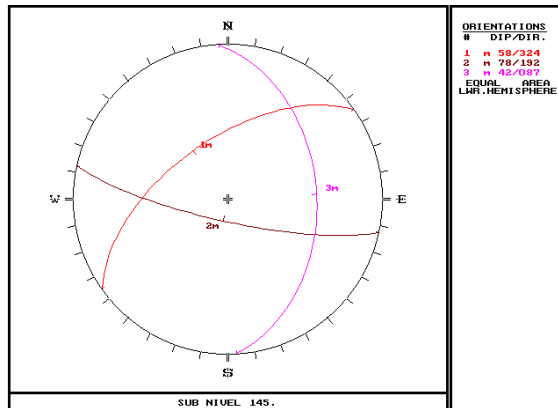
Principal: 70/360 y 62/168

Secundario: 88/253



Nivel 145: Se determinó 3 sistemas principales de discontinuidades.

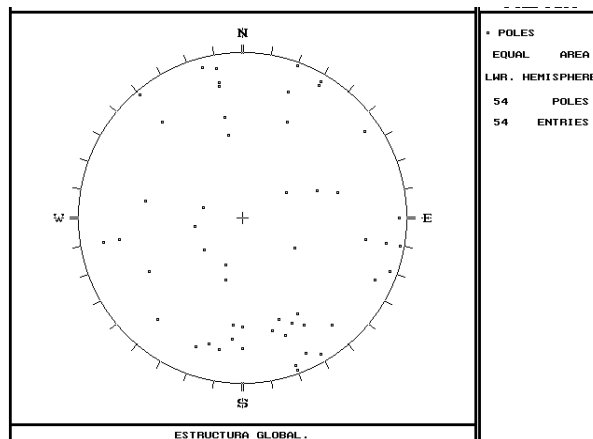
Principal: 58/324; 78/192 y 42/087



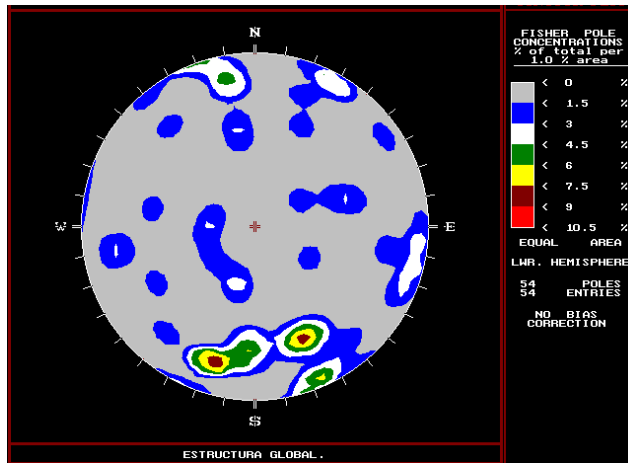
ESTRUCTURA GLOBAL DEL CUERPO MARIA INÉS

Por la correlación de las diversas estructuras ubicadas en los diferentes **niveles** se ha podido identificar a los sistemas principales de discontinuidades que predominan en el cuerpo Maria Inés: (Ver cuadros de registro lineal)

Ubicación de los polos:

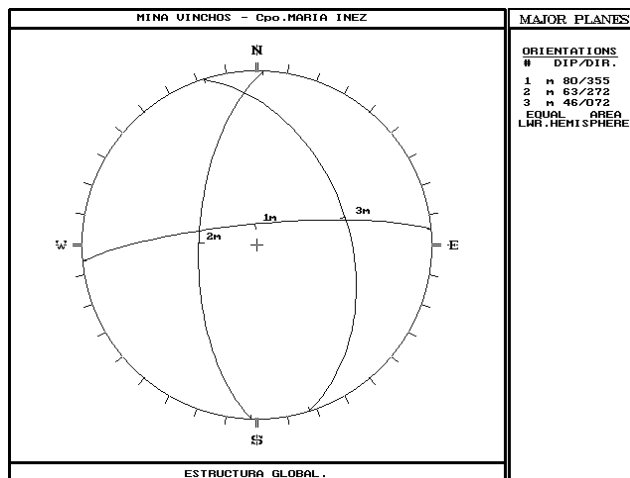


Contorneo de las Familias de Discontinuidades:



Determinación de las 03 Familias de Discontinuidades:

Principal: 80/355 ; 63/272 y 46/072



CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN RMR

Esta clasificación es de Bieniawski (1979), Sumando las 05 variables del macizo rocoso se determinó que la roca del Cuerpo. Maria Inés es de TIPO II - BUENA

CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKY 19899) VALORACION (R.M.R.)

PARAMETRO	ESCALAS DE VALORES						VALORACION					
RESIST. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)	>200 (15)	X	100-200 (12)	X	50-100 (7)		25-50 (4)		<25(2) <10(1) <3(0)	1	7	
RQD %	90-100 (20)	X	75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	2	17	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	X	0,6-2 (15)		0,2-0,6 (10)		0,06-0,2 (8)		< 0,06 (5)	3	15	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)		3-10m (2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)		Lisa (1)		Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)	X	Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	4D	2
	ALTERACION	Sana (6)		Lig.Alterada. (5)	X	Mod.Alterada. (3)		Muy Alterada. (2)		Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)		Mojado (7)		Goleo (4)		Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											62	
CLASE DE MACIZO ROCOSO												
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0		II	
DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA			

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA ROCA CALIZA

Para la presente evaluación se ha considerado solamente la roca que está implicada en la excavación programada, en este caso es la roca Caliza. Esta es de color gris a gris oscuro, compacta, de alta durabilidad debida que se encuentra algo metamorfozada (marmolizada). Se han considerado parámetros teóricos y de otras rocas similares encontradas en la zona de Cerro de Pasco, pero los datos son confiables debido al tipo de roca.

Los parámetros geotécnicos considerados para la roca caliza del Pucará son los siguientes:

MATERIAL	PESO UNITARIO (Ton/m³)	RESISTENCIA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	MODULO DE YOUNG (Mpa)	RELACION DE POISSON	COHESIÓN (Kpa)	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA
Roca Caliza	2.4	30	3000	0.3	130	22
Roca Caliza Metamorfizada	2.6	60	9000	0.25	160	27

Hay que considerar que las características geotécnicas para esta evaluación a estado en función a las características de la roca intacta lo cual nos indica solamente propiedades para realizar evaluaciones puntuales. La evaluación del macizo rocoso de este tipo de roca será la que defina la estabilidad de la excavación.

Las Clasificaciones de los Macizos Rocosos pretenden evaluar la competencia de las rocas a partir de la observación de las mismas o de ensayos simples de forma que, a partir del "índice de calidad" y la experiencia anterior, se puedan definir las necesidades de sostenimiento o los sistemas de excavación más adecuados para la ejecución de una obra, por otra parte la aplicación de las mismas debe ayudar a una modificación del proyecto inicial, en zonas donde esta modificación sea necesaria por condicionantes del terreno que no hayan sido previstos en la fase del proyecto.

CALIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL CUERPO MARIA INÉS

La calificación y Clasificación de la roca donde se encuentra emplazado el cuerpo María Inés se ha realizado siguiendo los parámetros mencionados y estos son los resultados:

A) RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Basándonos en la Clasificación de Bieniawski (1989) se ha procedido a caracterizar y clasificar la roca caliza y se le ha considerado como una Caliza Marmolizada Roca:

Caliza Mármolizada

Resistencia a la Compresión simple: 50 - 80 Mpa

Calificación Bieniawski: 7

B) DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA (RQD)

Sobre la base de los testigos evaluados en la ciudad de Cerro de Pasco se ha comprobado que el RQD de casi todos los afloramientos de Caliza explorados mediante perforación diamantina con recuperación de muestras está por el orden de los 75 a 90%.

R.Q.D.: 75 – 90 %

Calificación: 17

C) ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

El espaciamiento de las discontinuidades evaluado en los túneles exploratorios niveles 105, 145 y 185, son de amplio espaciamiento entando por el orden de 1.5 a 3 metros de separación de familias evaluadas.

