

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y**  
**METALÚRGICA**



**“AVANCES PARA EL CONTROL DE ESTALLIDO DE  
ROCAS MEDIANTE EL USO DEL MONITOREO  
MICROSISMICO - MINA UCHUCCHACUA”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**JEMMY JOHN CUBAS CASTRO**

**LIMA – PERU  
2009**

## DEDICATORIA

*Dedico mi Tesina y toda mi carrera universitaria a ti Dios por darme la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.*

*Le agradezco a mi mamá por creer en mí, gracias a ella soy quien soy hoy en día, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre has estado apoyándome y brindándome todo tu amor por todo esto te agradezco de todo corazón el que estés conmigo a mi lado. Les agradezco a mis hermanos, los cuales han estado a mi lado apoyándome siempre, y que han estado siempre alerta ante cualquier problema que se me pueda presentar*

## INDICE GENERAL

	Pag.
<b>CAPITULO I: INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
A) Objetivos Generales.....	3
B) Objetivos Específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACION.....	4
1.4 ALCANCE.....	5
1.5 HIPÓTESIS.....	5
1.6 VARIABLES.....	5
1.7 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	5
<b>CAPITULO II: GENERALIDADES.....</b>	<b>6</b>
2.1 UBICACIÓN Y ACCESO.....	7
2.2 GEOGRAFIA.....	9
2.3 ESTRATIGRAFIA Y PETROLOGIA.....	9
2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	11
2.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	13
<b>CAPITULO III: MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
3.1 ESTUDIO CERVO CONTROLADO.....	17
3.1.1 Introducción.....	17
3.1.2 Determinación de propiedades de “esfuerzo – deformación”.....	18
3.1.3 Determinación de la energía específica de deformación longitudinal de la muestra.....	19
3.1.4 Determinación de los índices de disposición de rocas a las estallidos de rocas.....	22
3.1.5 Ensayos de laboratorio de las muestras de roca de Perú.....	23
3.1.6 Análisis de los resultados.....	27
3.2 ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINEROGRÁFICO.....	30
3.2.1 Resultados del Análisis de una Muestra.....	30

3.3 ESTIMACIÓN DE ORIENTACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES.....	34
3.3.1 Tectónica De Placas.....	34
3.3.2 Geología Estructural Regional.....	35
3.3.3 Daño y Lajamientos.....	35
3.3.4 Resultados.....	35
<b>CAPITULO IV. ESTALLIDOS DE ROCA.....</b>	<b>37</b>
4.1 EL MEDIO GEOLÓGICO.....	39
4.2 EL CAMPO DE ESFUERZOS ORIGINAL .....	39
4.3 ASPECTOS DEL RELLENO EN RELACIÓN AL PROBLEMA DE ESTALLIDOS DE ROCAS .....	40
4.4 LOS FACTORES POSTERIORES AL MINADO.....	42
<b>CAPITULO V: TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RED DE MONITOREO         MICROSISMICO ESG.....</b>	<b>43</b>
5.1 OBJETIVOS.....	43
5.2 ARSENAL DEL SENSOR.....	44
5.3 CABLES DEL SENSOR.....	46
5.4 REGISTRADORES.....	46
5.5 COMUNICACIÓN DE DATOS.....	48
5.6 PC DE LA ADQUISICIÓN.....	49
5.7 PROCESO, VISUALIZACIÓN Y PC DE LA DIVULGACIÓN.....	49
<b>CAPITULO VI: ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS.....</b>	<b>56</b>
6.1 VOLUMEN DE DEFORMACIÓN SÍSMICA.....	56
6.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN LA MINA CARMEN EN EL AÑO 2008.....	59
6.2.1 Definición de Fuente Sismo-génica.....	59
6.2.2 Definición de Zona de riesgo.....	59
MÉTODO DE GRÁFICOS POLARES.....	65
6.3.1 Primera Zona De Riesgo Sísmico.....	66
6.3.2 Segunda Zona de Riesgo Sísmico.....	66

6.3.3 Tercera Zona de Riesgo Sísmico	66
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO.....	72
6.4.1 Distribución de Poisson (Ocurrencia de eventos en el tiempo).....	72
6.4.2 Análisis de Frecuencia–Magnitud para la Sismicidad de cada Zona de Riesgo Sísmico.	72
6.5 MÉTODO DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA.....	76
6.5.1 Magnitud Energía (Me) .....	77
6.6 RELACIÓN DE ENERGÍA ACUMULADA PARA EVENTOS VS BLAST PARA CADA FUENT.	81
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

La Mina Uchucchacua está ubicada en la vertiente occidental de los Andes y pertenece a la provincia de Oyón departamento de Lima-Perú.

Desde el año 1953 hasta la fecha se han producido 19 millones de toneladas de mineral de plata con diferentes métodos de explotación corte y relleno ascendente y taladros largos. Actualmente se vienen explotando 3500 toneladas diarias con una ley promedio de 16.0 Oz/TCS de Ag.

Los sectores del yacimiento se dividen en: mina Carmen, mina Socorro, mina Huantajalla y mina Casualidad.

El yacimiento está relacionado a una estructura geológica principal de los Andes centrales. Las rocas son calizas de acidez intermedia.

La presencia de la tectónica andina en nuestro yacimiento metalífero ha creado sistemas de plegamientos principales donde el minado está expuesto a zonas susceptibles a la ocurrencia de los estallidos de rocas.

Los estallidos de roca son acontecimientos repentinos, parecidos a una explosión que ocurren en las profundidades de la mina, plantean un riesgo serio de seguridad para mineros y lidera cada año en unos millones de dólares en la reparación y costos de operación. Estos estallidos también

pueden causar la pérdida de producción, cierres prematuros y el abandono de grandes reservas minerales.

Tres condiciones se combinan para provocar un estallido de roca: un alto estado de tensión; alta rigidez o fuerza de la roca; y la existencia de caras libres, como aquellos que rodean pilares de roca o vertientes rocosas donde las actividades mineras son realizadas

Entre los años 2000 al 2008 se experimentó una serie de eventos de rock burst con daños a la persona y al proceso productivo en el sector Carmen, desde en enero 2007 se instaló un sistema totalmente digital de supervisión sísmica con 24 geófonos uniaxiales cubriendo la mina Carmen. Hasta la fecha se tiene registrado 3083 eventos (producto de sismicidad inducida y fallas activas) asociados a rock burst.

Conforme la mina profundice y las estructuras se hagan más complejas (ambos producen esfuerzos), los estallidos de roca pueden llegar a ser más severos y frecuentes. Por lo tanto, prediciendo la distribución del estallido de roca y la posición se hace aún más importante de modo que el personal pueda ser movido de la zona de peligro, el sostenimiento puede ser reforzado y el daño potencial puede ser mitigado adelantándose al acontecimiento real.

Presentamos algunos avances en cuanto a micro-sismicidad con la ayuda de nuestro monitoreo Microsismico ESG, obteniendo volúmenes de deformación sísmica, comportamientos sísmicos de la Mina, análisis estadístico del peligro sísmico, método de acumulación de energía, así como la relación de energía acumulada para eventos versus disparos.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Mina Uchucchacua, haciendo una remembranza por lo que cuenta el personal que trabajó en el pasado a partir de los años 1991 se escuchaban términos como “reacomodo del cerro”, “golpes de montaña”, es decir que en la mina a partir de los 500 m de profundidad ya existían evidencias de estallidos no reconocidos como tal. Fue en el año 2003 donde un estallido causó daños personales y al proceso.

Posteriormente continúan los eventos cada vez con más frecuencia e intensidad en los años 2004 y 2005, por lo que se inicia un estudio superficial de la sismicidad en nuestro yacimiento con el IGP (Instituto geofísico del Perú) teniendo las primeras informaciones de eventos sísmicos como producto de la explotación (sismicidad inducida).

Actualmente las operaciones de explotación minera se orientan hacia el desarrollo de niveles más profundos (1000 m de profundidad), y con propiedades mecánicas del macizo rocoso que nos indican susceptibilidad al estallido de roca, todo esto nos llevo a experimentar pérdidas personales y en el proceso productivo.

## 1.2 OBJETIVOS

### A) Objetivos Generales

- a) La aplicación de esta tecnología nos permitirá la identificación, localización e interpretación de la microsismicidad en la explotación de los cuerpos de la mina Carmen (Cuerpos Rosario, Verónica, Rubí, Rita, etc.) desde el nivel 4060 al 4180 niveles susceptibles a estallidos de roca



- b) Encontrar la relación entre la energía de los disparos versus los eventos y la relación existente con el tiempo de ocurrencia de los eventos sísmicos.
- c) Calcular la distancia de alcance de las ondas para determinar si estas llegarían a deformar las labores.
- d) Determinar las fuentes sismogénicas en las principales fallas, en los niveles principales de la mina, para tener un mayor control de éstas

#### B) Objetivos Específicos

- a) Minimizar las pérdidas al proceso, así como los daños a la persona, ocasionadas por los estallidos de roca. Además mejorar el planeamiento de las actividades de minado para una producción eficiente y segura.
- b) Determinar Zonas de Riesgo Sísmico, en los principales cuerpos y fallas existentes en la mina Carmen para determinar el sostenimiento y la dirección de las labores futuras.
- c) Calcular la acumulación de energía con la cual podremos tener calculados los rangos de energía liberada para los eventos y así poder controlar el comportamiento de la roca, o de la liberación de ésta, en cualquier momento.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años la mina Uchucchacua ha experimentado un nivel creciente de sismicidad y por efecto de esto se incrementaron los eventos de Estallidos de Rocas, además con la presencia de un patrón estructural complejo de fallas que están siendo reactivadas por efecto del minado (Rita, Rubí, Socorro y Rosa).

En la Mina Uchucchacua se ha considerado el uso de la tecnología de supervisión microsísmica para el planeamiento de las actividades de minado, evaluación del peligro sísmico, evaluación del sostenimiento adecuado y la identificación de los riesgos relacionados con la seguridad.

Actualmente se instaló un sistema totalmente digital de supervisión sísmica con 24 geófonos, los cuales nos registran eventos que son clasificados y analizados logrando un mejor control de las labores con mayores riesgos sísmicos y evitando accidentes.

#### 1.4 ALCANCE

Este estudio solo abarca la interpretación de datos de ubicación, momento magnitud y la energía.

#### 1.5 HIPÓTESIS

Tratar de prevenir la ubicación de un estallidos de rocas, mediante la zonificación y resultados del monitoreo Microsísmico

#### 1.6 VARIABLES

1.5.1 Variables Independientes: Energía, Equipos de Monitoreo (geófonos), Magnitud Sísmica, Condiciones Geológicas.

1.5.2 Variables Dependientes: Deformación de la Roca, Volúmenes de deformación.

#### 1.7 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- La anisotropía del terreno debido a que en este estudio se considera a la roca como uniforme.
- Falta hallar el patrón de comportamiento de la roca, esta es cambiante de un disparo a otro.
- Cantidad de geófonos, para tener datos mucho más exactos sería bueno instalar geófonos sistemáticamente tanto en los frentes de avance como en los tajeos de toda la mina.
- Evitar al máximo los daños causados por la operación a los equipos de monitoreo, ya que se pierde mucha información de eventos.

## **CAPITULO II: GENERALIDADES**

Uchucchacua es un yacimiento de plata en la sierra central conocido en la época virreinal, evidencia de ello son los numerosos trabajos españoles en las áreas de Nazareno, Mercedes, Huantajalla y Casualidad. En el presente siglo la explotación fue continuada por el Sr. Juan Minaya, pasando las minas posteriormente a manos de los Srs. Jungbluth, quienes continuaron con trabajos a pequeña escala llegando a beneficiar mineral en Uchucpaton y Otuto donde quedan vestigios de antiguos “ ingenios”. A inicios de 1,960, la Cía. de Minas Buenaventura inicio trabajos de prospección en la zona, siendo las condiciones iniciales difíciles, pues no existía la carretera Oyón - Chacua la que fue construida en 1,965, prolongándose posteriormente a Yanahuanca. De 1,969 a 1,973, Buenaventura instaló una planta piloto que en principio trató los minerales de las minas Socorro y Carmen. Los resultados satisfactorios decidieron la instalación de una planta industrial en 1,975, la que en la actualidad tiene una capacidad de tratamiento de 2,200 T.C./Día. A la fecha se trabajan las minas de Carmen y Socorro, mientras que en el área de Huantajalla y Lucrecia se están haciendo exploraciones.

## 2.1 UBICACIÓN Y ACCESO

La mina se sitúa en la vertiente occidental de los andes, corresponde al Distrito y Provincia de Oyón del Departamento de Lima. Se ubica alrededor de las siguientes coordenadas:

10° 36' 34" Latitud Sur.

76° 59' 56" Longitud Oeste.

La altura en que se encuentra la mina está entre los 4,300 á 5,000 m.s.n.m.

Se encuentra aproximadamente 180 Km. En línea recta al NE de la ciudad de Lima.

Hay dos vías de acceso, la principal lo constituye en primer término el tramo asfaltado Lima-Huacho, de 152 Km. Y de Huacho-Sayán de 45 Km. Posteriormente un tramo afirmado de Sayan-Churin de 62 Km. y Churin-Uchucchacua de 63 Km; totalizando 322 Km. Otro acceso es el que une Lima-La Oroya-Cerro de Pasco de 320 Km. asfaltado y Cerro de Pasco-Uchucchacua de 70 Km afirmado, totalizando 390 Km. Lámina Numero 1.

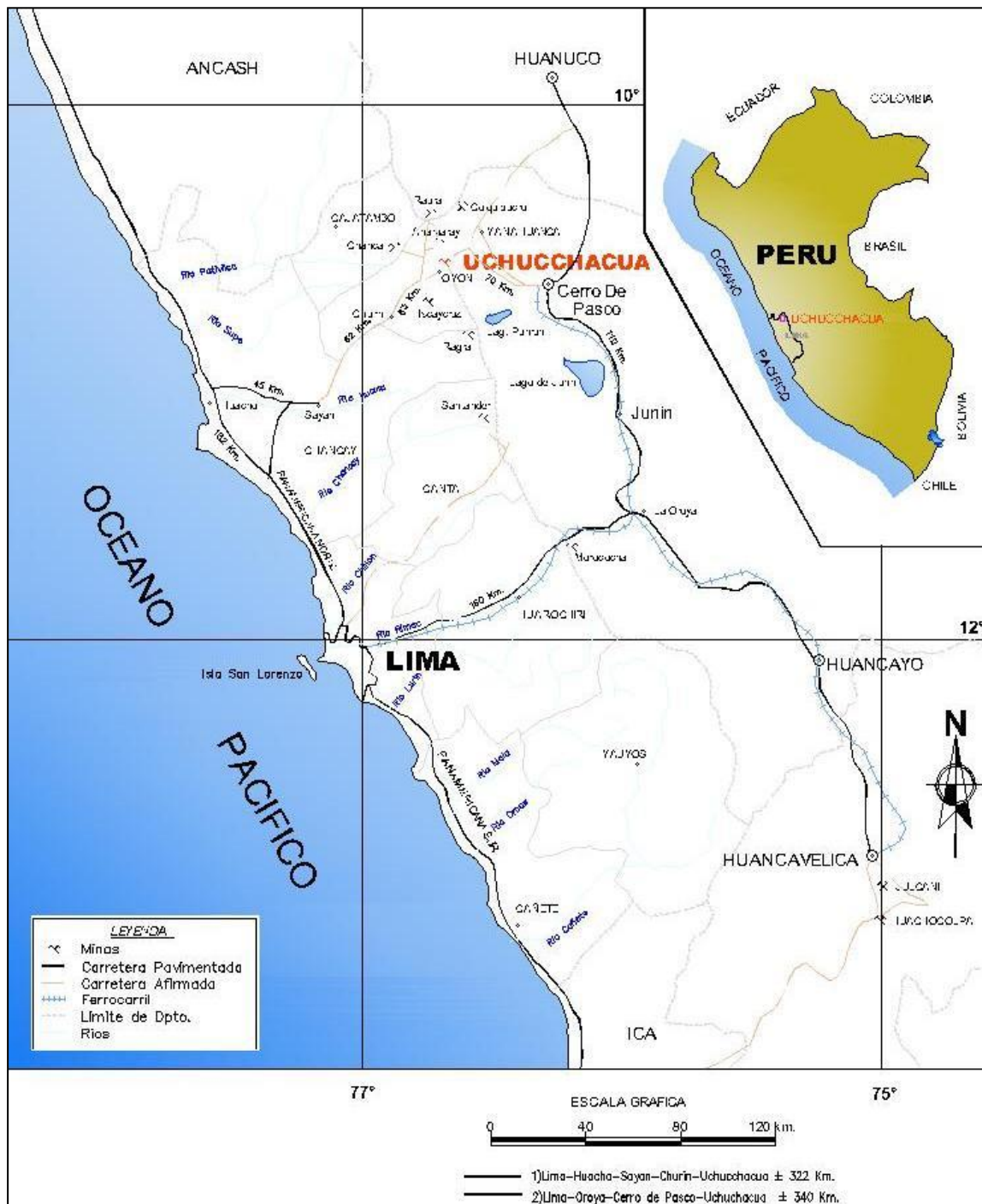


FIGURA 1: Plano de ubicación y acceso a la Mina Uchucchacua

## 2.2 GEOGRAFÍA

La zona muestra en su parte central la divisoria continental de los Andes angosta y abrupta que llega a los 5,000 - 5,200 m.s.n.m. Hacia el Oeste de este lineamiento se suceden quebradas en “V” y “U” flanqueadas por altos picos y al Este una porción de la planicie altiplánica también disectada por numerosas quebradas y con picos sobre los 4,800 m.s.n.m.