Espaciamiento de discontinuidades: 1.0 m hasta 2.5 m.

Calificación: 25

D) ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Las paredes de las discontinuidades se encuentran algo rugosas con separaciones por el orden menor a 1 mm, los cuales no se encuentran alteradas las paredes, son de regular extensión y en la mayoría de los casos no presentan rellenos.

Estado de Discontinuidades: Algo rugoso, separaciones menores a 1 mm.

Calificación: 20

E) CONDICIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las condiciones de las aguas subterráneas en la zona evaluada son favorables, debido a que no se han presentado hasta el momento presencia de aguas en los tres túneles evaluados. En el nivel 105 aparecen un poco de agua pero más por presencia de humedad que de goteos.

Aguas Subterráneas: Solo húmedo aguas de intersticios Calificación:

CALIFICACIÓN MARIA INES (Bieniawski, 1989)

PARÁMETRO		ESCALAS DE VALORES							
1	Resistencia de la roca inalterada	Índice de la carga de punta	>8 Mpa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial.		
		Resist. comp uniaxial	>200 Mpa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Valuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	Índice de calidad de la roca, RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
		Valuación	20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de juntas	> 3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	< 50 mm			
		Valuación	30	25	20	10	5		
4	Estado de las discontinuidades	Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación. Paredes de roca dura.	Superficies algo rugosas, separación < 1mm paredes de roca dura	Superficies algo rugosas. Separación < 1 mm paredes de roca suave	Superficies pulidas o relleno < 5 mm Esp. fisuras Abiertas 1-5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm O fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas			
		Valuación	25	20	12	6	0		
		Cantidad de infiltración por 10 m de túnel	Ninguna	< 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min			

5	Aguas Subterráneas	Presión De agua	Cero	0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5
		Relación ----- Esfuerzo principal o Mayor				
	Situación general	Totalmente seco	Sólo húmedo (agua de intersticios)	Ligera presión de agua	Serios problemas de Agua	
Valuación		10	7	4	0	

TOTAL: 76 (A)

Factor de ajuste por orientación de las discontinuidades (B)

Orientación de rumbo y Echado de las fisuras		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

CALIFICACIÓN = RESULTADO A - RESULTADO B

CALIFICACIÓN = 76 - 2

CALIFICACIÓN = 74

CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEGÚN EL TOTAL DE VALUACIÓN.

Valuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Clasificación N°.	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.

Clasificación N°.	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de sostén	10 años para claro de 5 m	6 meses para claro de 4 m	1 semana para claro de 3 m	5 horas para claro de 15 m	10 minutos para claro de 0.5 m
Cohesión de la roca	> 300 KPa	200-300 KPa	150-200 KPa	100-150 KPa	< 100 KPa
Angulo de fricción de la roca	> 45°	40°-45°	35°-40°	30°-35°	< 30°

CAPITULO VII
PARAMETROS GEOMECANICA DE LA VETA - CUERPO MARIA INES
PARA LA EVALUACION DEL SOSTENIMIENTO.

7.1 GENERALIDADES

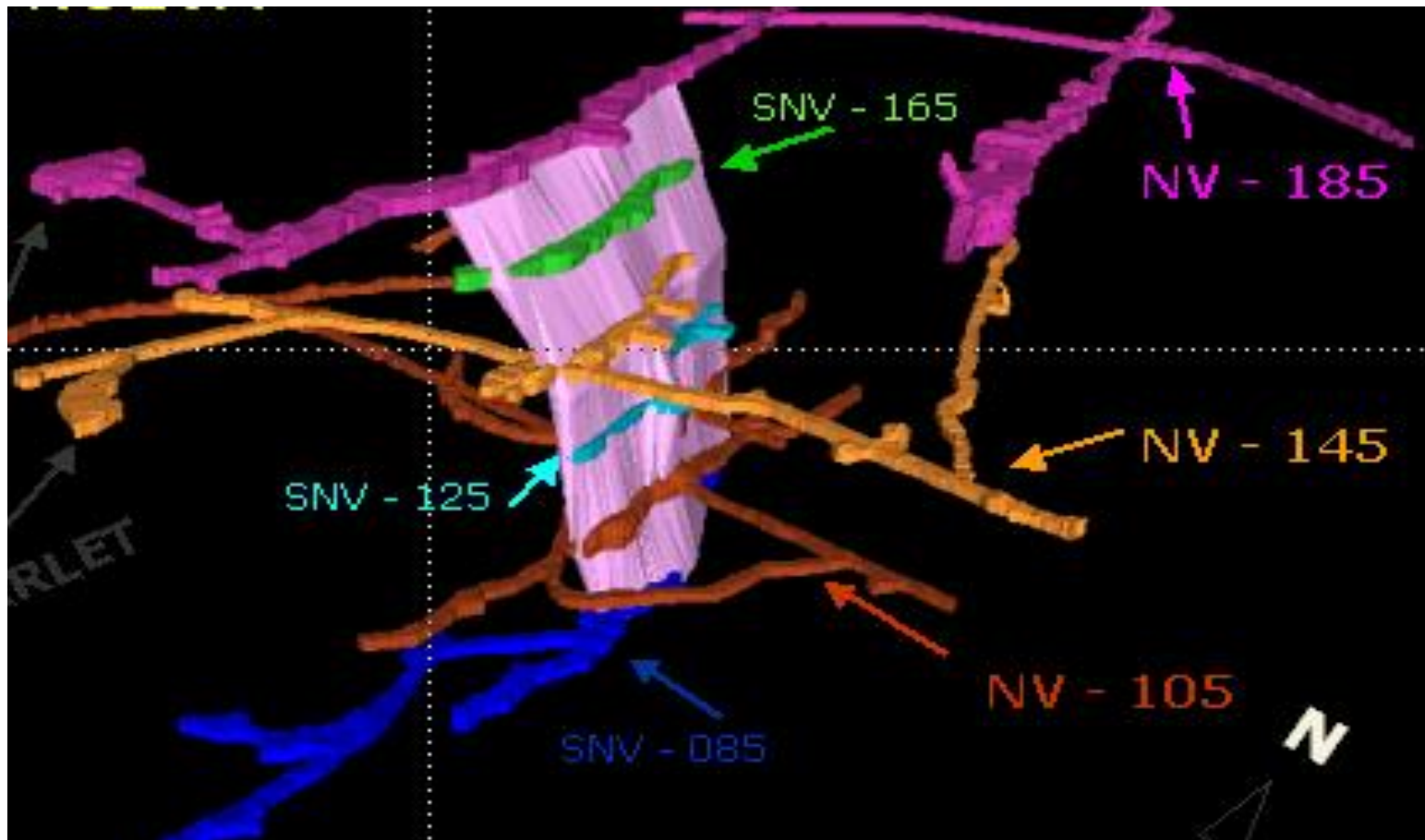
Para la realización de la presente evaluación se tomó información del tajeo María Inés del Nv. 4105 al 4185, realizándose el mapeo geomecánico y la toma de datos de fracturas: dirección de buzamiento, buzamiento, aberturas, rellenos, rugosidad, alteración, dureza, etc. Con la finalidad de determinar las aberturas máximas, tiempos de auto soporte del macizo y tipos de sostenimiento, todo orientado a la aplicación de talados largos.

El análisis se ha realizado utilizando el *Método Gráfico de Estabilidad*, tal como aparece en la publicación hecha por Hoek E, Kaiser

P, Bawden W. en *Support of Underground Excavations in Hard Rock* – 1993. Este método fue desarrollado por Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992), siguiendo los trabajos iniciados por Mathews et. al (1981). La versión actual de este método, basado en el análisis de más de 350 casos de minas canadienses, toma en cuenta los principales factores de influencia del diseño de tajeos. Información sobre la estructura y resistencia del macizo rocoso, los esfuerzos alrededor de la excavación, y el tamaño, forma y orientación de la excavación, es utilizada para determinar si el tajeo es estable sin sostenimiento, o con sostenimiento, o inestable aun con sostenimiento. El método también es adecuado para el dimensionamiento del sostenimiento con cablebolt.

En forma muy resumida, el método se basa en el cálculo de dos factores: N' y S . El primero de ellos es el **Número de estabilidad modificado** y representa la habilidad del macizo para permanecer estable bajo unos determinados esfuerzos y el segundo él es **Factor de Forma o Radio Hidráulico** que toma el tamaño y forma del tajeo.

ABERTURA DEL CUERPO MARIA INES



7.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO GRAFICO DE ESTABILIDAD

7.2.1 NUMERO DE ESTABILIDAD MODIFICADO

El Número de estabilidad N' se define como:

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

Dónde: Q' es el Índice de Calidad Tunelera Q modificado.

A es el factor de esfuerzos en la roca.

B es el factor por ajuste de orientación de las juntas

C es el factor de ajuste gravitacional.

7.2.1.1 Calidad Tunelera Q'

El Índice de Calidad Tunelera modificado Q' se calcula de la misma forma que el Índice de Calidad de la roca Q (Barton et. al. 1974) estándar, con la variante que el factor de esfuerzos SFR se le da el valor de 1.00. El método no ha sido aplicado en condiciones con agua subterránea significativa, por lo que el factor por agua J_w es 1.00. En el caso de este tajeo el agua no es muy significativa.

El Índice de Calidad Tunelera modificado Q' se determina de la siguiente forma:

$$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a)$$

El RQD de la zona en varía entre 70% y 90%, siendo los valores más representativos de la estructura mineralizada.

7.2.2.1 Factor de Esfuerzo en la roca (A)

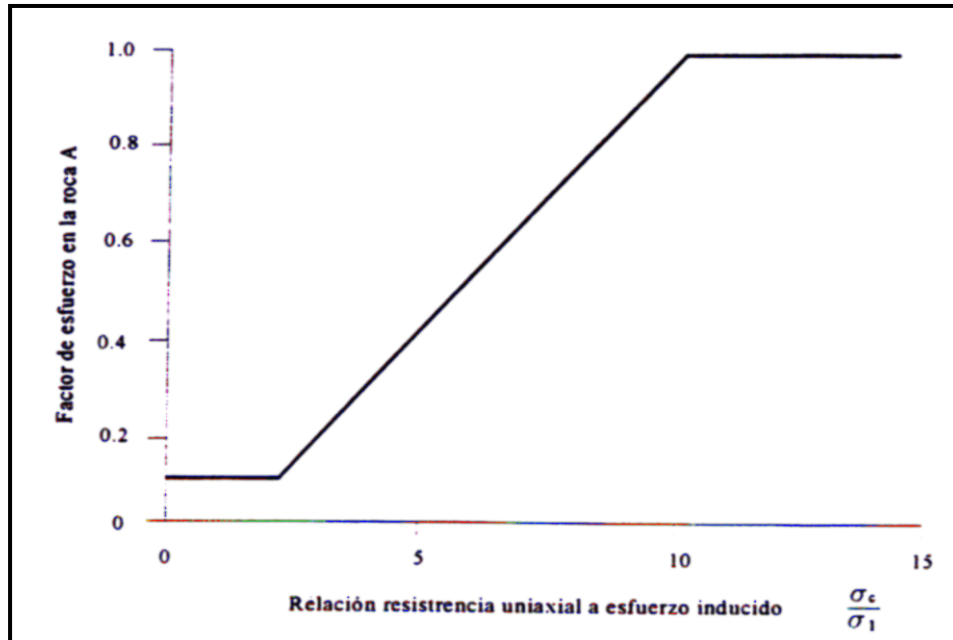
El factor de esfuerzos en la roca A , determina los esfuerzos que actúan sobre las caras libres en profundidad (30 a 40m. de puente entre el techo de la abertura y la superficie). Este factor se determina a partir de la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta " σ_c " y el esfuerzo actuante paralelo a la cara expuesta del tajeo bajo consideración " σ_1 ". El Factor de esfuerzo en la roca A , es por lo tanto determinado a partir de la relación σ_c / σ_1 (resistencia de la roca intacta a esfuerzo compresivo inducido 20 a 25MPa) sobre el borde de la abertura:

$$\text{Para } \sigma_c / \sigma_1 < 2 \quad A = 0.1$$

$$\text{Para } 2 < \sigma_c / \sigma_1 < 10 \quad A = 0.1125x(\sigma_c / \sigma_1) - 0.125$$

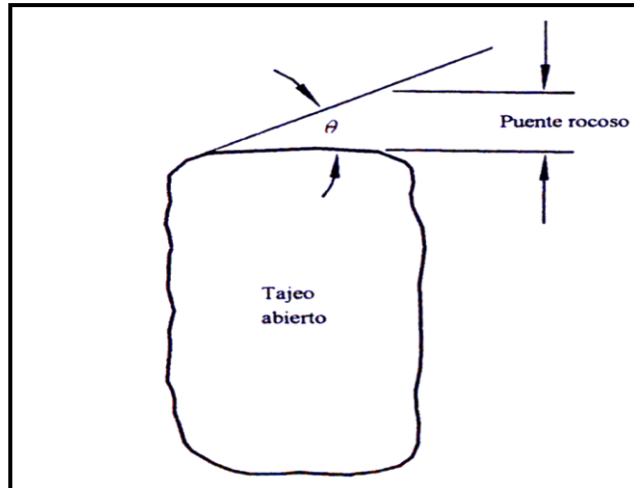
$$\text{Para } \sigma_c / \sigma_1 > 10 \quad A = 1.0$$

Gráfico *del factor de esfuerzo* en la roca A, para diferentes valores de σ_c / σ_1 .



7.2.1.3 Factor de ajuste por orientación de los sistemas de discontinuidades

El ajuste por orientación de los sistemas de discontinuidades *B*, toma en cuenta la influencia de estas sobre la estabilidad de las caras del tajeo. Muchos casos de fallas estructuralmente controladas ocurren a lo largo de las discontinuidades críticas, las cuales forman un pequeño ángulo con la superficie libre. Mientras el ángulo entre la discontinuidad y la superficie sea más pequeño, será fácil que el puente de roca intacta se rompa por efecto de la voladura.



7.2.1.4 Factor de ajuste por efecto de la gravedad (C)

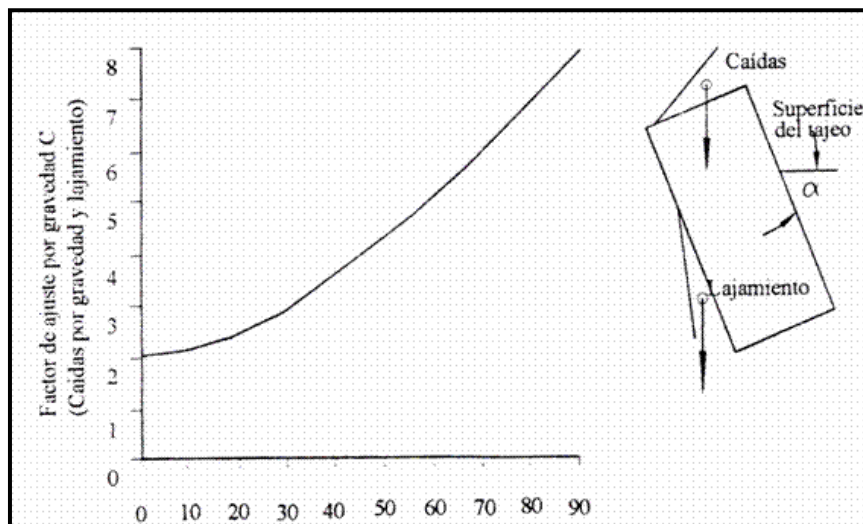
El factor “C”, es un ajuste por efecto de la gravedad. La falla del terreno puede ocurrir desde el techo debido a caídas inducida por la gravedad o, desde las paredes del tajeo, debido a lajamientos o deslizamientos.

Potvin (1988), sugirió que tanto las fallas inducidas por gravedad como las fallas por lajamiento, dependen de la inclinación de la superficie del tajeo es de 72° - 75° α . El factor C para estos casos puede ser calculado a partir de la relación $C = 8 - 6\cos \alpha$, o determinado a partir del diagrama graficado. Este factor tiene un valor máximo de 8 para paredes verticales y un valor mínimo de 2 para techos horizontales de tajeo.