El clima es frígido y seco entre los meses de Abril a Diciembre, tornándose lluvioso de Enero a Marzo pero con temperaturas moderadas.

## 2.3 ESTRATIGRAFÍA Y PETROLOGÍA

Las rocas predominantes en la columna estratigráfica corresponden a las sedimentarias del cretáceo, sobre ellas se tiene a los volcánicos terciarios, e intuyendo a las anteriores se observan dos tipos de intrusivos. Coronando la secuencia figuran depósitos aluviales y morrénicos.

### SEDIMENTARIOS.

Formación Oyón. (Ki-o).

Conformado por una intercalación de lutitas gris oscuras, areniscas y capas carbonosas antracíticas muy disturbadas. Se reconoce una potencia de 400 m aflorando al NW Oyón. Se le asigna al valanginiano.

Jumasha.

Los afloramientos del Jumasha son los más extendidos en el área, y ha sido posible diferenciarlos dada la ubicación de muchos horizontes fosilíferos guías.

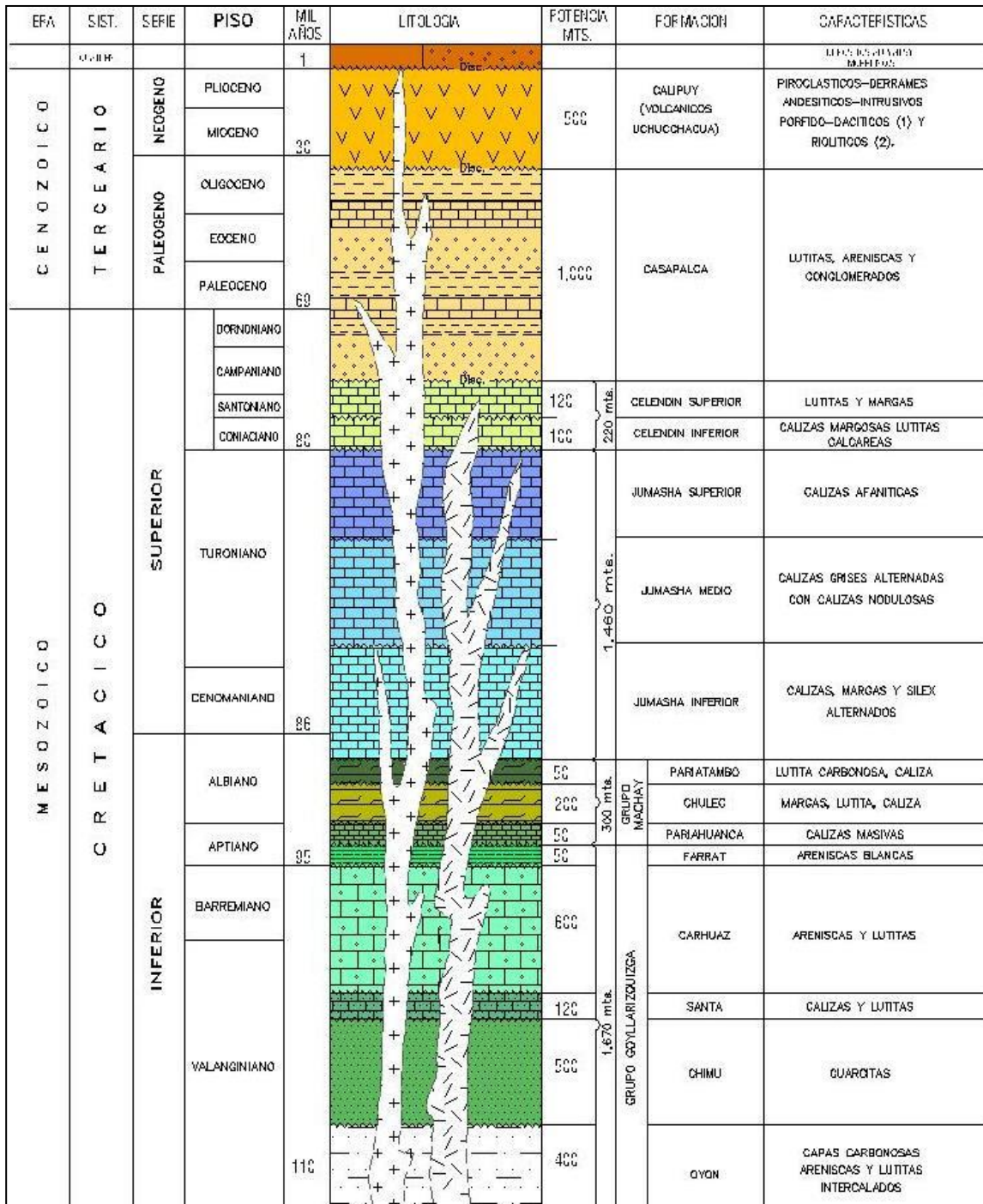


FIGURA 2: Columna Estratigráfica de la Mina Uchucchacua

## VOLCÁNICOS.

### Volcánicos Calipuy. (Ti-Vca)

Se encuentran discordantemente sobre la Formación Casapalca y es un conjunto de derrames andesíticos y piroclásticos de edad terciaria. Su espesor es estimado en 500 m y aflora al norte de la zona de Uchucchacua.

## INTRUSIVOS.

Pórfidos de dacita forman pequeños stocks de hasta 30 m de diámetro, también se tienen diques y apófisis de dacita distribuidos irregularmente en el flanco occidental del valle, afectando a las calizas Jumasha-Celendín principalmente en las áreas de Carmen, Socorro, Casualidad y Plomopampa; los intrusivos forman aureolas irregulares de metamorfismo de contacto en las calizas. A. Bussell hace mención de diques riolíticos al Norte de Chacua intruyendo a los volcánicos Calipuy.

## CUATERNARIO.

### Depósitos Morrénicos. (Q-mo)

A cotas mayores de 3,800 m.s.n.m. el área sufrió los efectos de la glaciación pleistocénica, formando valles en “U” en cuyo fondo y laderas se depositaron morrenas que en varios casos represaron el hielo fundido, tal como la laguna Patón. Por otro lado, en Cachipampa las morrenas muy extendidas cubren a las capas rojas; estos depósitos están conformados por un conjunto pobremente clasificado de cantos grandes en matriz de grano grueso a fino generalmente anguloso y estriado.

## 2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

El aspecto estructural es de suma importancia en Uchucchacua y así lo refiere el siguiente extracto: “La génesis del yacimiento de Uchucchacua está relacionado a una estructura geológica principal de nuestros Andes, evidenciada por los cuerpos intrusivos de Raura, Uchucchacua,



Chungar, Morococha y otros. Es también evidente que esta actividad magmática ha traído consigo la formación de yacimientos minerales importantes. Al respecto, conviene anotar que la composición de las rocas intrusivas encontradas en Uchucchacua son de acidez intermedia, similar a la de tantos otros intrusivos relacionados con yacimientos minerales en el Perú". (Ing. A. Benavides- Abril 1974).

#### PLIEGUES O ANTICLINALES

Las fases comprensivas de dirección NE-SW han plegado los sedimentos cretácicos formando el anticlinal de Cachipampa, en una orientación NW-SE e inclinado hacia su flanco occidental. Adyacente a la ubicación del anticlinal de Cachipampa, se encuentra mucha de la mineralización presente en la mina Uchucchacua. Entre ellas, también se ha emplazado la veta 4-A.

#### FALLAS Y FRACTURAMIENTOS

##### Fracturamiento del área de Huantajalla

La geología estructural es de extrema importancia en la génesis de la mineralización de la veta 4-A. El fluido mineralizante intruye a través de la falla que en superficie se muestra como una veta de 2.5 mts con calcita masiva y bandas de manganeso y óxido de Fe. La mineralización de la veta 4-A esta asociada a la intersección de dichas fallas débiles tensionales y al ligero cambio de rumbo de la falla principal 4-A.

El sistema de fallas en el área de Huantajalla esta formado por 3 sistemas.

El primero es el sistema de fallas sinestrales de rumbo N50 W y buzamiento promedio 85SW, como son las vetas 3-A y 4-A. Asociadas a estas fallas se presentan fallas conjugadas y estructuras débiles de rumbo E-W y N-S.

La falla 4-A en superficie presenta una longitud de 400 mts y posee un relleno mineralizante de calcita masiva, bandas de óxidos de Fe, Mn y caliza recristalizada. En la Lámina.3 se observa la geología estructural del sistema de la veta 4-A.

El segundo es el sistema E-W y el tercero es el sistema N20 W del sistema Marión. El último es una estructura muy irregular compuesta por pequeños cuerpos lentiformes ubicados a lo largo de la estructura E-W y planos de estratificación fallados de rumbo N20 W y buzamiento 75NE.

## 2.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA

Uchucchacua es un depósito hidrotermal epigenético del tipo de relleno de fracturas (vetas), las cuales también fueron canales de circulación y reemplazamiento metasomático de soluciones mineralizantes que finalmente formaron cuerpos de mineral.

La mineralización económica comercial es básicamente de plata, como subproducto se extrae zinc, se observa además una amplia gama de minerales de ganga muchos de rara naturaleza. Las estructuras se emplazan en rocas calcáreas del cretácico superior y son de diversa magnitud, asociadas a ellas se encuentran cuerpos de reemplazamiento irregulares y discontinuos.

El área mineralizada se encuentra en un perímetro de 4 x 1.5 Km. y para efectos de operación se le ha dividido en dos zonas Socorro y Carmen, en etapa de exploración se tienen a la minas Huantajalla y Lucrecia.

### Mineralogía

Es compleja, con una rica variedad de minerales tanto de mena como de ganga, entre los que tenemos:

#### Mineral de Mena.

Galena, Proustita, Argentita, Pirargirita, Plata Nativa, Esfalerita, Marmatita, Jamesonita, Polibasita, Boulangerita, Chalcopirita, Covelita, Jalpaita, Estromeyerita, Golfieldita.

#### Minerales de Ganga.

Pirita, Alabandita, Rodocrosita, Calcita, Pirrotita, Fluorita, Psilomelano, Pirolusita, Johansonita, Bustamita, Arsenopirita, Marcasita, Magnetita, Estibina, Cuarzo, Oropimente, Rejalgar, Benavidesita, Tefroita y Yeso.

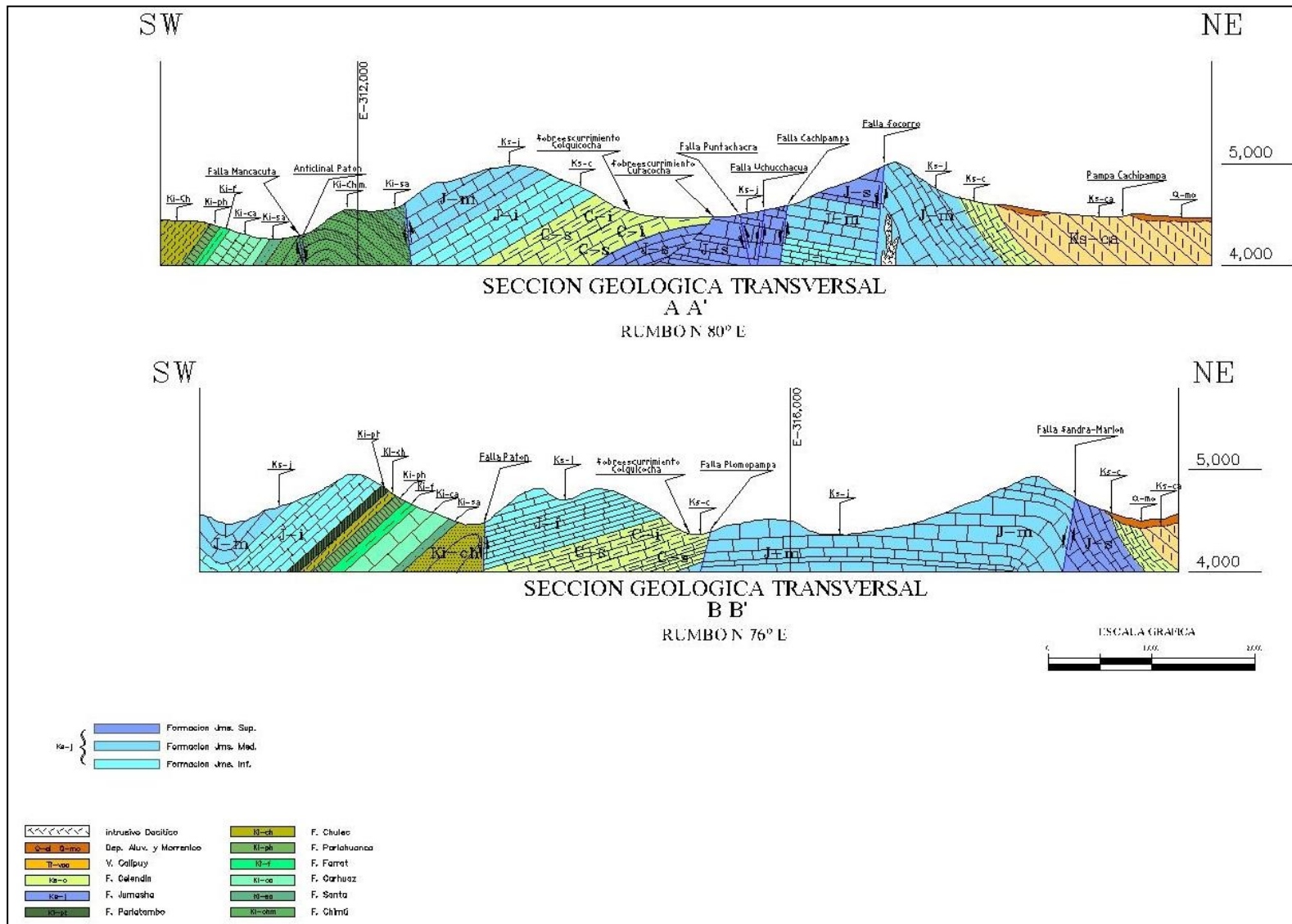


FIGURA 3: Geología Regional de la Mina Uchucchacua

## TIPOS DE MINERALIZACIÓN

En Uchucchacua se presentan tres tipos:

### Relleno de Fracturas.

Por efecto de los movimientos de las fallas regionales referidas en el capítulo correspondiente, se originó un complejo fracturamiento en las unidades rocosas del Jumasha, estas fracturas son de magnitud distrital (1-1.5 Km.) y con desplazamiento de relativo poco salto en las componentes vertical y horizontal, estas al ser rellenadas por las soluciones hidrotermales toman la configuración en rosario; el relleno mineralógico es mayormente de sulfuros tales como Galena, Blenda, Pirita, Plata Roja, Alabandita, también Calcita, Rodocrosita; en menor cantidad presentan silicato; en sus tramos tensionales quedaron cavidades que permitieron la percolación de aguas meteóricas que en algunos casos disolvieron la caliza, y en gran parte oxidaron el mineral.

### Reemplazamiento Metasomático.

Las calizas del Jumasha Medio e inferior como cajas de las fracturas en Uchucchacua, han favorecido el proceso de reemplazamiento por sulfuros y silicatos de metales económicos como plata y zinc, formando cuerpos irregulares muy relacionados a las vetas las cuales funcionaron como canales definidos de mineral reemplazante en sus zonas de inflexión, la forma de estas concentraciones es irregular, con dimensiones entre 30 a 140 m de longitud, alrededor de 150 m de altura y de 4 a 30 m de ancho; en el caso particular del Cuerpo Irma Viviana, esta llega a tener una extensión vertical de alrededor 300 m.

### Sistemas de Vetas

Entre las fallas Uchucchacua, Cachipampa y Socorro es posible definir tres sistemas de veta:

Sistema NW-SE, predomina mayormente en el área de Socorro, a este sistema pertenecen las vetas Camucha, Lucero, Dora, V-3, Doris, Socorro 1 y se encuentran limitados entre las fallas Uchucchacua y Cachipampa.

Sistema E-W, el cual parece estar controlando el fracturamiento NW-SE y EN-SW; estas vetas tienen rumbos entre N 80 E a E-W y buzamientos que tienden a ser verticales, sus zonas de oxidación profundizan considerablemente, pasando a veces los 300 m las vetas de este sistema son: Rosa, Sandra, Rosa 2, Consuelo, Karla, Silvana, etc.

Sistema EN-SW, es al parecer el sistema dominante sobre todo al Sur de la zona de producción, las exploraciones al Sur de veta Rosa toman el rumbo de las vetas de este sistema, las cuales se disponen alrededor de los intrusivos observados en superficie en el área de Casualidad, son de relativa larga longitud ya que se las observa desde el campamento Plomopampa, son sinuosos con ramales secundarios, zonas de angostamiento y ensanchamiento; a este sistema pertenecen las vetas Luz, Casualidad 1, 2, Victoria, Claudia, Plomopampa 1, 2 y sistema Huantajalla.

Cuerpos.

Se diferencia los cuerpos de metasomatismo de contacto cuyas características principales son su forma irregular, su relación estrecha a los intrusivos del área, la conformación de skarn con granates, marmolización y mineralización diseminada de blenda, chalcopirita y galena; hasta el momento no se ha determinado concentraciones importantes de este tipo, pero se conoce algunas de segunda importancia económica, entre vetas Luz y Luz 1 del nivel 550 a 450, otro en la cortada 976 en el nivel 550, también en el nivel 450 cerca al pique, igualmente en el 450 de Casualidad.