Las fallas por deslizamiento dependerán de la inclinación β de la discontinuidad crítica, y el factor de ajuste C.

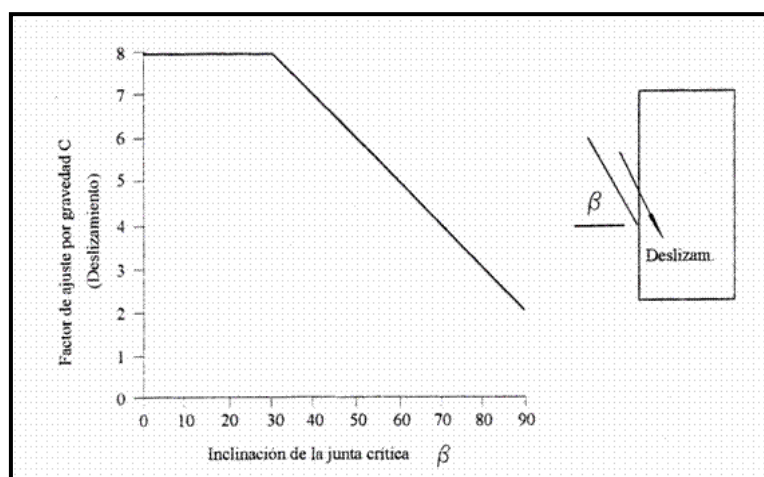
El factor C toma en cuenta la influencia de la orientación del tajeo. Realizando una comparación de la geometría del tajeo María Inés, se puede observar que este fallaría en lajas o pandeamiento de la caja techo.

Factor de ajuste por gravedad C , para caídas por gravedad y lajamiento. Según Potvin (1988).



Inclinación de la superficie del tajeo α

Factor de ajuste por gravedad C, para modos de falla por deslizamiento. Según Potvin (1988).



7.2.2 EL FACTOR DE FORMA O RADIO HIDRÁULICO S:

Para la superficie del tajeo estudiado se obtiene dividiendo el área de la sección transversal de la superficie analizada entre el perímetro de la superficie analizada.

7.2.3 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

Utilizando los valores del Número de Estabilidad N' y el Radio Hidráulico S , se puede determinar la estabilidad de un tajeo a partir del **gráfico de estabilidad**.

Según el procedimiento de método señalado y utilizando los datos desarrollados previamente, se ha calculado el Número de Estabilidad N y Radio Hidráulico S para el techo y paredes del tajeo María Inés. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

Numero de estabilidad N'

Ubicación	Q'	A	B	C	N'
Techo y Paredes	7.08	0.06	0.75	2	0.66

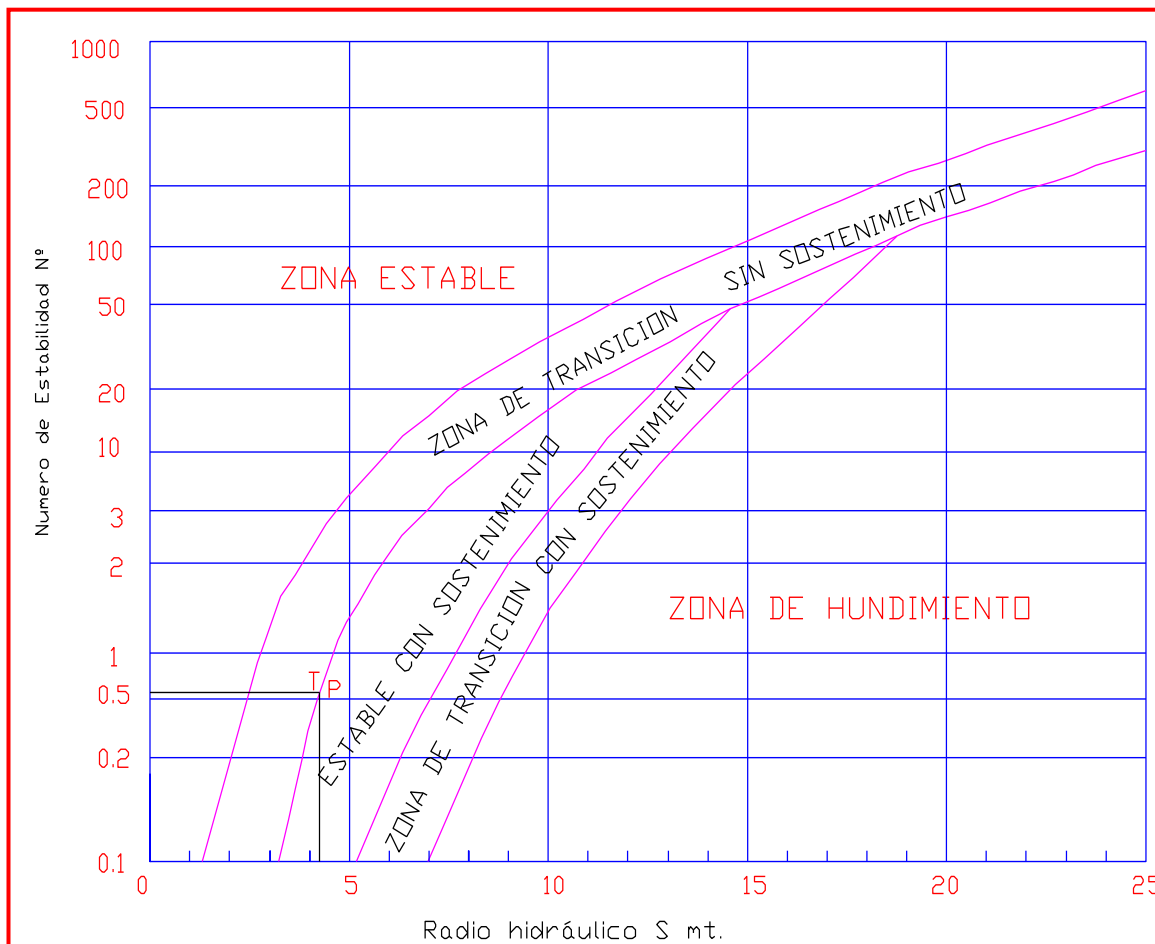
Radio Hidráulico S

Perímetro Total del tajeo es de 413.57m.