Cuerpos de reemplazamiento metasomático en mina Carmen están relacionados a inflexiones de vetas, se encuentran vecinos o unidos a ellas, de formas irregulares, más extendidos en vertical que horizontalmente, con valores de plata superiores a los anteriores; su característica principal es la presencia de los silicatos de manganeso en mayor cantidad que en las vetas, la cantidad de platas rojas es notable y evidentemente de deposición tardía; entre los cuerpos reconocidos se tiene a Irma-Viviana, Rosa Norte, Rosa 2 y Claudia.

### **CAPITULO III: MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACION**

Con motivo de los estallidos de rocas ocurridas en la Mina Chacua, se establecieron medidas a mediano plazo, en el marco del Plan de Acciones para el Control de Estallidos de Rocas en Mina Chacua. La idea en aquella fue reforzar lo ya hecho y complementar con nuevas actividades y estudios que nos permitan conocer la susceptibilidad de la roca a los estallido (Estudio Cervo Controlado), la estimación de la orientación de los principales esfuerzos y conocer el tipo de mineralización existente ( Estudio Petromineralogico).

#### **3.1 ESTUDIO CERVO CONTROLADO**

Disposición de rocas a los estallidos de rocas

##### **3.1.1 Introducción**

El pronóstico de estallidos de rocas es muy difícil pues este fenómeno depende de muchos factores: condiciones geológicas naturales (litología, tectónica), condiciones geomecánicas (distribución de tensiones alrededor de obras mineras), métodos de excavar (excavación con uso de máquinas o con voladura) pero también de condiciones “esfuerzo – deformación”. Estas propiedades pueden ser determinadas por métodos de laboratorio usando muestras de rocas y después adaptados al macizo rocoso, teniendo en cuenta las perturbaciones estructurales de las rocas y otras condiciones naturales.

Las características “esfuerzo – deformación” se determinan según diferentes parámetros obtenidos de la curva completa “esfuerzo – deformación”. Esta curva describe el comportamiento de rocas en el estado antes y después el fallamiento (o estado pre y post ruptura). Estas características se obtienen durante las investigaciones realizadas en la prensa rígida, utilizando un crecimiento constante de deformación de la muestra de la roca investigada.

Los ensayos de laboratorio se realizan en una prensa rígida de manera siguiente:

La muestra es cargada uniformemente en compresión uniaxial. El crecimiento de la carga compresiva, correspondiente a la velocidad de carga estándar, es de 0,3 MPa/s, hasta el valor de fallamiento. Cuando la carga alcanza el nivel de 75% de la carga crítica, la muestra es descargada con la misma velocidad de descarga, hasta un valor cerca de 5% de la carga crítica. Después la muestra es recargada hasta la carga máxima o crítica (hasta el fallamiento).

En todos los ensayos obtenemos un diagrama (gráfico) completo de características “esfuerzo – deformación”, con las partes de carga y descarga (Figura 4).

### 3.1.2 Determinación de propiedades de “esfuerzo – deformación”

En base a las características “esfuerzo – deformación” se determina los parámetros siguientes:

- Esfuerzo crítico (máxima)  $\sigma$  (resistencia a compresión uniaxial);
- Esfuerzo residual  $\sigma_{res}$
- Módulo de deformación  $E_0 = tg \alpha$
- Módulo de la elasticidad  $E = tg \beta$
- Módulo post – ruptura (de descarga)  $M = tg \gamma$
- Razón de Poisson  $\nu = \varepsilon_{lateral} / \varepsilon_{axial}$
- Esfuerzos: de ruptura (crítico)  $\varepsilon_{cr}$ , elástico  $\varepsilon_{el}$ , inelástico  $\varepsilon_n$ .

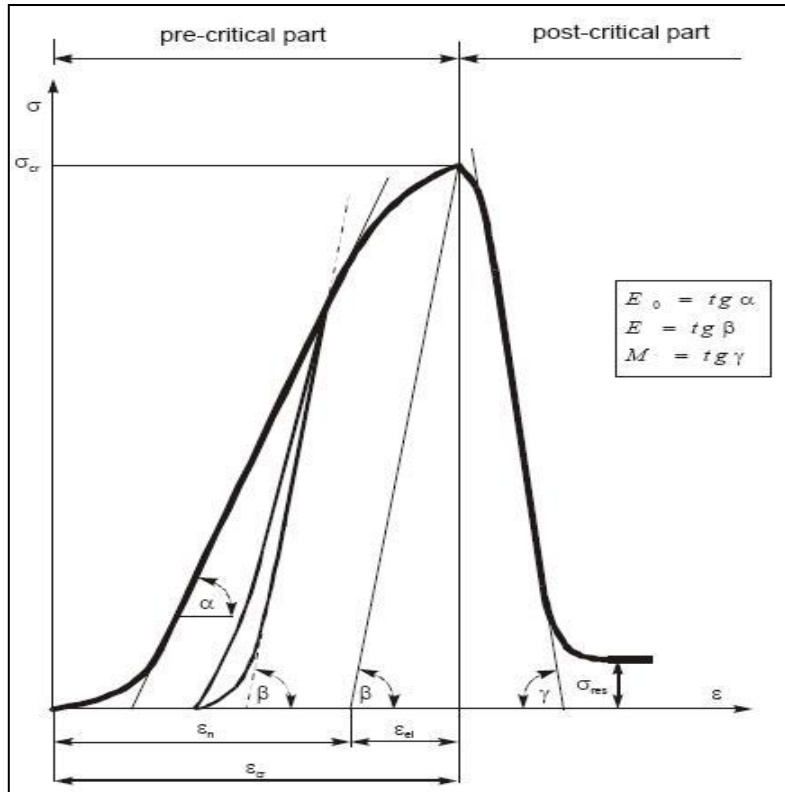


FIGURA 4: Esquema de determinación de los parámetros de “esfuerzo – deformación” en base de la característica “ $\sigma - \epsilon$ ” completa.

Para determinar el razón de Poisson, las medidas del valor de la deformación lateral se realizaban con uso de un extensómetro circunferencial localizado en la parte media de la muestra examinada (Figura 4). Conforme a las recomendaciones de ISRM la razón de Poisson y el módulo de la elasticidad deben ser medidos entre 35% y 65% de la resistencia uniaxial a la compresión  $R_c$ .

### 3.1.3 Determinación de la energía específica de deformación longitudinal de la muestra.

La característica “esfuerzo – deformación” de las muestras de roca, obtenida en prensa rígida tiene generalmente una forma correspondiente al fallamiento progresivo de la muestra.

La Figura 5 presenta una característica típica registrada durante los ensayos. La superficie entre la característica y el eje de deformación determina la energía específica de la deformación



longitudinal de la muestra. Esta superficie se divide en dos partes: la superficie debajo de la curva que incrementa es  $W_1$  y la curva que decrece es  $W_2$ .

La superficie bajo la curva que se incrementa se divide después en la superficie correspondiente a la zona elástica  $A_{el}$  y a la zona inelástica  $A_n$  deformación límite de la resistencia de la muestra.

Desde el punto de esfuerzo crítico, se dibuja un trazo paralelo a la tangente de la curva aumentante. Esta línea determina en el punto de intersección con el eje de deformación - las deformaciones elástica y inelástica en el límite de resistencia de la muestra.

La división creada de la superficie contenida entre la curva de tensión y el eje de deformación corresponde a la división de la energía en la energía  $W_1$  necesitada para alcanzar el límite de esfuerzo y en la energía  $W_2$  necesitada para el fallamiento progresivo de la muestra, por lo tanto la energía de la deformación elástica  $A_{el}$  y de la deformación inelástica  $A_n$  se encuentran en el límite de resistencia de la muestra investigada.

En los ensayos realizados con una velocidad constante de deformación los cambios de tensiones se analizan en función de las deformaciones en el tiempo. En los ensayos pueden distinguirse el tiempo de carga  $t_{cr}$  de la muestra hasta la tensión crítica (máxima), y el tiempo de destrucción de la muestra, llamado el tiempo de fallamiento  $t_r$ , determinado por la caída desde el valor máximo hasta el valor residual de la tensión (Figura 5).

La división de la energía específica en la parte pre crítica de la curva “esfuerzo – deformación”, cuando la muestra es descargada al nivel de  $0.75 \sigma_{cr}$  es presentada en la Figura 6.

La energía total correspondiente al valor de  $0.75 \sigma_{cr}$  se divide en energía elástica  $\varphi_{el}$  y energía inelástica  $\varphi_n$ .

En base de la característica “esfuerzo – deformación” se determina las energías específicas siguientes:

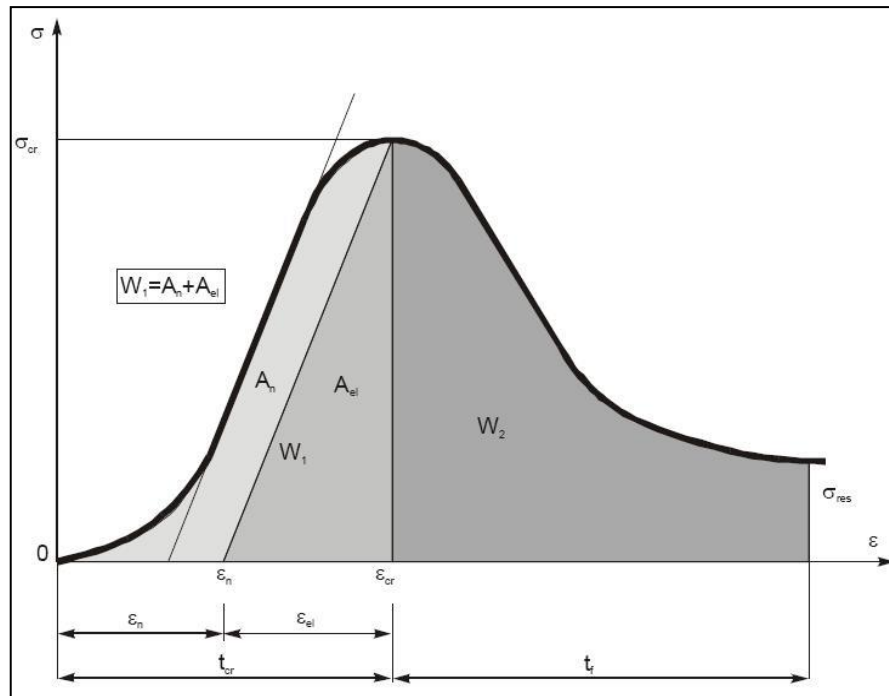


FIGURA 5: División de la energía específica de la deformación longitudinal en energías constitutivas

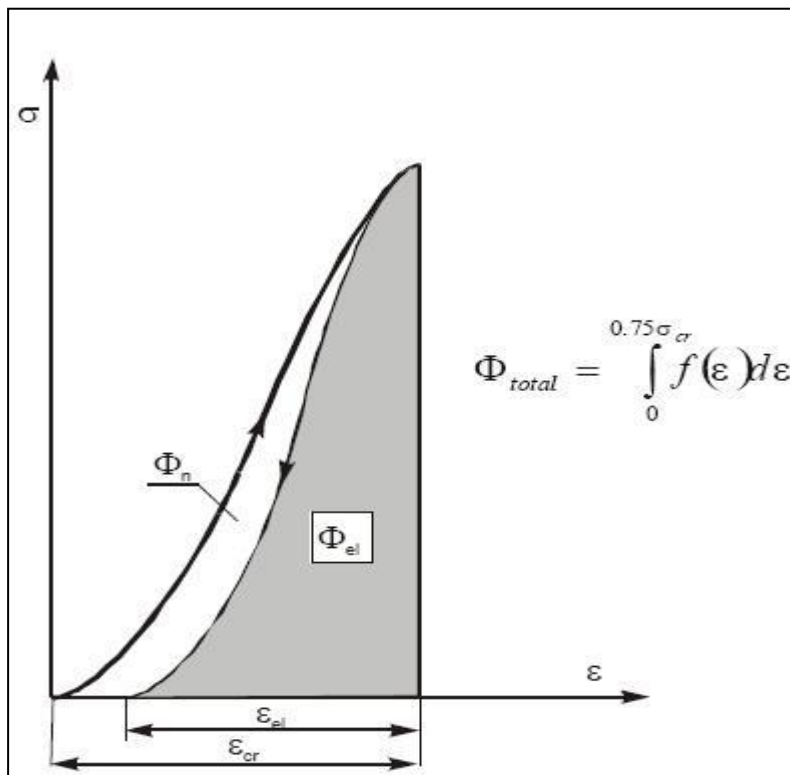


FIGURA 6: División de la energía específica en la parte pre-crítica al descargar de la muestra  $E_n$

$0,75 \sigma_{cr}$ .

- Energía de la deformación elástica al nivel de  $0.75 \sigma_{cr}$   $\varphi_{el}$
- Energía de la deformación inelástica al nivel de  $0.75 \sigma_{cr}$   $\varphi_n$
- Energía de la deformación elástica al límite de resistencia  $A_{el}$
- Energía de la deformación inelástica al límite de resistencia  $A_n$
- Energía de la deformación al límite de resistencia  $W_1$
- Energía de destrucción post- crítica de la muestra  $W_2$

### 3.1.4 Determinación de los índices de disposición de rocas a los estallidos de rocas.

Los índices de disposición de rocas a las estallidos son calculados en base de los parámetros determinados de las características completas “esfuerzo – deformación” y de las energías específicas en segmentos particulares de la deformación longitudinal de la muestra de la roca.

Hay los índices siguientes:

- Índice energético de disposición de rocas a los estallidos WET:

$$WET = \varphi_{el}/\varphi_n$$

- Índice energético de disposition de rocas a las estallidos en el límite

De resistencia WET':  $WET' = A_{el} / A_n$

- Índice de energía potencial PES:  $PES = 500 R_c^2 / E \text{ (kJ/m}^3\text{)}$

- Índice de estallidos potencial de rocas K:  $K = \varepsilon_{el} / \varepsilon_{cr}$

- Índice de fallamiento dinámico:  $\lambda = M / E$

- Índice de amenaza de estallidos de rocas WZT:  $WZT = A_{el} / W_1$

- Índice de ablandencia de estallidos de rocas WOT:  $WOT = A_{el} / W_2$

- Índice de velocidad del fallamiento:  $\sigma_f = (\sigma_{cr} - \sigma_r) / t_f$

### 3.1.5 Ensayos de laboratorio de las muestras de roca

Los ensayos de laboratorio de las muestras de roca fueron realizados en prensa rígida MTS 815 (Figura 7). Antes de los ensayos las muestras fueron equipadas con los extensómetros axiales y circunferenciales (Figura 8) que median los desplazamientos axiales y laterales. La muestra de roca, insertada en la prensa rígida es visible en (Figura 9), y también las instalaciones para pilotar los ensayos.

Hay dos diversos tipos de rocas: piedra de caliza y mineral



FIGURA 7: Vista de la prensa rígida MTS-815 en el MTS Laboratorio del Departamento Geomecánica, Genio Civil y Geotécnica en la AGH - Universidad de la Ciencia y Tecnología en Cracovia.

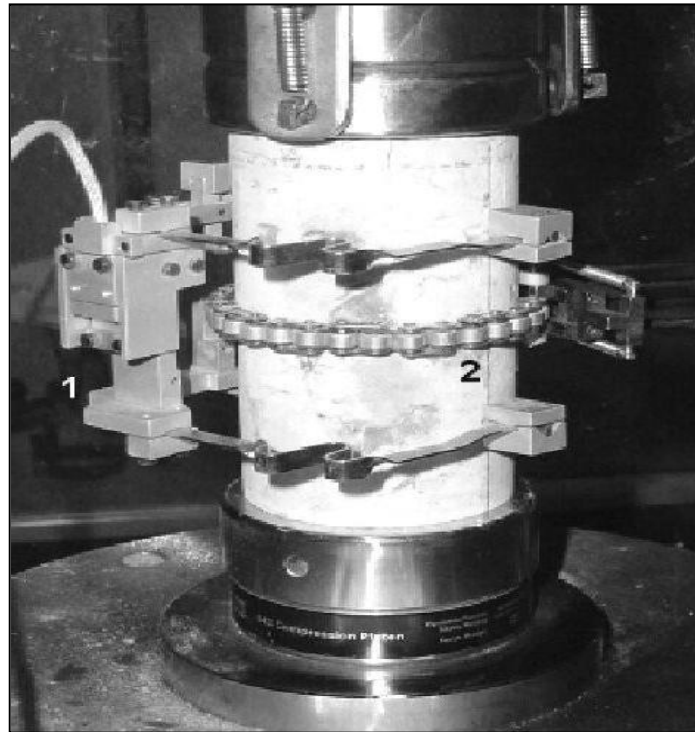


FIGURA 8: Muestra de la roca equipada con los dos extensómetros: extensómetro axial (1) y extensómetro circunferencial (2).



FIGURA 9: Muestra de la roca establecida en la prensa rígida, conectada con una consola de manejo.

Los ensayos de muestra comprueban que las muestras son muy explosivas, y pues el valor de la velocidad de deformación es de  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

Informaciones de la muestra: identificador de la muestra

Densidad

Longitud

Diámetro

Esbelteza

Velocidad de la deformación axial.

Características “esfuerzo – deformación”:

Esfuerzo – deformación axial (color azul)

Esfuerzo – deformación lateral (color rojo)

En base de las características “esfuerzo – deformación” se determina las propiedades de la roca, conforme a las fórmulas presentadas en el anteriormente

Propiedades de la roca:

Esfuerzo crítico  $\sigma_{cr}$  (resistencia a la compresión uniaxial  $R_c$ )

Esfuerzo residual  $\sigma_{res}$

Módulo de la elasticidad  $E$

Razón de Poisson  $\nu$

Modulo de caída  $M$

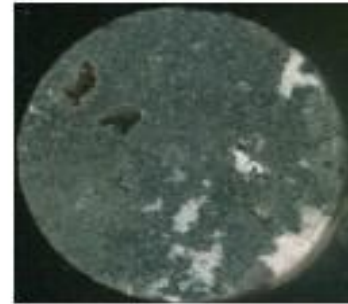
Las energías de la deformación longitudinal en la gama completa de la característica “esfuerzo – deformación” son medidas ya presentadas. Los índices de disposición de las rocas a los estallidos se calculan conforme a las fórmulas dadas anteriormente.

### Uniaxial compression test

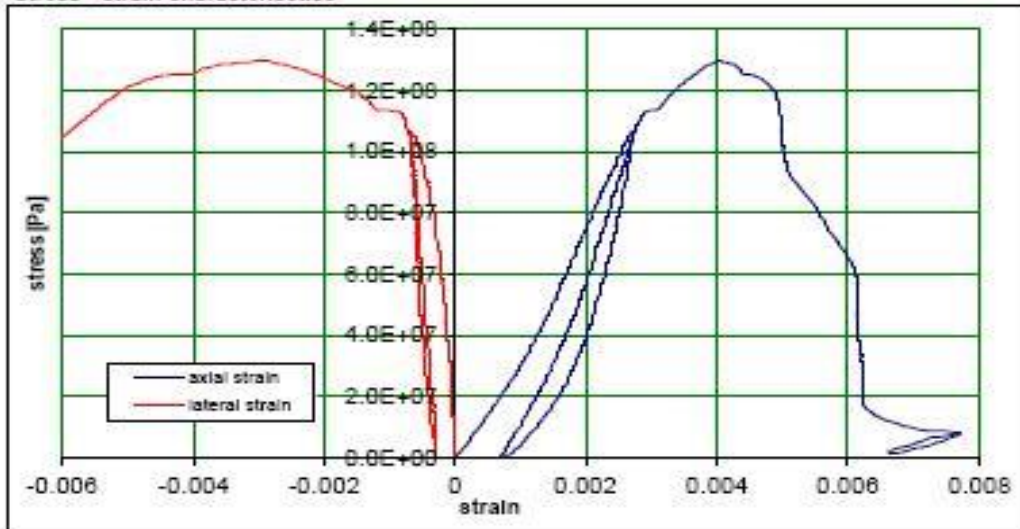
#### Specimen information

Specimen identifier	mineral 36-1		
Density	$\rho$	3648.5	[kg/m <sup>3</sup> ]
Length	h	59.3	[mm]
Diameter	d	30.4	[mm]
Slenderness	s=h/d	1.95	
Axial strain rate control		1.0E-05	[s <sup>-1</sup> ]

#### View of sample cross section



#### Stress - strain characteristics



#### Rock properties

$\sigma_{cr}$	129.51	[MPa]
$\sigma_{res}$	7.58	[MPa]
E	69.37	[GPa] (35%-65%) $R_C$
$\nu$	0.18	(35%-65%) $R_C$
M	47.45	[GPa]

#### Mode of failure - shear surface



#### Indexes of rock susceptibility to bumps

WET	1.78	
WET'	0.73	
PES	120.91	[kJ/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	0.68	
K	0.47	
WZT	0.42	
WOT	0.54	
$\sigma_f$	0.43	[MPa/s]

AGH University of Science and Technology, Department of Geomechanics, Civil Engineering and Geotechnics

FIGURA 10: Presenta la superficie de contacto, el modo de fallamiento y también la superficie de corte de la muestra. Esta figura presenta las especificaciones de la muestra mineral.

Índices de disposición de rocas a los estallidos:

Índice energético de disposición de rocas a los estallidos:

*WET*

Índice energético de disposición de rocas a las estallidos en el

Límite de la resistencia: *WET'*

Índice de energía elástica potencial: *PES*

Índice de fallamiento dinámico:  $\lambda$

Índice de los estallidos potencial de rocas: *K*

Índice de amenaza de los estallidos de rocas: *WZT*

Índice de ablandencia de los estallidos de rocas: *WOT*

Índice de velocidad del fallamiento:  $\sigma_f$

### 3.1.6 Análisis de los resultados.

Grado I:  $PES < 50 \text{ kJ/m}^3$  - rocas sin disposición a estallidos

Grado II:  $50 < PES < 100 \text{ kJ/m}^3$  - rocas de pequeña disposición a estallidos

Grado III:  $100 < PES < 200 \text{ kJ/m}^3$  - rocas con disposición considerable a estallidos

Grado IV:  $PES > 200 \text{ kJ/m}^3$  - rocas de muy fuerte disposición a estallidos

Conforme a esta clasificación los dos tipos de rocas: la piedra caliza y el mineral se podrían, en general, clasificar a las rocas con disposición considerable, o rocas con muy fuerte disposición a estallidos (grados III y IV).



Diameter of samples: d=40 mm	Nr of sample	Stress-strain parameters								Time of failure t <sub>r</sub> [s]
		Uniaxial compressive strength $\sigma_{cr}$ MPa	Deformation modulus E <sub>0</sub> GPa	Elasticity modulus E GPa	Poisson's ratio $\nu$	Drop modulus M GPa	Residual stress $\sigma_{res}$ MPa	Critical strain $\epsilon_{cr}$ E-03	Elastic strain $\epsilon_{el}$ E-03	
Type of rock: Mineral deposit	13-1	82.75	31.07	50.29	0.26	72.47	14.63	3.49	1.65	93.9
	14-1	139.12	45.39	56.30	0.25	161.77	0	3.95	2.47	20.7
	15-1	129.97	54.11	60.31	0.31	149.55	22.3	2.74	2.16	55.4
	16-1	93.36	37.51	49.01	0.44	114.47	10.6	2.94	1.90	62.4
	16-2	119.57	41.66	49.50	0.40	156.40	3.36	3.46	2.42	87.6
	17-1	171.70	60.65	71.40	0.23	464.07	0	3.00	2.40	3.4
	18-1	122.29	122.94	210.00	0.29	-	0	1.53	0.58	33.2
	19-1	117.90	56.00	63.11	0.24	94.85	20.2	3.09	1.87	114.2
	19-2	87.51	50.84	66.20	0.22	64.26	14.9	2.81	1.32	340.8
	20-1	135.01	56.67	70.56	0.27	242.66	6.4	4.03	1.91	35.2
	21-1	51.51	49.13	-	0.15	58.39	10.0	1.15	-	87.7
	22-1	242.02	187.32	338.66	0.38	-	-	1.10	0.71	9.1

TABLA 1: Parámetros esfuerzo-Deformación

Diameter of samples: <b>d=48.0 mm</b>	Nr of sample	Longitudinal strain energies				Indexes of rock susceptibility to bumps							
		Energy of elastic strain $A_e$ kJ/m <sup>3</sup>	Energy of non-elastic strain $A_n$ kJ/m <sup>3</sup>	Energy of strain at strength limit $W_1$ kJ/m <sup>3</sup>	Energy of post-critical strain $W_2$ kJ/m <sup>3</sup>	Index of potential elastic energy PES kJ/m <sup>3</sup>	Energetic index of bumps WET	Energetic index of bumps at strength limit WET'	Index of dynamic failure $\lambda$	Index of potential bumping K	Index of bump hazard WZT	Index of bump softening WOT	Index of failure rate $\sigma_f$ MPa/s
Type of rock: <b>Limestone</b>	7-1	106.78	32.99	139.77	15.86	106.78	4.88	3.24	-	0.79	0.76	6.73	0.92
	8-1	188.26	84.26	272.52	-	188.26	2.38	2.23	-	0.78	0.69	-	67.56
	8-2	180.42	108.89	289.31	9.81	180.42	2.25	1.66	-	0.82	0.62	18.39	62.38
	9-1	108.93	157.04	265.97	23.14	108.93	1.18	0.69	-	0.77	0.41	4.71	31.77
	10-1	204.66	113.01	317.67	85.50	204.66	2.66	1.81	-	0.62	0.64	2.39	25.77
	11-1	126.91	48.88	175.79	33.55	126.91	5.26	2.60	-	0.80	0.72	3.78	15.95
	11-2	157.47	54.36	211.84	0	157.47	5.21	4.58	-	0.96	0.74	-	113.78
	12-1	130.89	65.36	196.25	242.47	130.89	2.64	2.00	0.62	0.81	0.67	0.54	0.95
	13-1	164.01	45.19	209.19	155.23	164.01	4.43	3.63	2.34	0.76	0.78	1.06	1.29
	14-1	375.05	105.60	480.65	0.00	375.05	2.18	3.55	-	0.86	0.78	-	-
	15-1	223.54	42.14	265.68	0.00	223.54	5.62	5.30	-	0.63	0.84	-	82.25
	16-1	32.94	74.53	107.47	41.10	32.94	0.89	0.44	1.73	0.58	0.31	0.80	1.41

TABLA 2: Parámetros de Energía

### 3.2 ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINEROGRÁFICO

Relación de muestras realizadas :

- Muestra de mineral zona del tajo 150 Rubí Sur Echadero (Estallido)
- Muestra de mineral zona del tajo 150 Rubí Sur Echadero (Estallido)
- Muestra de caliza zona de la Rampa 151 Nivel 180 entrada. (No estallido)
- Muestra de caliza zona de la Rampa 151 Nivel entre 180-120 (Estallido)
- Muestra de mineral de la zona tajo 150 de Rubí Central. (Estallido)
- Muestra de mineral zona tajo 150 Rubí Norte (Estallido)
- Muestra de caliza zona de tajo 150 Rubí 3 (Estallido)
- Muestra de caliza zona de nivel 180 (No estallido)
- Muestra de mineral zona de tajo 150 Alison. (Estallido)
- Muestra de Mineral –Caliza del tajo 150 Alison (No estallido)

#### 3.2.1 Resultados del Análisis de una Muestra

Muestra Original: Rubí Sur Echadero Nv- 120 E

##### Estudio Petrográfico

Clasificación de la roca: skarn de actinolita-tremolita, wollastonita, carbonatos y granates

##### Descripción Macroscópica

Roca de color gris con tono parduzco, parcialmente gris claro y atravesado por venillas de calcita y óxidos de fierro.

##### Descripción Microscópica

La muestra está constituida esencialmente por actinolita-tremolita la cual se presenta en agregados tabulares y aciculares dispuestos radialmente, con tamaños que varían de 0,26 mm. a 1,70 mm. Encontrándose alterados por carbonatos (calcita y dolomita), óxidos de fierro y escasamente por cloritas.

Se observan cristales tabulares de wollastonita dispuestos radialmente, alterados ligeramente por carbonatos y óxidos de fierro.

Cristales subhedrales de granates con tamaños menores de 0,50 mm, se encuentran diseminados y ligeramente alterados por dolomita en sus bordes y por óxidos de fierro. Presenta microfracturas rellenas por dolomita, cuarzo y óxidos de fierro.

Se observan minerales opacos con formas euhedrales a anhedrales y tamaños menores de 0,15 mm., diseminados en la ganga y en bordes de granates, están alterados por óxidos de fierro.

Ocurren limonitas alterando a actinolita-tremolita, relleno intersticial de las mismas, en microfracturas de granates y en venillas.

Gruasa vena rellena por dolomita y ankerita con escaso cuarzo intersticial y con óxidos de fierro en sus bordes, atraviesa la muestra. Finas venillas de cuarzo cortan a venas de carbonatos.

Textura/s: Granoblástica

Mineralogía:

Esenciales: Actinolita-tremolita (40%), wollastonita (25%), calcita (24%)

Accesorios: Oxidos de fierro (5%), Granates (3%), dolomita (2%), ankerita (1%), Minerales Opacos (Trz), cuarzo (Trz), Cloritas (Trz).

Secundarios: Calcita, dolomita, ankerita, óxidos de fierro, cuarzo, cloritas

Alteraciones: Carbonatación moderada; oxidación débil; silicificación (venas), cloritización incipientes.

Anexo

Fotomicrografía/s

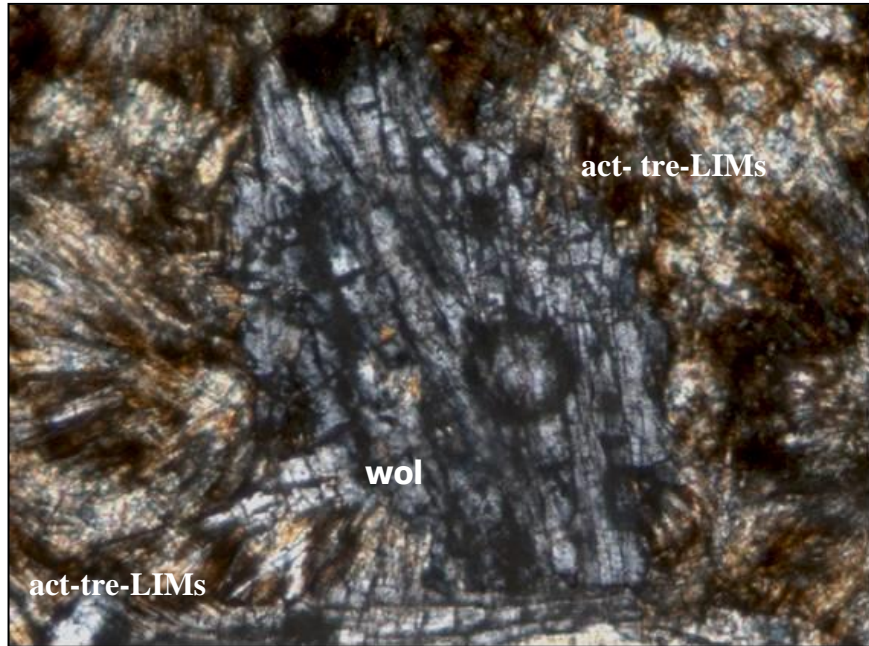


FIGURA 11: Rubi Sur Echadero Nv 120 E, Se observan cristales de wollastonita (wol) y de actinolita – tremolita parcialmente alterados por limonitas (act-tre-LIMs) con formas tabulares y dispuestos radialmente.

### Estudio Minerográfico

#### Descripción Microscópica

La ganga ocupa casi la totalidad de la muestra observándose moldes tabulares dispuestos radialmente. Presenta impregnaciones de limonitas.

Cristales diseminados de especularita con formas tabulares, aciculares y tamaños menores de 0,09 mm. se encuentran diseminados en la muestra.

Se observan cristales de arsenopirita con formas euhedrales y subhedrales y tamaños que varían de 0,005 mm. a 0,15 mm. diseminados en la ganga. Presenta porosidades rellenas por galena.

Está incipientemente reemplazada por galena.

Se hallan cristales de esfalerita con formas euhedrales a anhedrales diseminados en la ganga y como inclusiones en galena.

Se presenta calcopirita en intersticios de la ganga.

Ocurre galena en intersticios de moldes radiales y reemplazando a la ganga, rellenando porosidades de arsenopirita y en microvenilla que atraviesa a esfalerita a la cual reemplaza.

Porcentaje Aproximado

- Arsenopirita, Esfalerita, Especularita, Calcopirita, Galena, Limonitas Trz
- Ganga 99 %

Secuencia de Formación Probable

Especularita: Arsenopirita, Esfalerita, Calcopirita, Galena, Limonitas

Textura: Diseminado, de relleno (incipiente), reemplazamiento (incipiente).

Anexos: Fotomicrografía/s

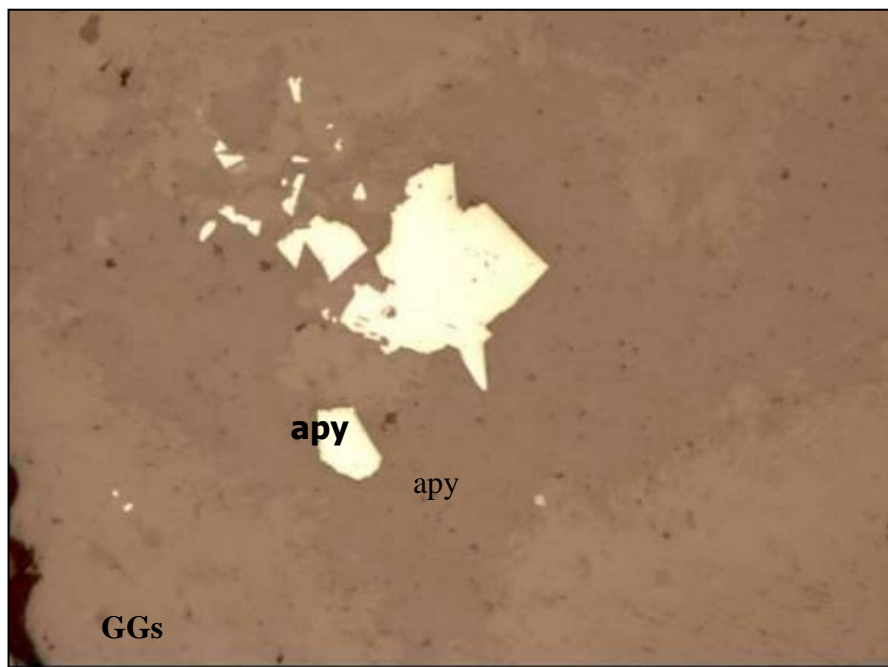


FIGURA 12: Rubí Sur Echadero Nv 120 E, Cristales subhedrales de arsenopirita (apy) se encuentran diseminados y en intersticios de la ganga (GGs)

### 3.3 ESTIMACIÓN DE ORIENTACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES

#### 3.3.1 Tectónica De Placas

La tectónica de placas, muestra que se está en una zona de convergencia altamente compresiva. Esta condición se observa por el ángulo de subducción que se presenta entre la placa de Nazca y Continental Sudamericana.