Área 1758.53m²

Ubicación	Radio Hidráulico S
Techo y Paredes	4.57

GRÁFICO DE ESTABILIDAD



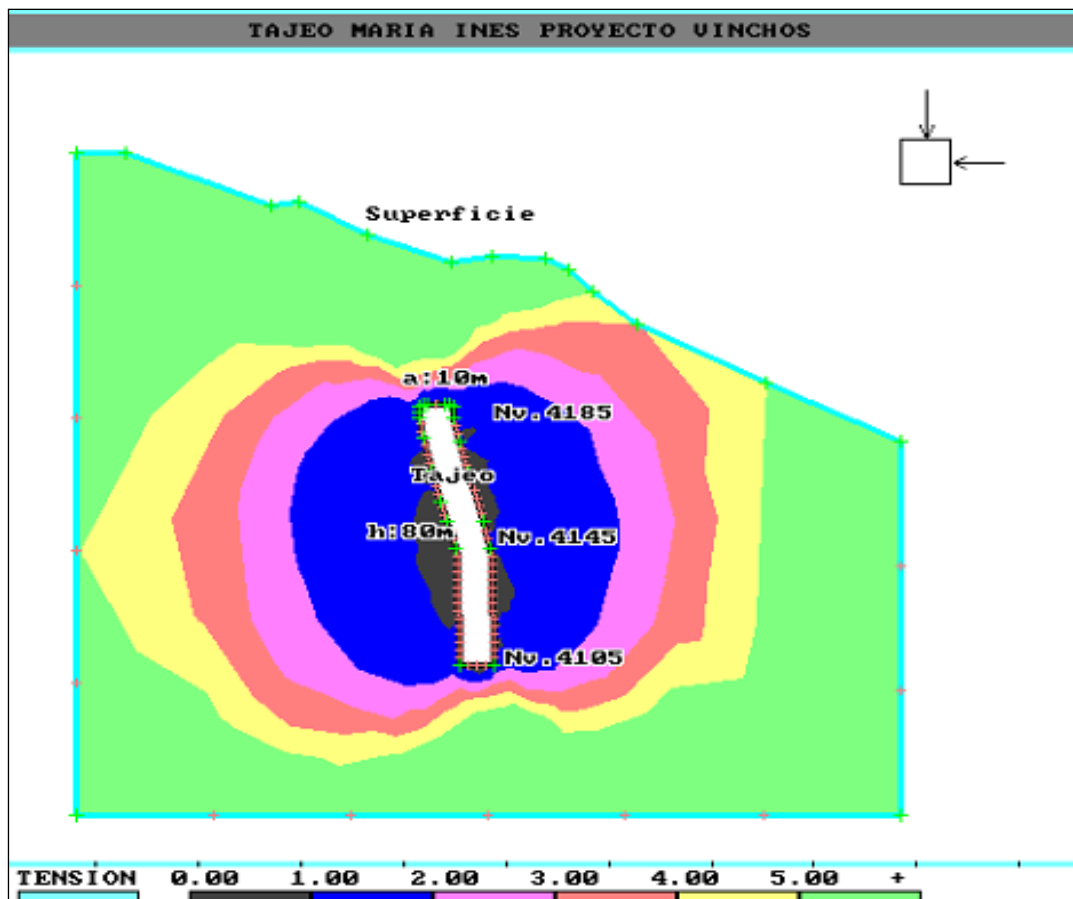
El gráfico indica que el tajeo María Inés con la geometría señalada es estable con sostenimiento. Según Potvin (1988), modificado por Nickson (1992).

7.3 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ABERTURA

7.3.1 ANÁLISIS POR ESFUERZOS – SOFTWARE PHASES

Factor de Seguridad para una abertura con altura de 80m y, ancho de 10m

El techo del tajeo está estable con un F.S. de 1-2 estático y 0.76-1.76 pseudoestático. Las paredes centrales del tajeo esta inestable superficialmente con un F.S. de 0-1 estático y 0.76 pseudoestático.

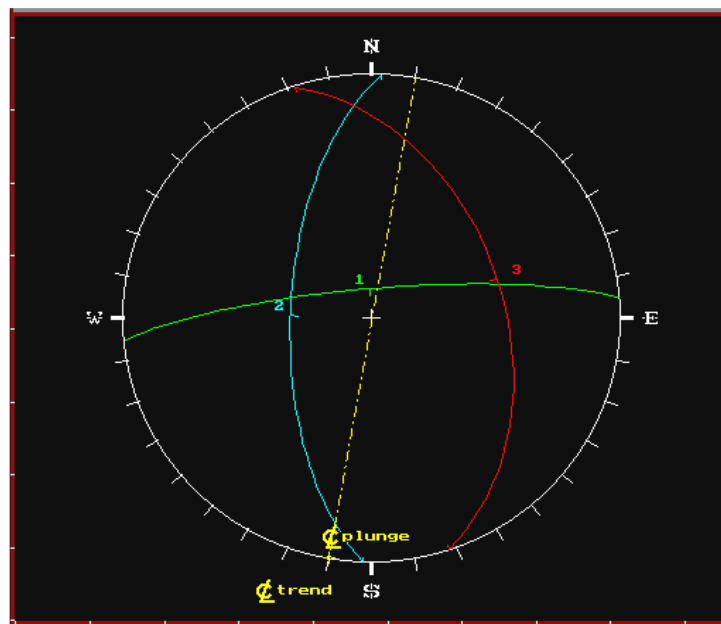


7.3.2 ANÁLISIS POR ESTRUCTURAS – SOFTWARE UNWEDGE

Condiciones Superficiales de la Abertura: Las características físico – mecánico de la roca (Estructuras y resistencias) son los factores que determinan la estabilidad de las paredes.

Influencia de las Fracturas: Respecto a la orientación (rumbo) aproximada de la abertura con las principales fracturas (discontinuidades) son mod. Favorables.

Dirección de la Abertura / Fracturas



Cuñas Formadas en la Superficie de la Excavación.

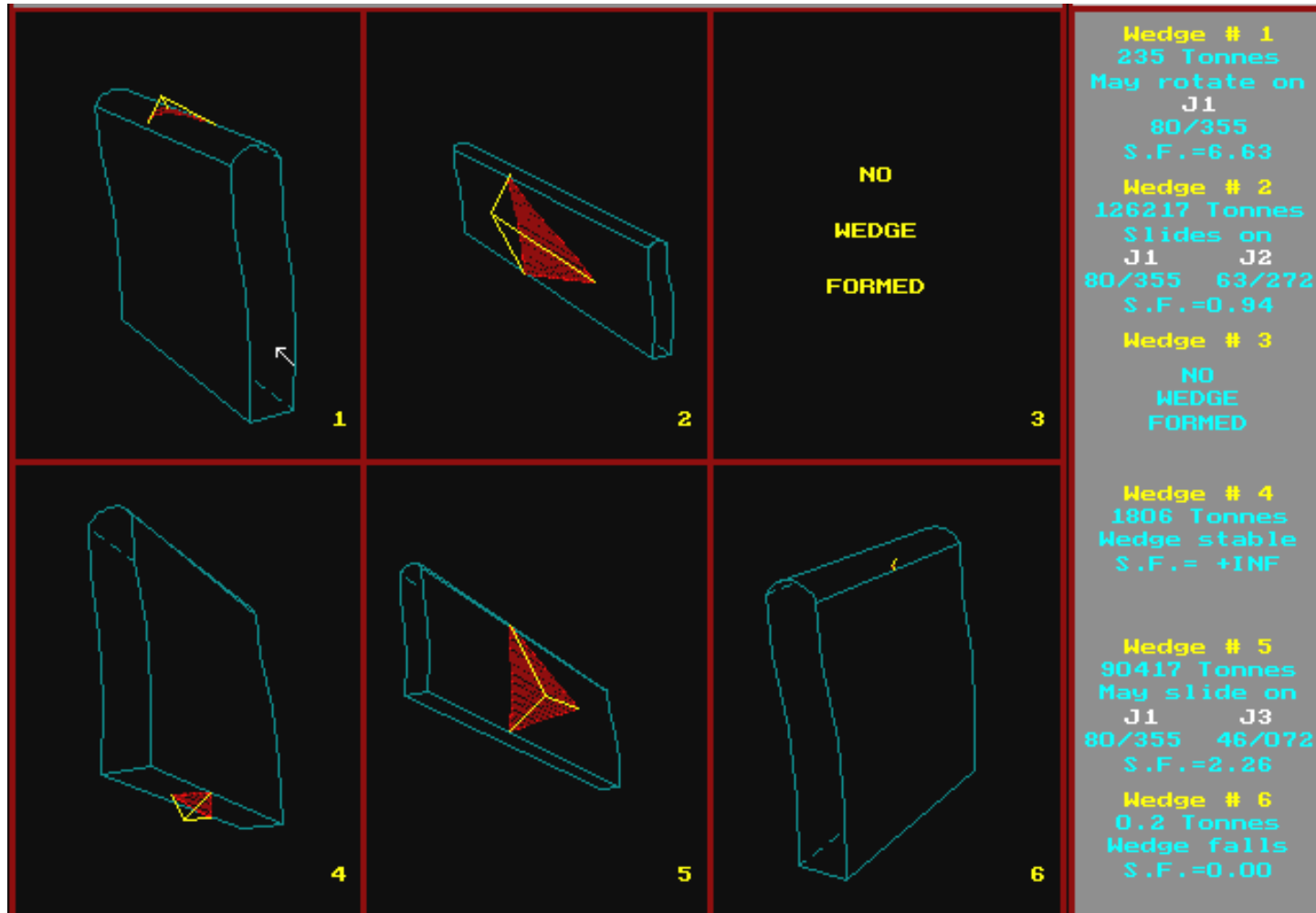
Considerando los **diferentes** resultados y parámetros geotécnicos obtenidos del macizo rocoso se consideran la ubicación y estabilidad de las diferentes cuñas desfavorables en las superficies principales de la excavación:

En el techo: La cuña tiene un peso de 235 Ton. y un factor de seguridad de 6.63, estando Estable. (ver análisis N° 01)

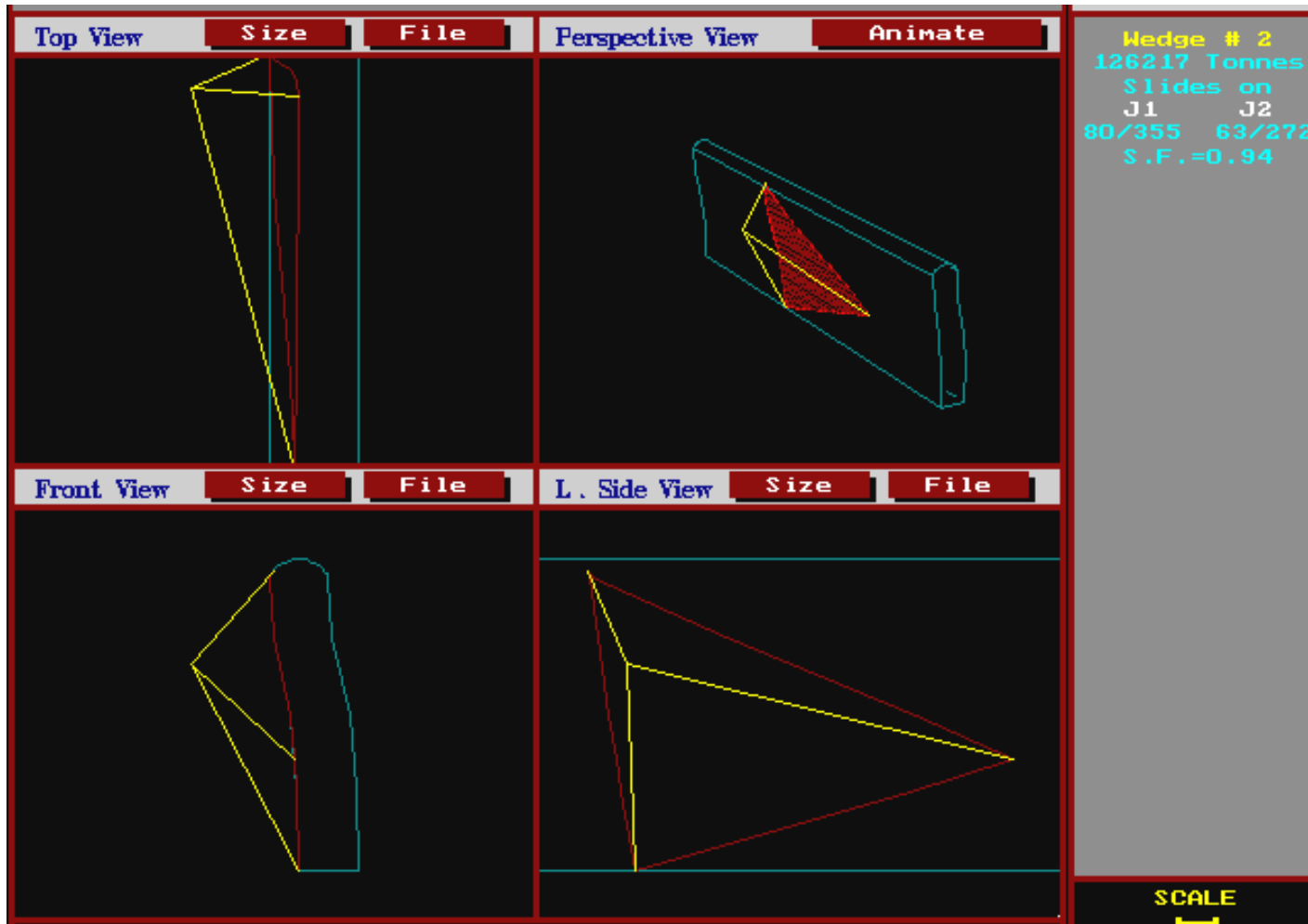
En la pared Izquierda: La cuña tiene un peso de 126217 Ton. con un factor de seguridad de 0.94, estando Inestable. (ver análisis N° 02)

En la pared Derecha: La cuña tiene un peso de 90417 Ton. con un factor de seguridad de 2.26, estando Estable. (ver análisis N° 01)

ANÁLISIS Nº 01 PRINCIPALES CUÑAS



ANÁLISIS Nº 02 CUÑA INESTABLE



Observamos a la cuña en las tres direcciones y esto pueda deslizarse en un estado dinámico del macizo (**sismo**).

El Factor de seguridad Pseudo estático es de 0.70, Inestable y esto requiere soporte para estar estable.

7.4 SOSTENIMIENTO SUGERIDO

7.4.1 PILARES HORIZONTALES

7.4.1.1 Generalidades

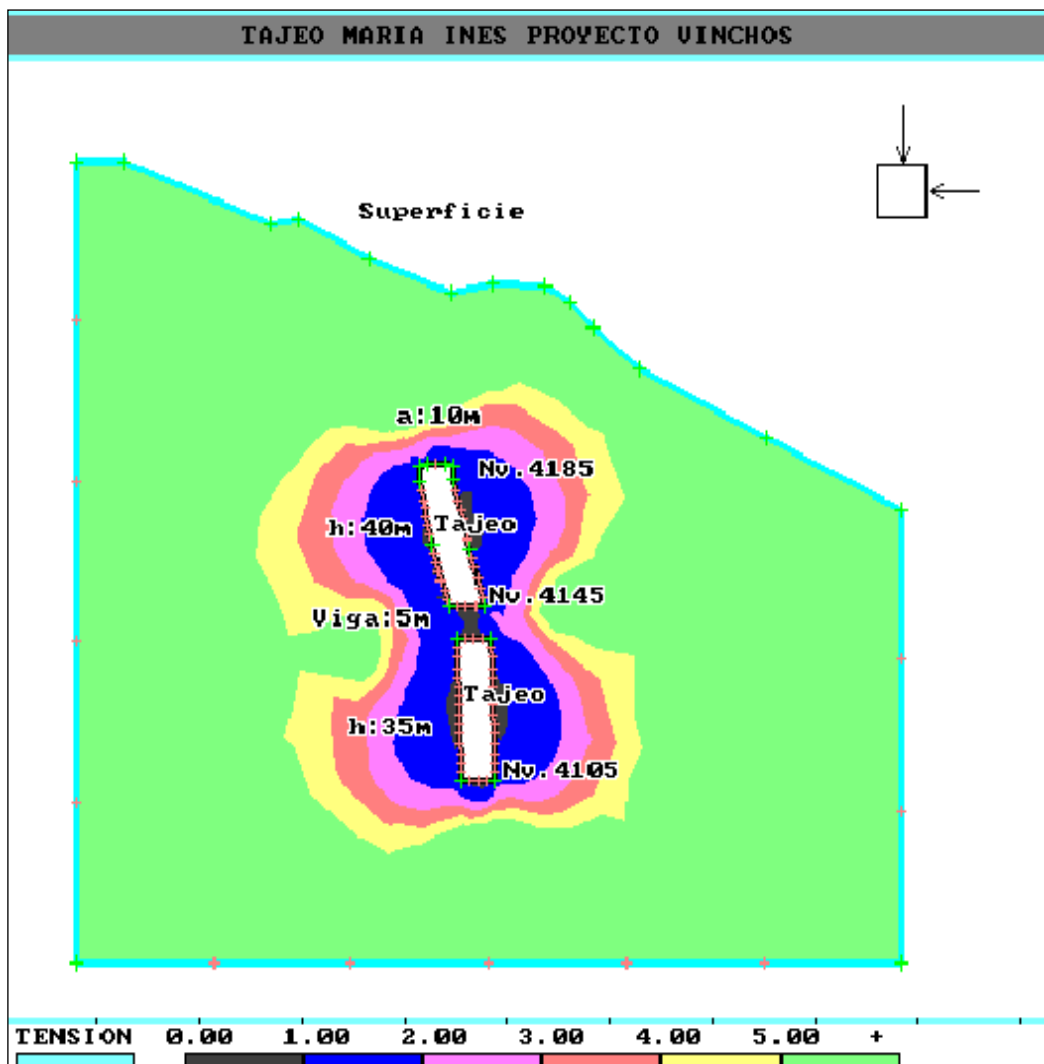
7.4.1.2 Análisis del Factor de Seguridad – Software Phases