La figura muestra los vectores de deslizamiento entre placas correspondiente a la zona de Perú.

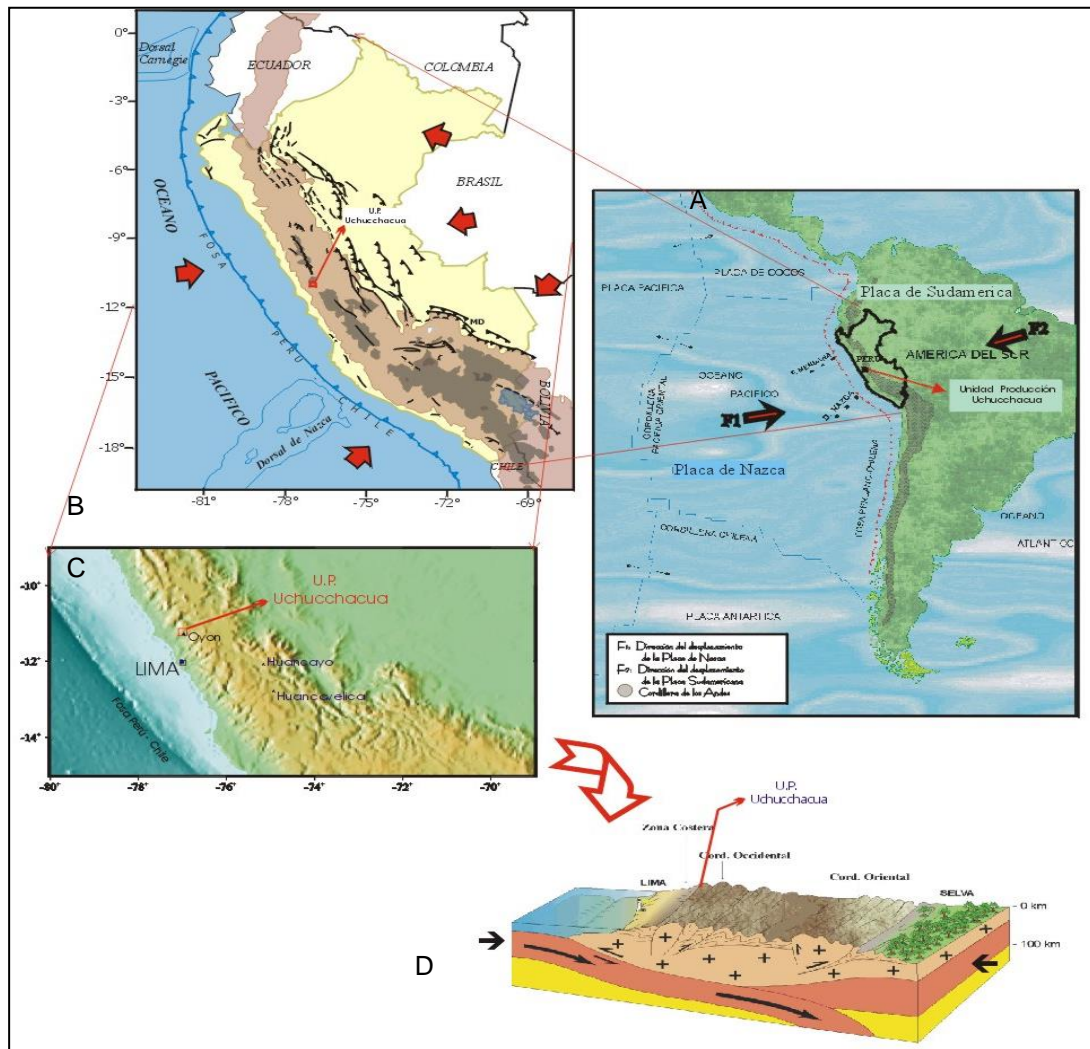


FIGURA 13: A) Convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, la flecha indica la dirección de movimiento. B) Principales elementos tectónicos en el Perú. C) Geometría en 3D de la cordillera Andina en la región central del Perú D) Esquema en 3D que muestra la convergencia de las placas en la región central del Perú y la deformación de la cordillera Andina.

### 3.3.2 Geología Estructural Regional

Se pudo observar que la región en la cual se encuentra emplazado el yacimiento, presenta sinclinales y anticlinales con orientación preferencial NW de su eje principal. A su vez, se pudo observar la presencia de fallas inversas de bajo ángulo. Una de las condiciones de una zona de altos esfuerzos compresivos es la presencia de este tipo de estructuras geológicas.

### 3.3.3 Daño y Lajamiento

Las galerías con cierta orientación, presentaban lajamientos y daños propios de labores con presencia de altos esfuerzos. Lo mismo es referido a zonas de explotación con similares orientaciones.



FIGURA 14: La figura muestra el tipo de lajamiento típico que se produce cuando hay presencia de altos esfuerzos y buena calidad de roca.

### 3.3.4 Resultados

Los antecedentes de tectónica de placas, geología estructural y tipo de daño producido en galerías y zonas de explotación, hacen estimar los esfuerzos principales. Bajo esta premisa de orientación y considerando niveles altos de esfuerzos, la deformación natural que debiera esperarse, donde se muestra el daño esperado en forma de lajamiento en la parte superior de la geometría de la excavación y más orientada a su lado superior derecho, como también en la parte inferior



izquierda. En este supuesto, se debería generar una elipse de deformación cuyo eje mayor debiera ser en la dirección de  $\sigma_3$  mientras que el menor debiera estar orientado en la dirección de  $\sigma_1$ .

En resumen, el modelo de esfuerzo según estas observaciones del terreno, supone la siguiente condición de orientación:

- Esfuerzo Principal Mayor ( $\sigma_1$ ): N-60-E (+/- 30°)/35 (+/-15°)
- Esfuerzo Principal Intermedio ( $\sigma_2$ ): N-30-W (+/- 30°)/45 (+/-15°)
- Esfuerzo Principal Menor ( $\sigma_3$ ): S-30-E (+/- 30°)/55 (+/-15°)

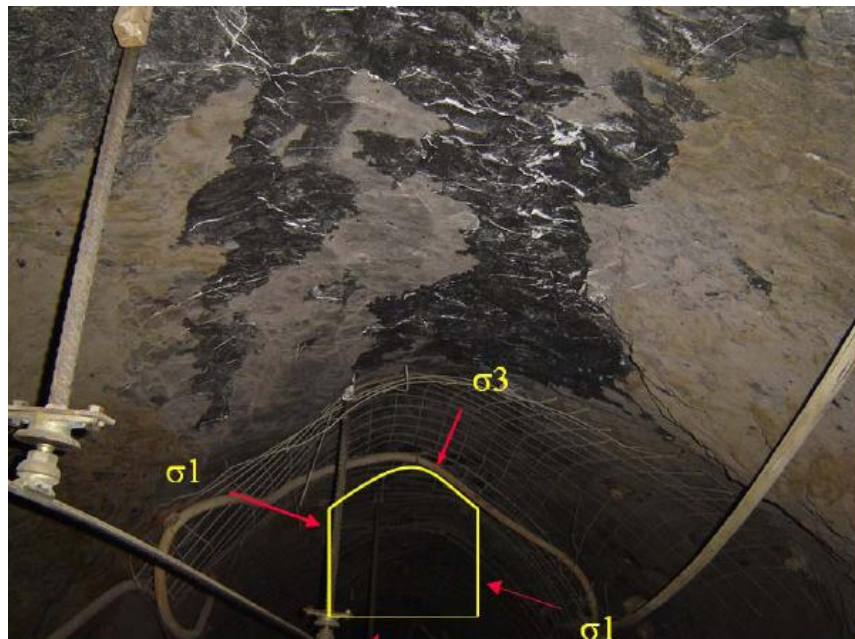


FIGURA 15: Dirección de los esfuerzos en el campo

Se debe indicar que el dato más significativo para una estimación de orientación de esfuerzos in situ e inducidos, es el tipo de daño que se presenta en las galerías a medida que se profundiza la mina. Por esto, si bien es cierto, el tipo de daño antes descrito (techos y lado superior derecho de éstas, según la orientación de una galería N-30-W, que fue el daño recurrente encontrado) obedecería a este modelo, no obstante ello, se sabe que otro tipo de daño se encontró en galerías con influencias en los hastiales. Este tipo de daño fue cubierto por el schotcrete, por lo que no pudo ser apreciado en la visita realizada a la mina; sin embargo, esto debiera indicar una condición con esfuerzo principal mayor más subvertical que el anterior descrito.

## CAPITULO IV: ESTALLIDOS DE ROCA

Las excavaciones a grandes profundidades y la re-distribución de esfuerzos pueden causar la aparición de grietas o rajaduras y también el movimiento de la roca a lo largo de las fracturas ya existentes. Este proceso se ve acompañado por la generación sismos (Que pueden ser fuertes o leves) ocasionada por la explotación minera.

El estallido de rocas ocurre cuando un macizo rocoso con características rígidas (duro y compacto) es sometido a altas presiones, que al no poder deformarse lo suficiente, comienza paulatinamente a almacenar energía de deformación. Este continuo almacenamiento de energía llega a un punto crítico donde se produce una liberación violenta de energía, originando el estallido de rocas.

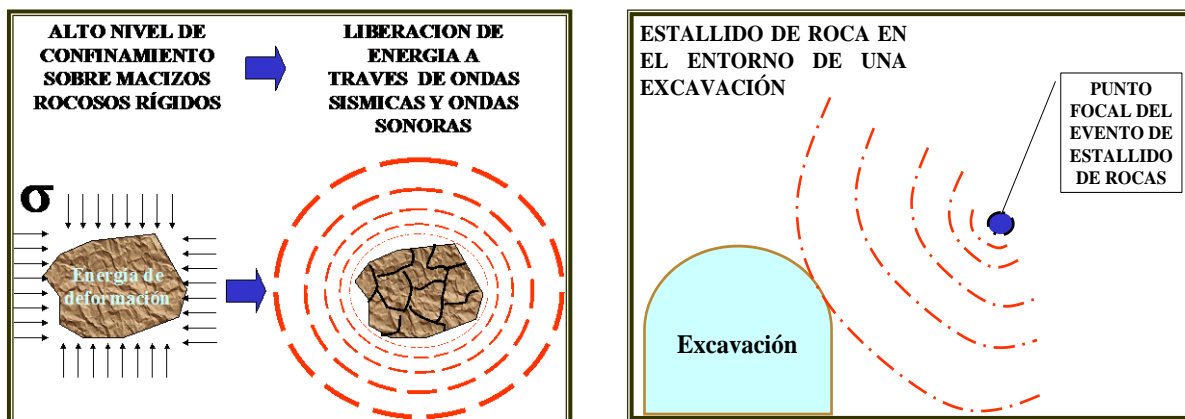


FIGURA 16: Secuencia de un estallido de Roca

El estallido de roca es un evento súbito, violento y descontrolado de liberación de la energía de la roca. Produciendo desprendimiento de roca desde 1 Kg.

Los Estallidos de Roca pueden ser eventos sísmicos pequeños micro-sismos hasta sismos (temblores) en superficie que ocasionarían el colapso de todo un sector de la mina.



FIGURA 17: Definición de estallidos de Roca Según Cook.

Si bien es cierto, no se tiene ninguna medida de la cuantificación del estado tensional que domina la región donde se emplaza el yacimiento, lo cierto es que se aprecian indicios de altos esfuerzos, esto mediante el daño visual que muestran las galerías con roca expuesta, la presencia contemporánea y naciente de los fenómenos denominados “explosiones de rocas”, y una geología estructural que plasma, como últimos eventos geológicos, una condición altamente compresiva.

#### 4.1 EL MEDIO GEOLÓGICO

En primer lugar nos referiremos al macizo rocoso. Generalmente están asociados con la ocurrencia de estallidos, rocas que cualitativamente son descritas como duras, fuertes y frágiles.

Es importante considerar la influencia de los principales rasgos estructurales y pliegues ya que ellas causan anomalías en los esfuerzos. Entre los rasgos principales mayores tenemos los siguientes: La presencia de los planos de estratificación, que han sido tectónicamente disturbados, la presencia de plegamientos y el desarrollo de las excavaciones mineras en sistemas de plegamientos principales (los flancos del Anticlinal Cachipampa Rumbo NW-SE) todos estos factores crean zonas muy susceptibles a la ocurrencia de los estallidos de rocas.

La presencia de fallas, las cuales constituyen debilidades en la estructura de la mina, favorece a la ocurrencia de estallidos en sus proximidades. Debido a que estas discontinuidades estructurales generalmente tienen baja resistencia al corte, los altos esfuerzos inducidos por el minado están produciendo la falla por deslizamiento, reactivándola. Este fenómeno es un evento sísmico que puede traducirse en un estallido de roca y estos estallidos por lo general son los que causan los mayores daños y pérdidas.

#### 4.2 EL CAMPO DE ESFUERZOS ORIGINAL

Para la estimación de los esfuerzos in-situ existe una variedad de técnicas, cuyos detalles escapan al alcance de este artículo. Para el caso de la Mina Uchucchacua se está evaluando la posibilidad de utilizar la técnica de sobre perforado (Overcoring), utilizando una celda triaxial desarrollada por CSIRO (procedencia australiana), denominada Hollow Inclusion (HI)

Mientras se decida la utilización de la técnica arriba señalada, se ha venido realizando estimaciones del patrón de los esfuerzos utilizando por un lado la técnica del triángulo equilátero, midiendo las deformaciones con el equipo extensómetro de cinta. Esta es una técnica indirecta que originalmente mide las deformaciones, para luego ser trasladada a esfuerzos, previo conocimiento

de las propiedades elásticas de la roca. Por otro lado, la estimación de los esfuerzos también viene realizándose mediante la técnica del análisis retrospectivo o retroanálisis (back análisis) de problemas de altos esfuerzos registrados en las excavaciones asociadas al minado. En la Figura 18, se presenta el resultado de un modelamiento numérico realizado como parte de un back análisis.

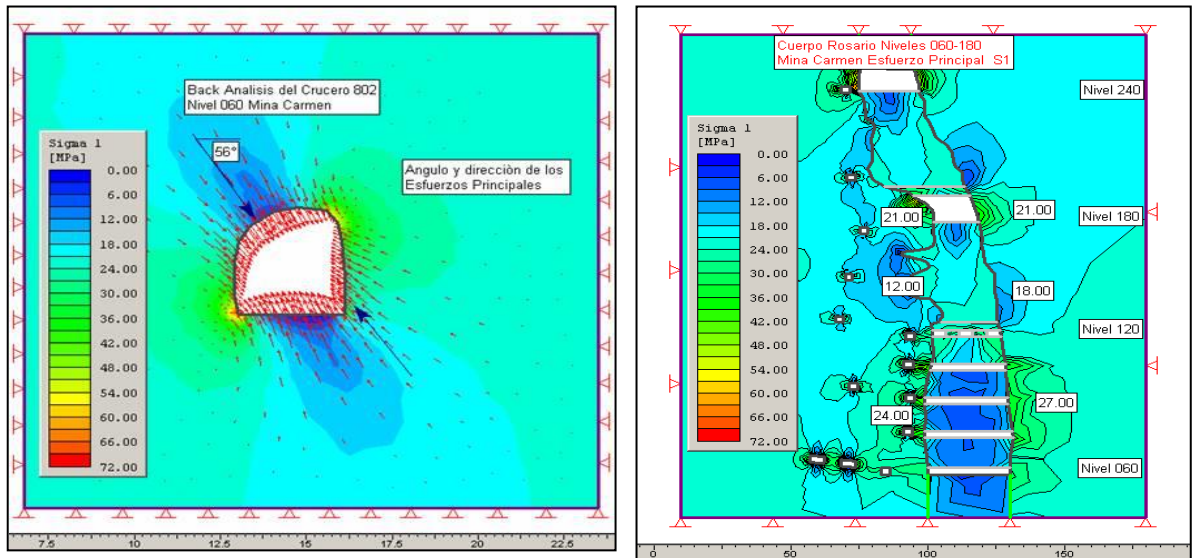


FIGURA 18: Moldeamiento Numérico del Tajo 256 Rosario, Podemos observar la dirección de lo esfuerzos Principales

#### 4.3 ASPECTOS DEL RELLENO EN RELACIÓN AL PROBLEMA DE ESTALLIDOS DE ROCAS

Es conocido que el relleno es considerado como una importante estrategia de sostenimiento para aliviar los problemas de estallidos de rocas en minas donde tienen este problema.

El relleno contribuye al sostenimiento tanto regional como local. Desde el punto de vista regional el relleno cumple las siguientes funciones:

Limita la cantidad de deformación elástica de la masa rocosa afectada por el minado.

Reduce la ocurrencia de eventos sísmicos y en consecuencia los estallidos de rocas, reduciendo la liberación de energía y la magnitud del esfuerzo de corte en los planos de las estructuras geológicas.

Reduce los esfuerzos actuantes sobre los pilares estabilizantes.

Incrementa el porcentaje de extracción del mineral, permitiendo un mayor espaciamiento de los pilares.

El comportamiento del relleno como sostenimiento regional es largamente gobernado por su porosidad, cuanto más baja sea la porosidad el relleno será de mejor calidad, contrariamente cuanto más alta sea su porosidad el relleno será de mala calidad.

Desde el punto de vista local, el relleno cumple la función de sostenimiento local. Los rellenos pueden ser no cementados o con cemento. Los primeros, tienen baja porosidad, y pueden ser seleccionados en situaciones en las cuales el rango de deformaciones de la masa rocosa es de alta a moderada, particularmente para tajeos relativamente pequeños. En este caso el relleno cementado podría ser dañado.

El relleno cementado, que tiene menor porosidad, es seleccionado para tajeos de mayores dimensiones, en los cuales el rango de deformaciones es alta, o cuando se requiere una alta rigidez inicial. También es seleccionado cuando se requiere que el relleno cumpla funciones específicas como mantener paredes o techos estables.

El minado de los cuerpos mineralizados principales de Mina Chacua, en particular de Mina Carmen, genera excavaciones de tamaños relativamente grandes en área. Considerando este hecho y el medio ambiente de sobreesfuerzos, se podría considerar el uso de un relleno cementado, siempre y cuando el rango de deformaciones de las excavaciones fuera bajo. Una manera de chequear este rango de deformaciones sería a través de mediciones de convergencias, utilizando el extensómetro de cinta que se tiene disponible en el Departamento de Geomecánica. Si los resultados indicaran un rango de deformaciones  $< 0.3 \text{ \%/día}$ , habría que hacer una evaluación de detalle de la posibilidad de introducir relleno cementado en los tajeos.

Hay una serie de aspectos que tratar en relación a la evaluación del relleno cementado, oportunamente se hará un programa de investigaciones de los diferentes tipos de relleno cementado que podría utilizarse en Mina Uchucchacua. Quizás lo más sencillo podría ser la conversión del relleno hidráulico actual a un relleno hidráulico cementado. Para ello hay que investigar las propiedades físicas y químicas de los materiales de relaves y las propiedades de

resistencia de las diferentes mezclas relave/cemento. De acuerdo a los resultados de estas investigaciones se realizaría el diseño de planta, para ver las modificaciones que se tendrían que introducir al sistema actual de relleno hidráulico.

#### 4.4 LOS FACTORES POSTERIORES AL MINADO

Los esfuerzos inducidos por el minado (sismicidad inducida)



FIGURA 19: Gráfico de los factores que influyen para que se genere la sismicidad inducida

En las zonas de altas concentraciones de esfuerzos inducidos por el minado (Mina Carmen), vienen ocurriendo una serie de mecanismos complejos, entre los cuales el almacenamiento de la energía de deformación, lo cual constituye una fuente de energía sísmica que genera un estallido de roca.

Algunos de los aspectos que contribuyen a generar zonas de alta concentración de esfuerzos son:

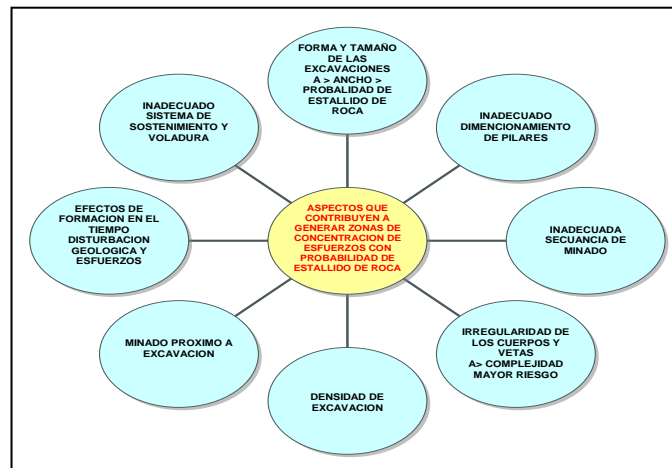


FIGURA 20: Aspectos que generan zonas de alta concentración de esfuerzos

## **CAPITULO V: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RED DE MONITOREO**

### **MICROSISMICO ESG**

#### **5.1 OBJETIVOS**

El sistema de monitoreo sísmico está orientado principalmente hacia la identificación, la localización y la divulgación de la microsismicidad. En la mina Carmen el evento de mayor magnitud que se presentó desde que tenemos la red de monitoreo microsísmico fue de 1.4 Mw (Magnitud momento) y liberó una energía que deformó la roca en un radio de 120 metros. Esto nos provee a los ingenieros geomecánicos una cantidad de información considerable que nos asiste en una variedad de análisis, interpretaciones y modelos de sostenimiento de la mina.

El personal de la mina tiene acceso a la información proporcionada por el sistema de monitoreo microsísmico (mina Carmen); mediante reportes diarios en los repartos de guardia. Provee a los ingenieros el acceso conveniente a los resultados de supervisión microsísmica si es crítico para una reacción pronta a lo largo del proceso y toma de decisión oportuna.

Los sensores (geófonos) están desarrollados específicamente para la instalación en minas subterráneas. Estos sensores son recuperables, para futuras zonas de monitoreo sísmico según se requiera, y permiten la instalación en perforaciones pequeñas (diámetro 32mm) que se pueden perforar rápidamente, con el equipo de la mina, virtualmente a cualquier ángulo de inclinación, como conviene.

Tenemos una red de monitoreo microsísmico en la mina Carmen; ampliando la red de monitoreo microsísmico a las minas Socorro y Casualidad; reforzaríamos el monitoreo en la unidad Uchucchacua



El sistema de supervisión Microsísmico se compone del siguiente:

Arsenal del sensor, Cables del sensor, Registradores, Comunicación de datos, PC De la Adquisición Proceso, visualización y PC de la divulgación

## 5.2 ARSENAL DEL SENSOR (GEÓFONOS)

Para la supervisión sísmica de las regiones del estudio en la mina de Uchucchacua proponemos un arsenal integrado por 24 *geófonos uniaxiales* omnidireccionales de 15 hertzios (G1-15). El arsenal será instalado en tres de los niveles de la mina 60, 120, y 180, respectivamente, para proporcionar cobertura realzada de la profundidad y asegurar exactitud confiable de la localización en la profundidad.

Los sensores uniaxiales proporcionarán un número más grande de las localizaciones de la grabación con respecto a los sensores triaxiales o una combinación de sensores uniaxial y triaxial, conduciendo a la exactitud y a la sensibilidad creciente de la localización del acontecimiento para el mismo número de canales. Puesto que el coste de cualquier sistema sísmico depende del número de canales, el diseño conceptual antedicho de la configuración es el más rentable para la identificación y la localización de la sismicidad de la mina. Además, este diseño reducirá al mínimo el impacto del trabajo subterráneo debido de los cortes del cable. De hecho, en la caja de sensores uniaxial una falta del cable conducirá solamente a la pérdida de un canal, en vez de tres para los triaxiales. Esto contribuirá a una confiabilidad más alta del sistema de supervisión sísmico total.

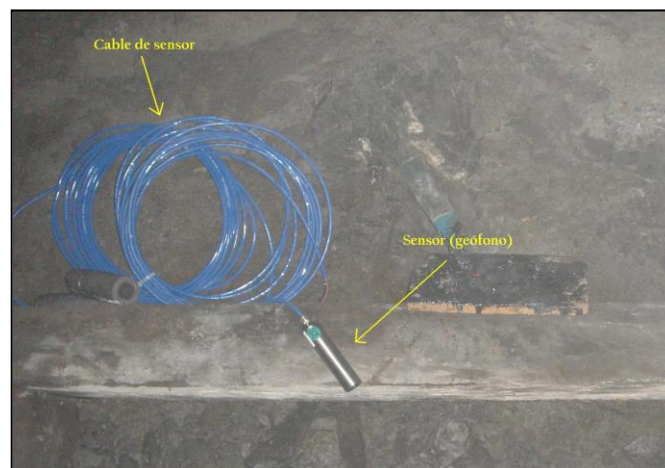


FIGURA 21: Muestra los geófonos y el cable de sensor

El Geófono omnidireccional uniaxial G1-15 de ESG tiene una anchura de banda de la frecuencia de 6 a 1200 hertzios. Sin importar la frecuencia de muestreo, los filtros del contra-alias son necesarios para quitar el ruido electrónico interno. Esto limitará la anchura de banda real de la frecuencia al  $\frac{1}{4}$  de la frecuencia de muestreo. Como tal, la anchura de banda de la frecuencia seguirá siendo dentro de lo especificado del sensor si la frecuencia de muestreo sobre los 5 kHz.

Los acontecimientos sísmicos de la magnitud -1 tienen una frecuencia característica de cerca de 400 hertzios, mientras que los acontecimientos de la magnitud -2 cerca de 800 hertzios. La identificación confiable de la frecuencia de la esquina requiere un límite de la frecuencia de la grabación igual por lo menos dos veces a la frecuencia de la esquina. Así, se espera que la adquisición de datos antedicha permita la identificación de acontecimientos sísmicos con magnitud tan bajo como aproximadamente -1.5. Para asegurar este nivel de la sensibilidad, sin embargo, distancia del inter-sensor necesita ser mantenido generalmente en la gama de 100 - 150 m.

Observar que la respuesta de frecuencia de estos geófonos permitirá la grabación de acontecimientos con magnitud hasta cerca de 3. Incluso si los geófonos más cercanos a un acontecimiento sísmico grande se acortan, éste no afectará la localización del acontecimiento, que podrá ser proporcionada confiablemente.

El geófono 15-Hz omnidireccional uniaxial G1-15 tiene un diámetro de 1 pulgada o de 25 milímetros, que requiere un diámetro de la perforación de 32 milímetros para la instalación, que se puede perforar con el equipo portable. Estos sensores pueden ser instalados a cualquier ángulo de la inclinación. Por otra parte, cada sensor está instalado en un perno de acero, la única parte que será rellenada dentro de la perforación. Este tipo de instalación es no solamente muy fácil, sino que también permite una recuperación fácil del sensor para el cambio de frente futuro, según lo necesitado.

### 5.3 CABLES DEL SENSOR

Cualquier sensor de ESG viene con un cable de 10 m. Para conectar estos sensores con un registrador sísmico, los cables del sensor necesitan ser instalados. Recomendamos 20 cables de cobre del tipo *twisted pair* del AWG con blindaje el alambre y la hoja protectora. Sólo un cable del par es necesario para cada geófono, pero los multi-pares se pueden utilizar para hacer funcionar varios geófonos sobre una longitud específica. Para el tipo de sensores propuesto aquí, generalmente se recomienda, para mantener longitudes de cable del sensor aproximadamente menos que 600 m para funcionamientos más largos, 18 cables de cobre del *twisted pair* del AWG proporcionará pérdidas más bajas.

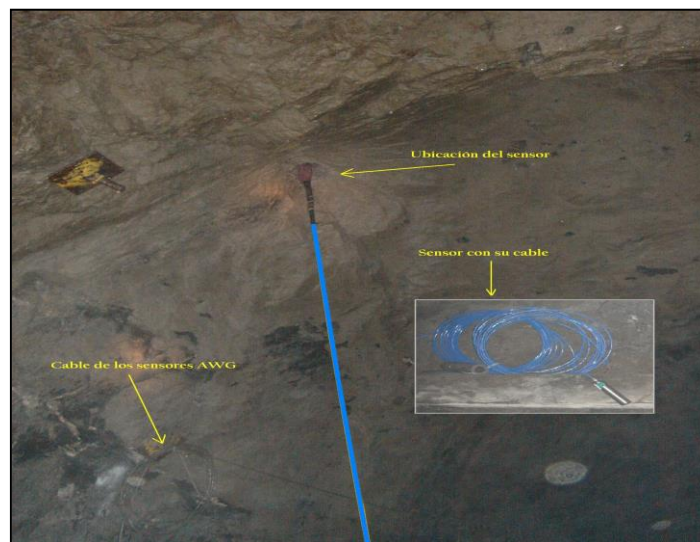


FIGURA 22: Muestra el cable de sensor y su forma de colocar

### 5.4 REGISTRADORES

El registrador de gran alcance de Paladin de ESG se recomienda para este trabajo. Paladin es ofrecido convenientemente en 3 y las configuraciones 6-channel y ofrece una resolución 24-bit con la gama dinámica eficaz del DB 115 en las frecuencias de muestreo de hasta 10 kilociclos. Cuatro registradores se requieren, cada uno en una confirmación 6-channel, para la adquisición del arsenal sísmico 24-channel. Paladin es una tela que permite el dispositivo y utiliza la comunicación de datos de Ethernet (TCP/IP). Cada registrador es identificado por una dirección IP única y los

parámetros de la adquisición se pueden configurar fácilmente usando cualquier browser del Internet. Paladin permite operación continua y simultánea accionada.

La grabación continua es esencial para comprobar los acontecimientos divulgados por el personal subterráneo que pudo no haber accionado el sistema, tampoco porque pocos sensores fueron golpeados que el número mínimo de los sensores requeridos para hacer el acontecimiento identificar automáticamente, o debido a la presencia de niveles de ruidos crecientes en algunos sensores como resultado de actividades relacionadas al minado, tales como perforar, etc. Digno de la observación, este modo de operación no se puede proporcionar por la competición, que emplea una diversa tecnología teniendo en cuenta la operación solamente accionado o del acontecimiento del modo.

Los registradores son sincronizados por una fuente del tiempo situada en la PC de la adquisición, que transmite un pulso por segundo a cada registrador, el tiempo que consigue estampado sobre cada paquete de los datos. Cuando la comunicación de datos del Paladin a la PC de la adquisición se interrumpe temporalmente, Paladin obtendrá y almacenará individualmente datos del acontecimiento hasta que se restablezca la comunicación, después de lo cual los datos serán transferidos e insertados en el tiempo correspondiente exacto. Cada Paladin contiene una UPS, que permitirá la operación inconsútil en caso de que ocurran apagones cortos.



FIGURA 23: Muestra de los Registradores (Paladin)

Según lo demostrado en los cuadros 1 a 3, Paladins (p) será instalado en los niveles de 60 y 180 m, dos en cada nivel, y registrará las formas de onda sísmicas de los sensores (s) como sigue:

P1 (180 m level): S1, S2, S3, S4, S5, S6 (180 m level)

P2 (180 m level): S7, S8, S9 (180 m level), S13, S14, S15 (120 m level)

P3 (60 m level): S10, S11, S12 (120 m level), S16, S17, S18 (60 m level)

P4 (60 m level): S19, S20, S21, S22, S23, S24 (60 m level)

Los cables del sensor del nivel de 120 m serán traídos para arriba con el aumento 907SE, sobre el nivel de 180 m, para los sensores hacia el sur del área del estudio (S13, S14, S15), y abajo con el aumento 799-1 para los sensores hacia el norte del área del estudio (S10, S11, S12). La configuración antedicha del sensor permitirá para una supervisión algo homogénea de un volumen de la mina de 500 m (al norte) x 800 m (al este) x 120 m (profundidad) que cubren las dos regiones del interés representadas sobre los planes de la mina.

## 5.5 COMUNICACIÓN DE DATOS

Para transmitir todos los datos continuamente registrados, una alta tarifa de la transmisión de datos se requiere de Paladin a la PC de la adquisición, y de aquí a la PC de proceso en superficie. Esto se puede alcanzar usando los módems del DSL. El cable de teléfono torcido AWG del campo común 24 sin blindar es clasificado para por lo menos 1.2 kilómetros en 10 Mbps. En el muestreo de 5 kilociclos, sin embargo, un índice de la transmisión de 5 Mbps es suficiente, que permitirán longitud de cable creciente de la comunicación de datos. Una disposición para un relais del DSL se ha incluido en la oferta, y será empleada si es necesaria. Es importante señalar que la presencia de cualquier blindaje aumentará la pérdida de la impedancia y de la señal del cable, reduciendo el grado de la distancia.

Se espera que en los años que vengan, esta comunicación del cable del DSL a la superficie sea substituida por mine LAN (100 Mbps), pues una anchura de banda más grande será requerida para la instrumentación que supervisa también otras actividades asistidas por computadora.

## 5.6 PC DE LA ADQUISICIÓN

La adquisición de datos se realiza sobre una PC que funciona con WindowsXP, es subterráneo y localizado. Esto se requiere para asegurar funcionamiento y la confiabilidad crecientes para el sistema entero en caso de que de la falta de comunicación de datos ocurra. Así, la PC subterránea de la adquisición proporciona un almacenador intermediario de los datos, hasta que se restablezca la comunicación. La PC será montada en un estante, con una UPS para la operación continua en caso de que ocurran los apagones cortos, y un perro guardián. El perro guardián supervisa el software que funciona en la PC y lo reanuda automáticamente en caso de que la adquisición haya parado, una cárcel del software ha ocurrido, etc. La adquisición de datos es hecha por HNAS o el software de la adquisición de la red de Hyperion, que también se utilizan para accionar del acontecimiento. La lógica del disparador incluye límites de alarma preestablecidos del canal así como niveles de STA/LTA.

## 5.7 PROCESO, VISUALIZACIÓN Y PC DE LA DIVULGACIÓN

La PC de la superficie proporcionará la informática, visualización, divulgando, y archivando. Todo el software funciona debajo de WindowsXP Pro. Worth que observa, adquisición y el proceso de software es vendido por ESG a la mina, desemejante de la competición, que la licencia solamente sobre una base anual.