Factor de Seguridad para unas aberturas de 40m y 35m con viga central de altura 5m, ancho 10m y 5m de largo

El **techo** del tajeo está estable con un F.S. de 1-2 estático y 0.76- 1.76 pseudoestático

Las paredes centrales del tajeo con la viga pasan de inestable a estable con un F.S. de 0.8-2 estático y 0.56-1.76 pseudoestático

ANÁLISIS Nº 03 PILAR HORIZONTAL

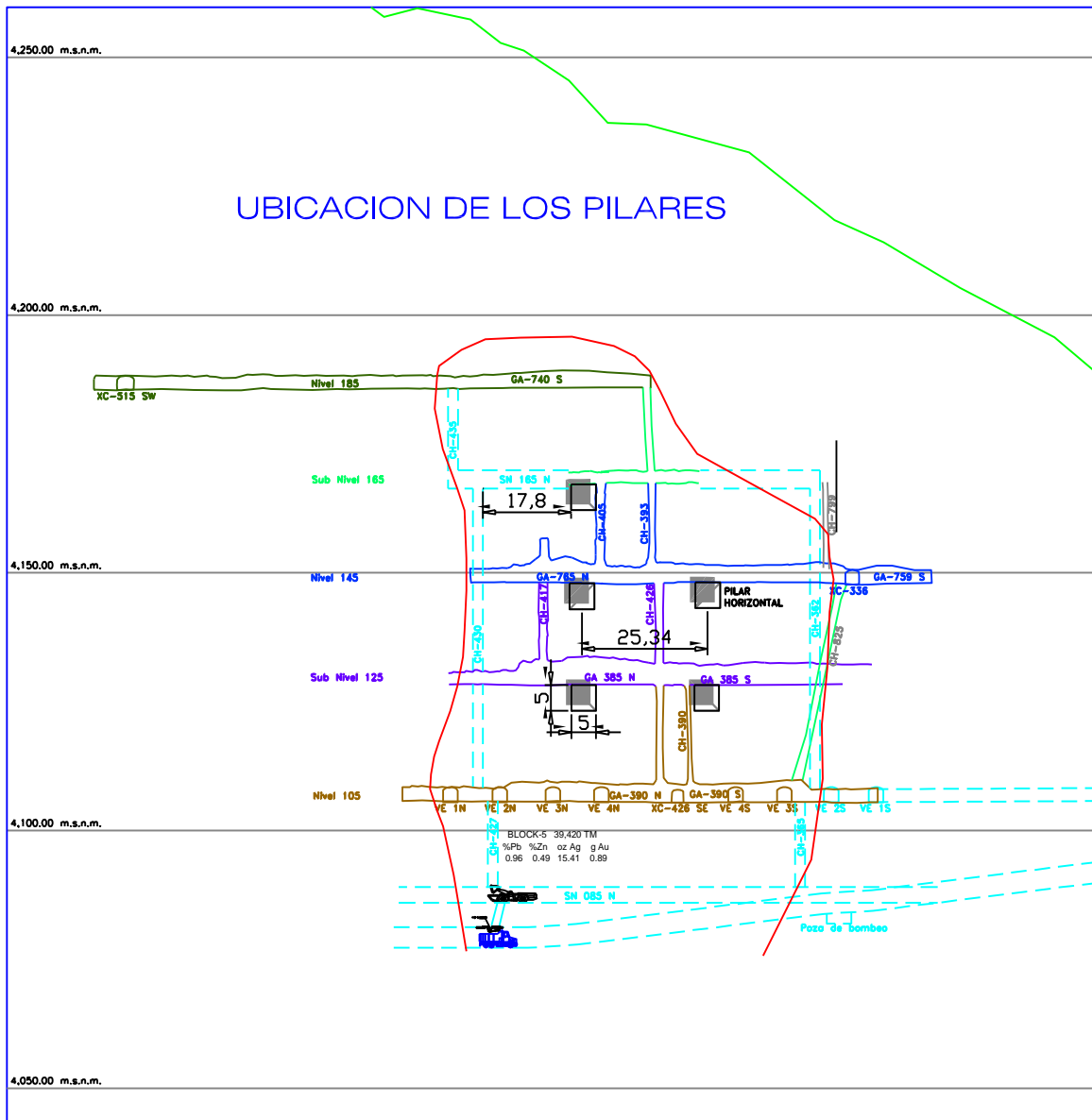


DISEÑO DE PILARES HORIZONTALES EN LA ABERTURA GLOBAL

Teniendo determinado la geometría de la abertura global (Ancho Aprox. 10 m. Altura Aprox. 80 m. y largo 100 m.), En esta etapa se ha determinado la ubicación de paredes inestables por cuñas en primer orden y esfuerzos en segundo orden, porque en este cuerpo la condición dominante es **Estructural** para la desestabilización de la paredes.

Los pilares estarán ubicados en forma sistemática a 25 m. y será un total de 05 unidades. Cada pilar tendrá una geometría de 5 m. de ancho, 5 m. de alto y 10 m. de largo como mínimo.