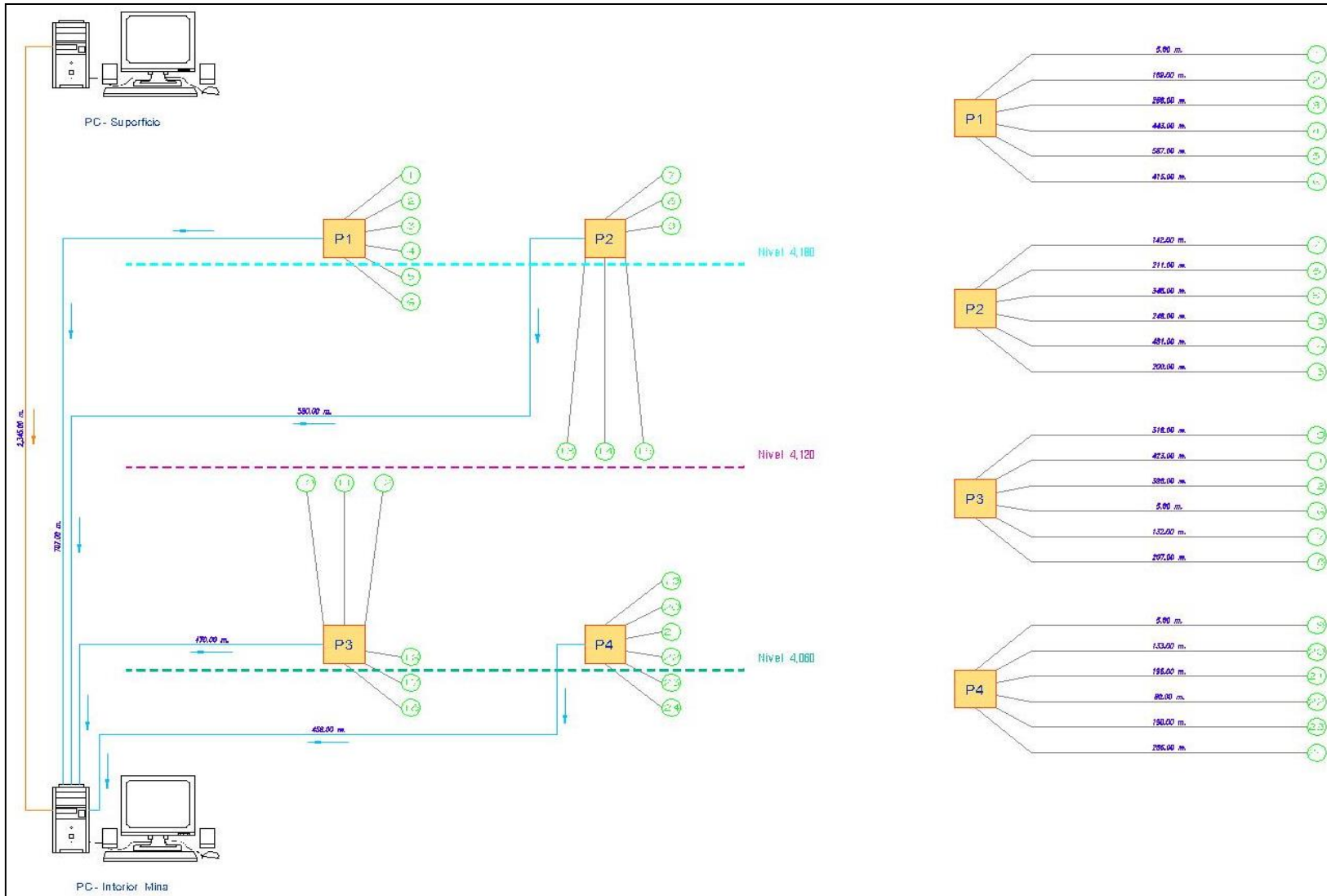


FIGURA 24: Diagrama Unifilar de Instalación



FIGURA 25: Computadora de Superficie y Computadora de Interior Mina respectivamente



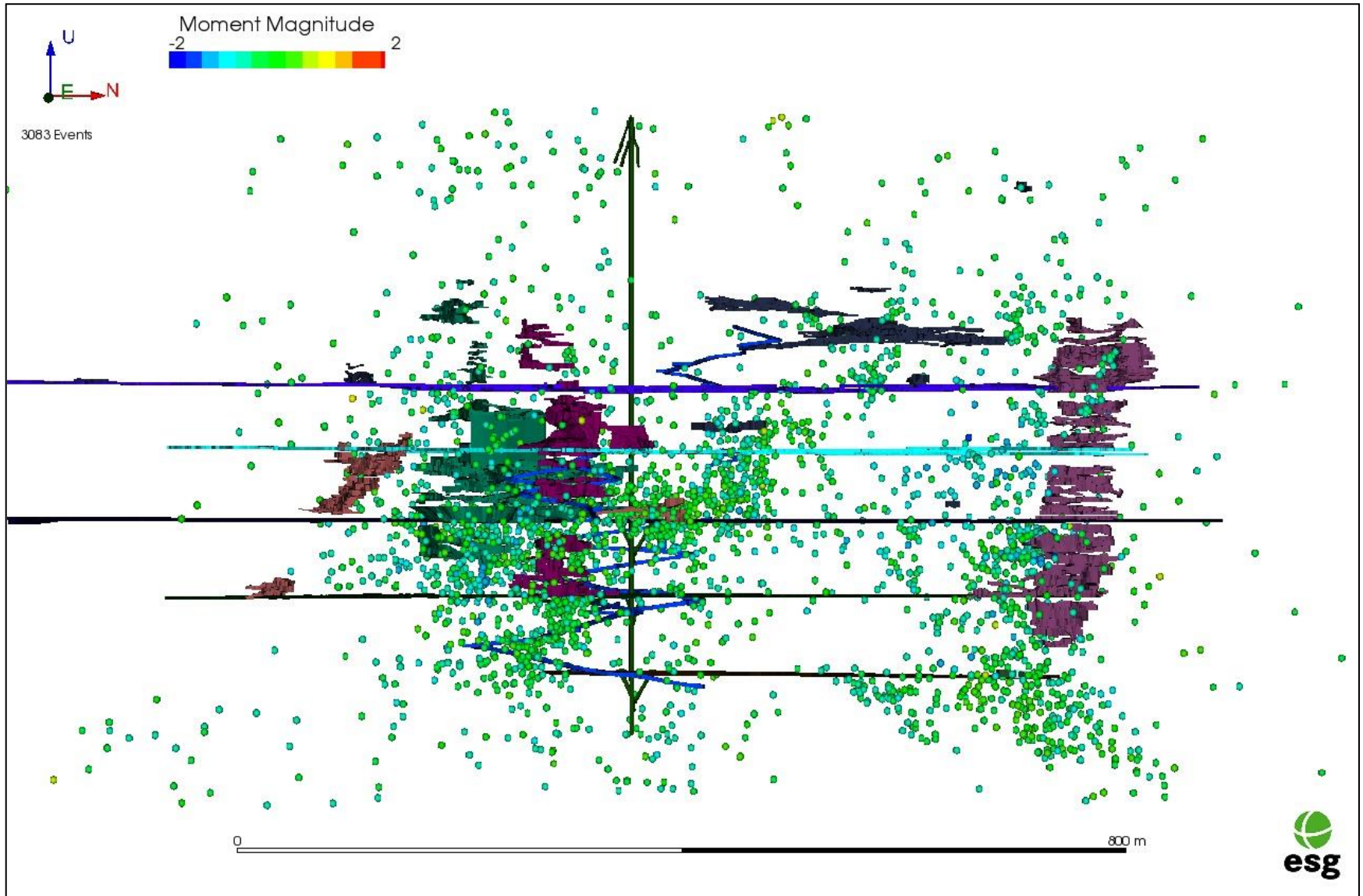


FIGURA 26: Muestra los 3083 eventos registrados del 2007 al 2008

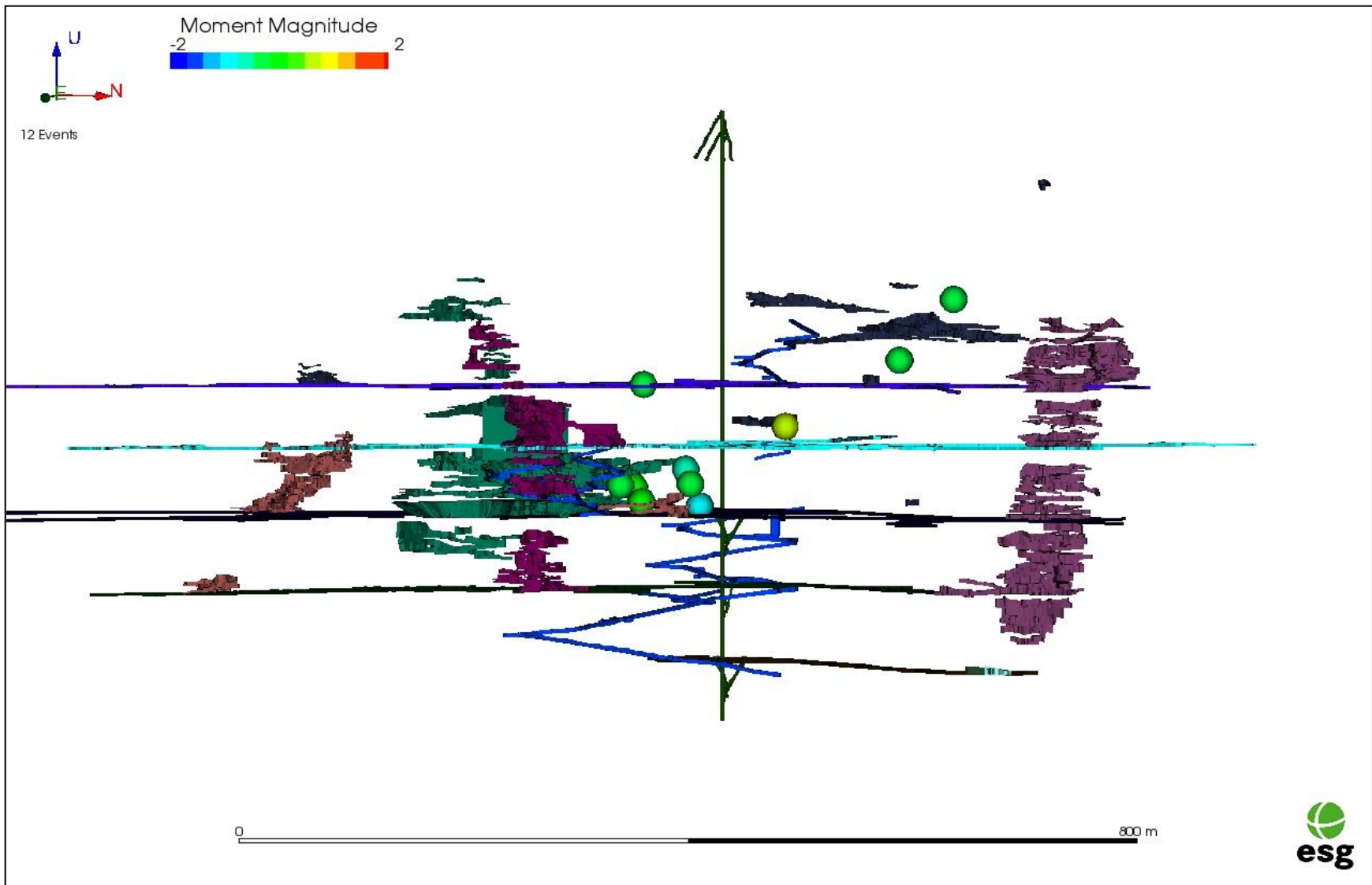


FIGURA 27: Vista en 3d de eventos de un día cualquiera (05/12/2008)