UBICACIÓN DE LOS PILARES HORIZONTALES

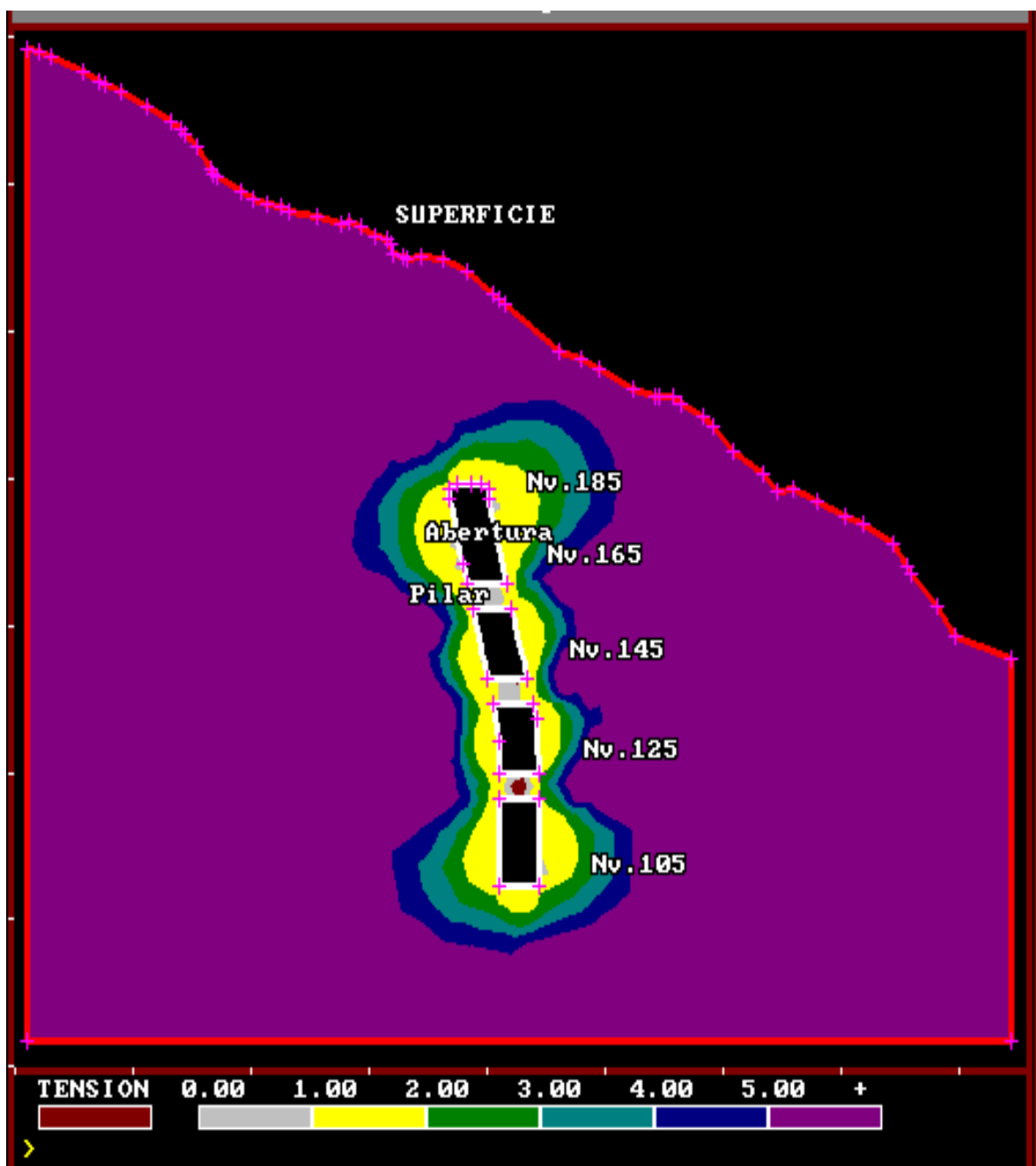


Sección Longitudinal del Cuerpo Maria Inés

FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ABERTURA CON LOS PILARES

Las paredes de la abertura final con los pilares tienen un factor de seguridad estático de 1.5 y pseudo estático de 1.26, estando estable

Los pilares tienen un factor de seguridad promedio de 1.08 estático y pseudo estático 0.84, estando moderadamente estable.



7.4.2 SOSTENIMIENTO ACTIVO

El sostenimiento a utilizar durante la preparación de los subniveles se realizará con la colocación split set (1.5X1.5m)/ malla (electro soldada) en algunos tramos por el grado de fracturamiento de la roca y la abertura que se tendrá.

7.5 RELLENO

El presente estudio implica en no utilizar el relleno, la abertura debe quedar vació definitivamente.

CONCLUSIONES

- Con la geometría (Altura del tajeo de 80 m, Longitud total del tajeo de 100 m. y Ancho promedio del tajeo de 10 m.) de la abertura final del cuerpo Maria Inés y con los pilares horizontales (ancho, alto 5 m. y 10 m. de largo) indicados en el diseño. La abertura final sin relleno es estable definitivamente de acuerdo a los resultados de los análisis.
- La compensación de los esfuerzos está dado por los pilares horizontales. Lo cual trabajará como un sostenimiento compresivo hacia los esfuerzos horizontales de la roca.

RECOMENDACIONES

- Durante la preparación de los sub niveles se debe controlar la sección da la excavación de los sub niveles y será del tipo baúl
- El sostenimiento temporal que se debe utilizar en los sub niveles son split set y malla después de cada ampliación (ancho 10 m. aproximadamente)
- Se debe controlar la voladura en el momento de formar al pilar horizontal, deben estar espaciados a 25 m. de largo como máximo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **BRADY, E.T. BROWN.** Rock Mechanics for underground mining 2da. Ed. B.H.G.
- **HOEK. E. KAISER. P.K. Y BAWDWN. W.F.** Support of underground excavation in har Rotterdam. A.A.Balkema. 1995.
- **ALMIRALL J. BORRAS, CELADA B. Y ROCA, 1992** “Movimientos en la bóveda de un túnel carreteo de gran sección construido por el método Bernold en pizarras sericiticas”.
- **CHARVALHO, J. HOEK, E. Y LI B. 1992.** “Unwedge V. 2.0. Rock Engineering Group”. Universidad de Toronto Canadá.
- **CELADA TAMANES 1977:** “Determinación de un sistema de control sobre la eficacia del bulonage en galerías”
- **ROMANA RUIZ M. 1994:** “Construcción de las galerías de los túneles de El ardo en la M-40 por el Nuevo Método Austriaco”
- **ALFONSI, P., J. L. DURVILLE AND X. RACHEZ.** (1999) "Modelisation Numerique d'une Fondation sur Versant Rocheux par la Methode Des Elements Distincts: Comparaison 2-D/3-D," in Proceedings of the 9th ISRM Congress on Rock Mechanics. Paris, 1999, Vol. 1, pp. 71-76. Rotterdam: Balkema.
- **BARTON, N. (1997)** “The Influence of Joint Properties in Modelling Jointed Rock Masses,” in Proceedings of the 8th International Congress on Rock Mechanics. Tokyo, September 1995, Vol. 3, pp. 1023-1032. Rotterdam: Balkema.
- **BROWN, E. T. (2003)** Block Caving Geomechanics (The Internatic ving Study I, 1997-2000). University of Queensland, JKMRG Monograp s in Mining and Mineral Processing, Vol. 3. Indooroopilly, Australia: JKMF

- **CAVIARES, P., ET AL. (2003)** "Three-Dimensional Analysis of Fracturing Limits Induced by Large Scale Underground Mining at El Teniente Mine," in Soil and Rock America 2003. Proceedings of the 39th U.S. Rock Mechanics Symposium, Cambridge, Massachusetts, June 2003, pp. 893-900, P. J. Culligan, H. H. Einstein, and A. J. Whittle, Eds. Essen: Verlag Glückauf.
- **CONTADOR, N. V., AND M. F. GLAVIC. (2001)** "Sublevel Open Stopping at El Soldado Mine: A Geomechanic Challenge," in Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies, pp. 325-332, W. A. Hustrulid and R. L. Bullock, Eds. Littleton, Colorado: SME.
- **DASGUPTA, B., ET AL. (1999)** "Design of Underground Caverns for Tehri Hydropower Project, India by Numerical Modelling," in Proceedings of the 9th ISRM Congress on Rock Mechanics. Paris, 1999, Vol. 1, pp. 357-358. Rotterdam: Balkema.
- **FAIRHURST, C., AND L. LORIG. (1999)** "Improved Design in Rock and Soil Engineering with Numerical Modelling," in Distinct Element Modelling in Geomechanics, pp. 27-46, V. M. Sharma et al., Ed. New Delhi: Oxford & IBH Publishing.
- **HART, R., AND C. FAIRHURST. (2000)** "Application of Discontinuum Modeling in Geotechnical Studies for Nuclear Waste Isolation," in Geocology and Computers. Proceedings of the 3rd International Conference on Advances of Computer Methods in Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Moscow, February 2000, pp. 15-28, S. A. Yufin, Ed. Rotterdam: Balkema.
- **KONIETZKY, H., P. BLÜMLING AND F. RUMMEL. (1995)** "In Situ Stress Field in the Wellenberg Area," NAGRA Bull., 26, 38-48 (November).
- **MINKLEY, W., ET AL. (2001)** "A Visco-Elasto-Plastic Softening Model and Its Application for Solving Static and Dynamic Stability Problems in Potash Mining,"

in FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics - 2001. Proceedings of the 2nd International FLAC Conference, Lyon, France, October 2001, pp. 21-27, D. Billiaux et al., Ed. Rotterdam: Balkema.

- **NORDLUND, E., G. RADBERG AND L. JING. (1992)** "Determination of Failure Modes in Jointed Pillars by Numerical Modelling," in Proceedings of the ISRM Regional Conference on Fractured and Jointed Rock Masses. Lake Tahoe, June 1992, Vol. 3, pp. 423-429. Berkeley, California: Lawrence Berkeley Laboratory.
- **SAMADHIYA, N. K., M. N. VILADKAR AND B. SINGH. (2004)** "Three-Dimensional Analysis of a Powerhouse Cavern in an Anisotropic Rock Mass" J. A. Hudson, and X.-T. Feng, Eds. Special issue of Int. J Rock Mech. Min. Sci, 41(3), Paper No. 2B 33 (April). Proceedings of the ISRM SINOROCK2004 symposium (Three Gorges Project Site, China, May 2004).