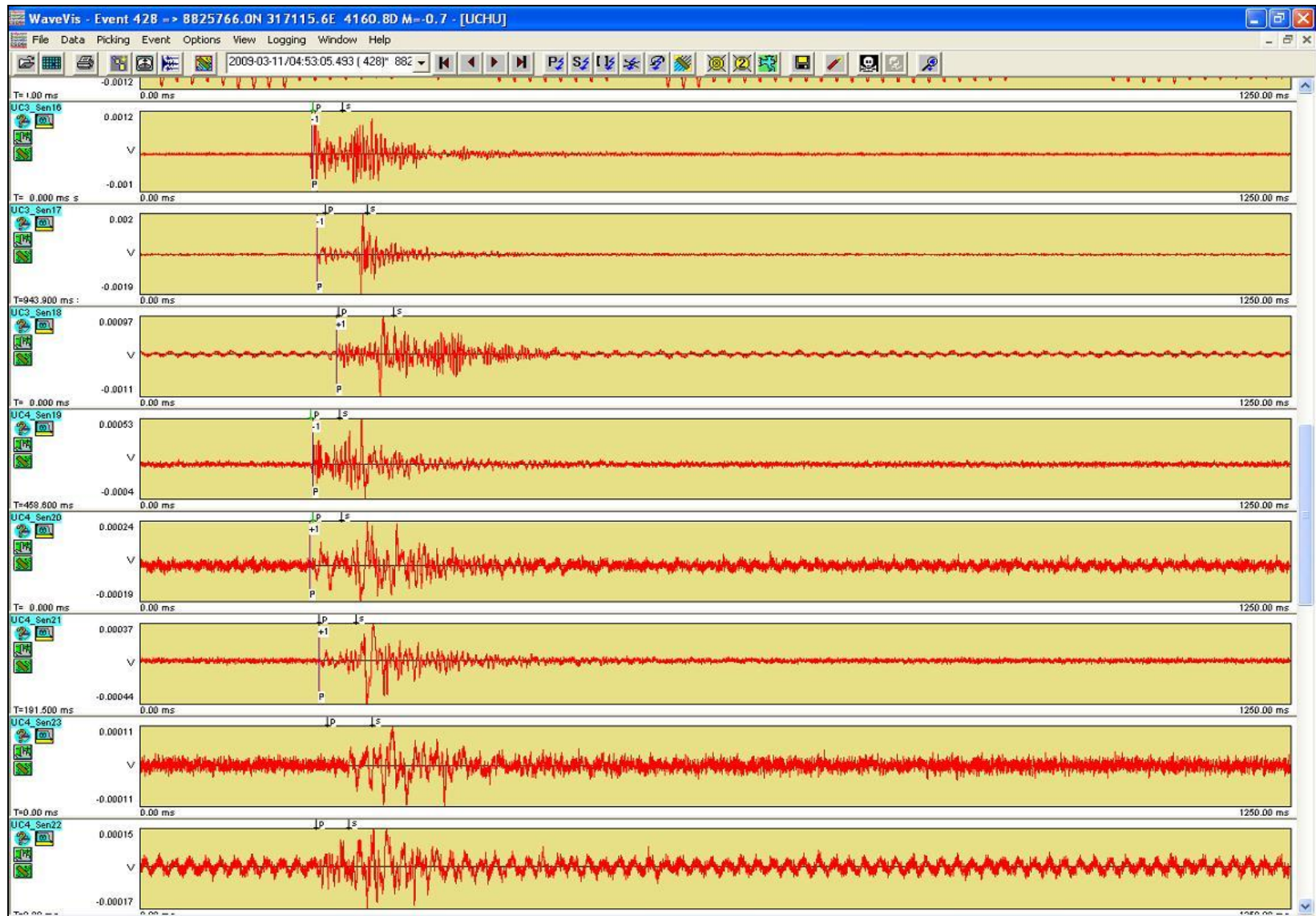


FIGURA 28: Sismograma Evento Sísmico

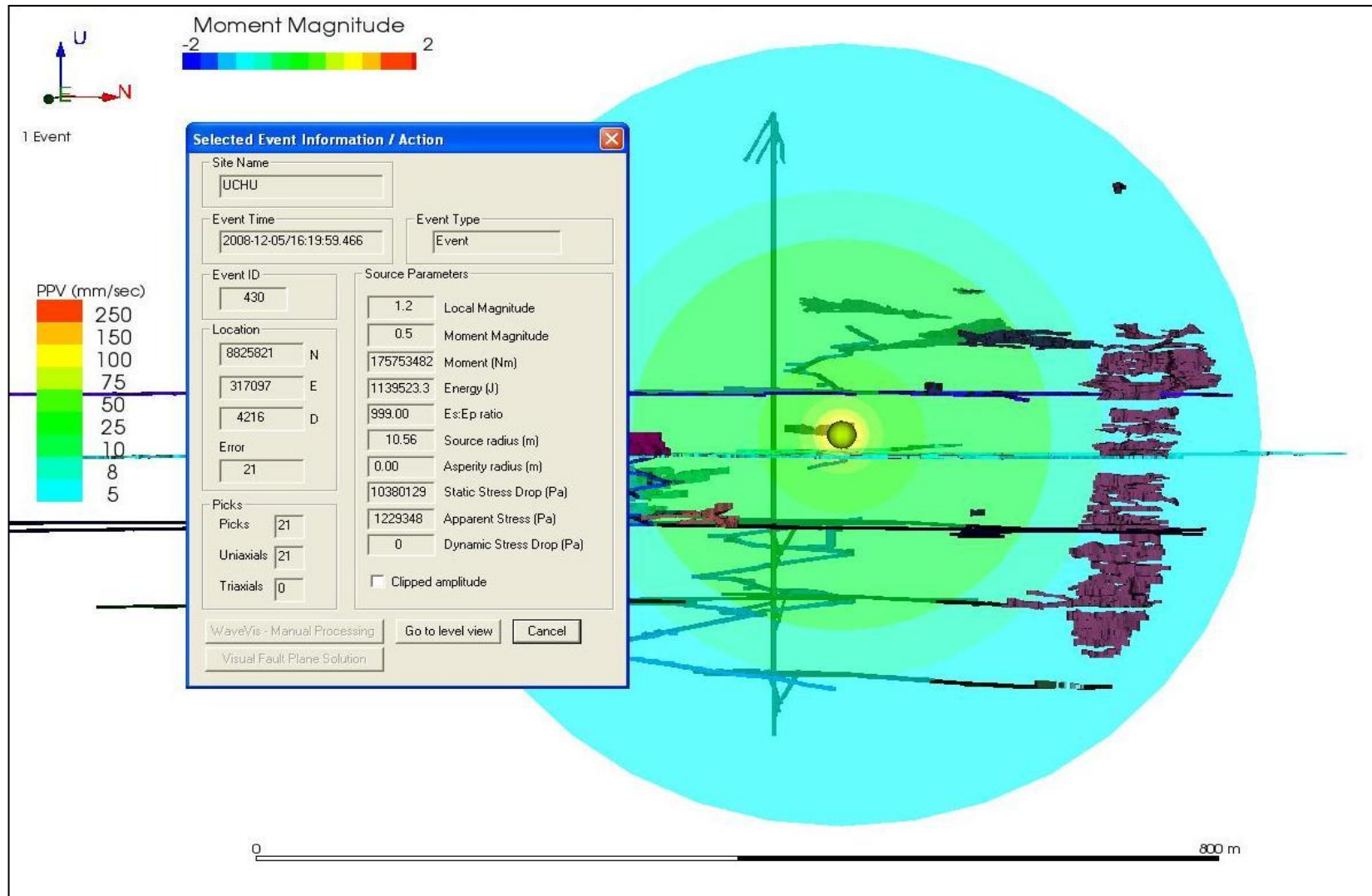


FIGURA 29: Cada Evento Registra Los Parámetros Sísmicos Y Su Ubicación

## CAPITULO VI: ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

### 6.1 VOLUMEN DE DEFORMACIÓN SÍSMICA

En un punto ubicado en el interior de la Tierra se va a producir un evento, la cantidad de energía que este libere dependerá del intervalo de tiempo transcurrido desde el último evento ocurrido en el mismo punto y de la capacidad de resistencia de las rocas a fracturarse. En ambos casos, la energía acumulada afectará un cierto volumen de material proporcional al tamaño del evento. El volumen afectado por la ruptura va a depender de la cantidad y de la profundidad a la cual se produce la liberación de la energía. Teóricamente, se asume que la energía acumulada afecta un volumen esférico que como ya se indicó, este sería proporcional a la cantidad de energía o tamaño del sismo. Este volumen puede ser estimado a partir de la relación establecida por Bath y Duda (1) (1968) a partir de las ondas corpóreas,

$$\text{Log } V = 9.58 + 1.47 * mb \text{ (cm}^3\text{)} \quad (1.1)$$

Pero como este cálculo de volumen nos pide magnitudes mb y en Uchucchacua se está trabajando con magnitudes ML y Mw se procedió a realizar la conversión de magnitud; O'Diana, Lazo y Rivera (8) (2005); con la siguiente formulación

$$Ms = 2.08 * mb - 5.74 \quad (1.2)$$

$$Mw = 2.25 + 0.655 * Ms \quad (1.3)$$

Conocido el volumen esférico de la masa afectada por el sismo, su radio puede ser fácilmente obtenido; Bath y Duda (1) (1968); a partir de

$$r^3 = 3/4 * V / 3.142 \quad (1.4)$$

Magnitudes		Volumen		Radio	
Mw	mb	Log V	V (cm <sup>3</sup> )	R <sup>3</sup>	R (m)
-2.0	-0.4	9.0	9.8E+08	2.3E+08	6
-1.5	0.0	9.6	3.8E+09	9.1E+08	10
-1.0	0.4	10.2	1.5E+10	3.5E+09	15
-0.5	0.7	10.6	4.1E+10	9.7E+09	21
0.0	1.1	11.2	1.6E+11	3.8E+10	33
0.5	1.5	11.8	6.1E+11	1.5E+11	53
1.0	1.8	12.2	1.7E+12	4.0E+11	74
1.5	2.2	12.8	6.5E+12	1.6E+12	116
2.0	2.6	13.4	2.5E+13	6.0E+12	182

TABLA 3: Conversión de magnitudes, cálculo del volumen y radio de deformación de la roca

Siendo r el radio del volumen esférico dado en metros. El radio de este volumen esférico proyectado en planta, permite definir un área circular que puede ser utilizada como un indicativo real del tamaño de los eventos a fin de ser comparados con otros de igual o diferente magnitud; (Bernal et al, 2001 y Bernal, 2002) (2). Así, para eventos con magnitudes de -0.5 y 1.5 Mw les correspondería volúmenes esféricos de deformación del orden de 4.1E+10 y 6.5E+12 cm<sup>3</sup>. Estos volúmenes esféricos presentan áreas circulares de radios igual a 21 y 116 metros respectivamente. Siguiendo este criterio se procedió a determinar las zonas de riesgo para los niveles 4060, 4120 y 4180 del interior mina y de los tajos que actualmente se encuentran en labores en los respectivos niveles.

En la Tabla 3 les presentamos una tabla de la conversión, y los datos del volumen y radio de deformación.

Teniendo ya los datos del volumen de deformación para cada una de las magnitudes, procedemos a delimitar las zonas de riesgo de acuerdo a la magnitud de un evento y si este llegara a afectar nuestra labor, para los diferentes niveles; antes mencionados; de la mina Carmen. Los colores nos indican los límites; con respecto a nuestra labor analizada; del epicentro del evento para que llegue a deformar la roca; para cada magnitud, tenemos así; los colores de las zonas de riesgo están de acuerdo a nuestra leyenda de magnitud momento (Mw). En el ejemplo número 1 podemos ver un evento de magnitud 0.3 Mw cuyo epicentro se encuentra dentro de la zona de riesgo de color azul (magnitudes de entre 0.4 a 0.0 Mw) y su área de deformación afecta una parte de nuestra labor.

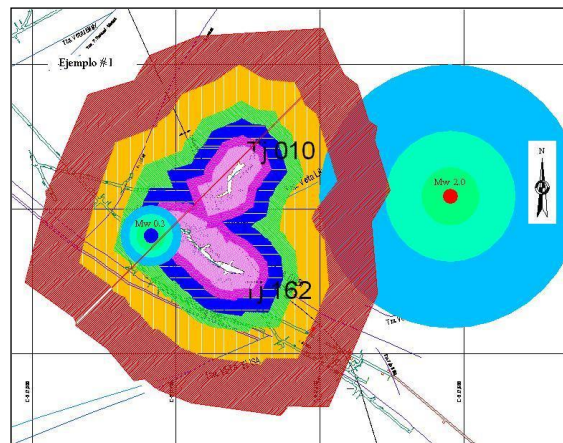


FIGURA 30: Plano para ejemplo Número 1

Caso contrario ocurre con el otro evento de magnitud 2.0 Mw (magnitud máxima esperada) cuyo epicentro se encuentra fuera de nuestra zona de riesgo, a pesar de ser un evento de alta magnitud su área de deformación no alcanza nuestra labor.

Para el ejemplo Número 2 observamos un evento de magnitud 1.8 Mw cuyo epicentro se encuentra dentro de nuestra zona de riesgo para magnitudes de 2.0 a 1.5 Mw y como vemos el área de deformación de la roca; de este evento; alcanza a toda nuestra labor.

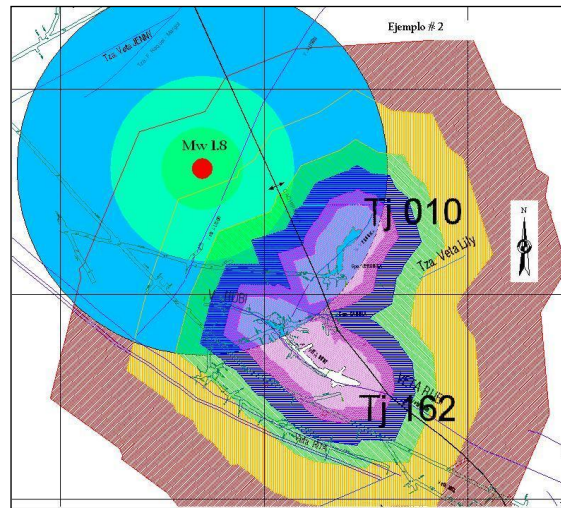


FIGURA 31: Plano para ejemplo Número 2

## 6.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LA MINA CARMEN EN EL AÑO 2008

### 6.2.1 Definición de Fuente Sismogénica

La fuente sismogénica es aquel lugar donde se producen los eventos sísmicos con mayor frecuencia.

### 6.2.2 Definición de Zona de riesgo

La zona de riesgo está conformada por todas aquellas labores que se encuentran cerca o dentro de la fuente sismogénica y que al ocurrir un evento sísmico, estas labores pueden o no resultar afectadas.

Generalmente en la Minería Subterránea, por ser los eventos inducidos por los trabajos de minería, las fuentes sismogénicas y las zonas de riesgo estas juntas. Pero también se evidencian fuentes sismogénicas y no tienen una zona de riesgo sísmico



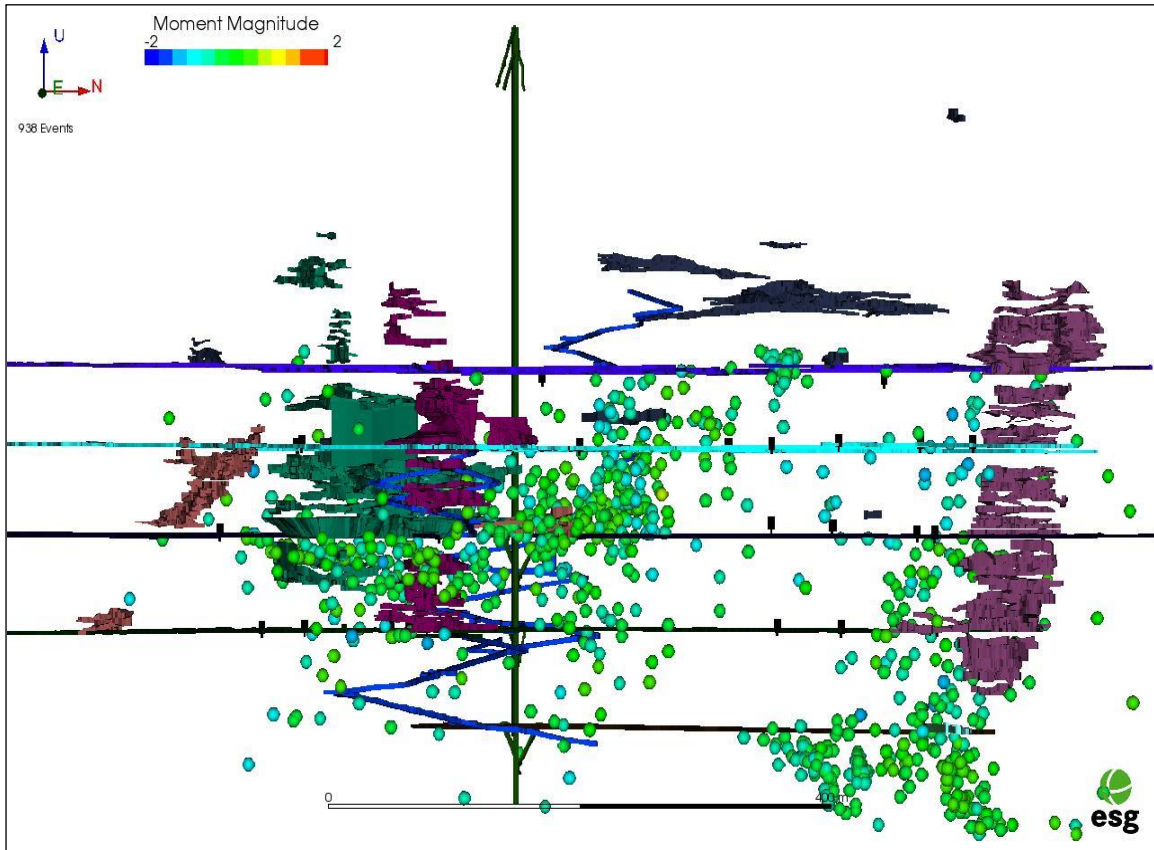


FIGURA 32: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008

En las figuras 33,34,35 y 36 se observa el comportamiento de los eventos en los últimos niveles de la Mina Carmen, agrupándose estos en tres zonas que las llamaremos las tres zonas de riesgo sísmico que comprenden: La primera zona de riesgo sísmico está ubicada en el Cuerpo Rosario y presenta eventos sísmicos en los tres últimos niveles. La segunda zona de riesgo sísmico está ubicada entre 2 fallas importantes, la falla Raquel-Margot y la falla Alison, esta zona de riesgo sísmico no presentó eventos sísmicos en el último nivel durante el año 2008, ya que aún no se estaba trabajando por esa zona. Pero es muy probable que el comportamiento sísmico en esta zona sea similar que en los niveles anteriores. La última zona de riesgo sísmico que se aprecia, está entre las fallas Rubí y Verónica, la actividad sísmica cesó cuando concluyeron los trabajos a mediados de Diciembre del 2008, presentándose eventos eventuales.

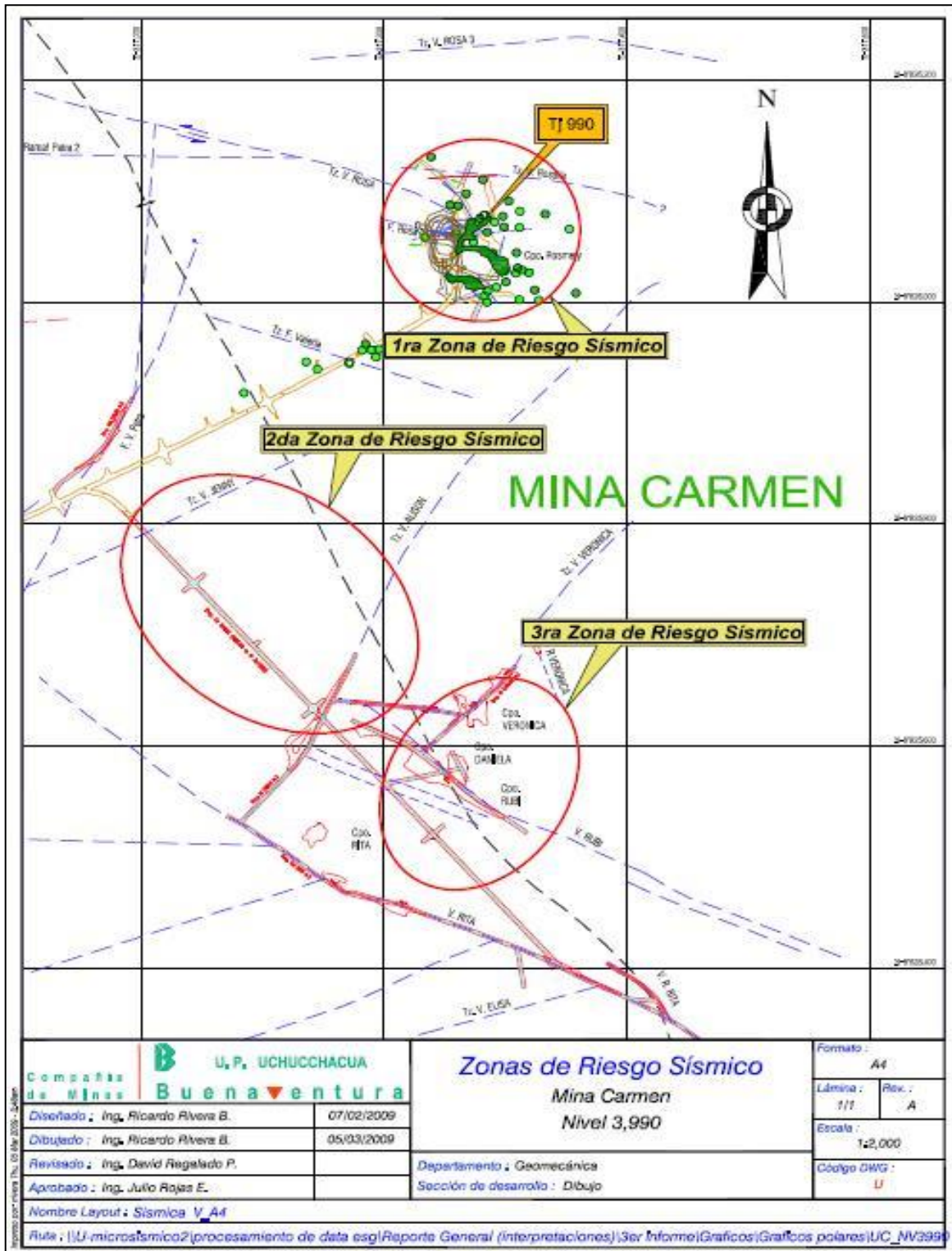


FIGURA 33: Zonas de Riesgo Sísmico en el Nv 3,990

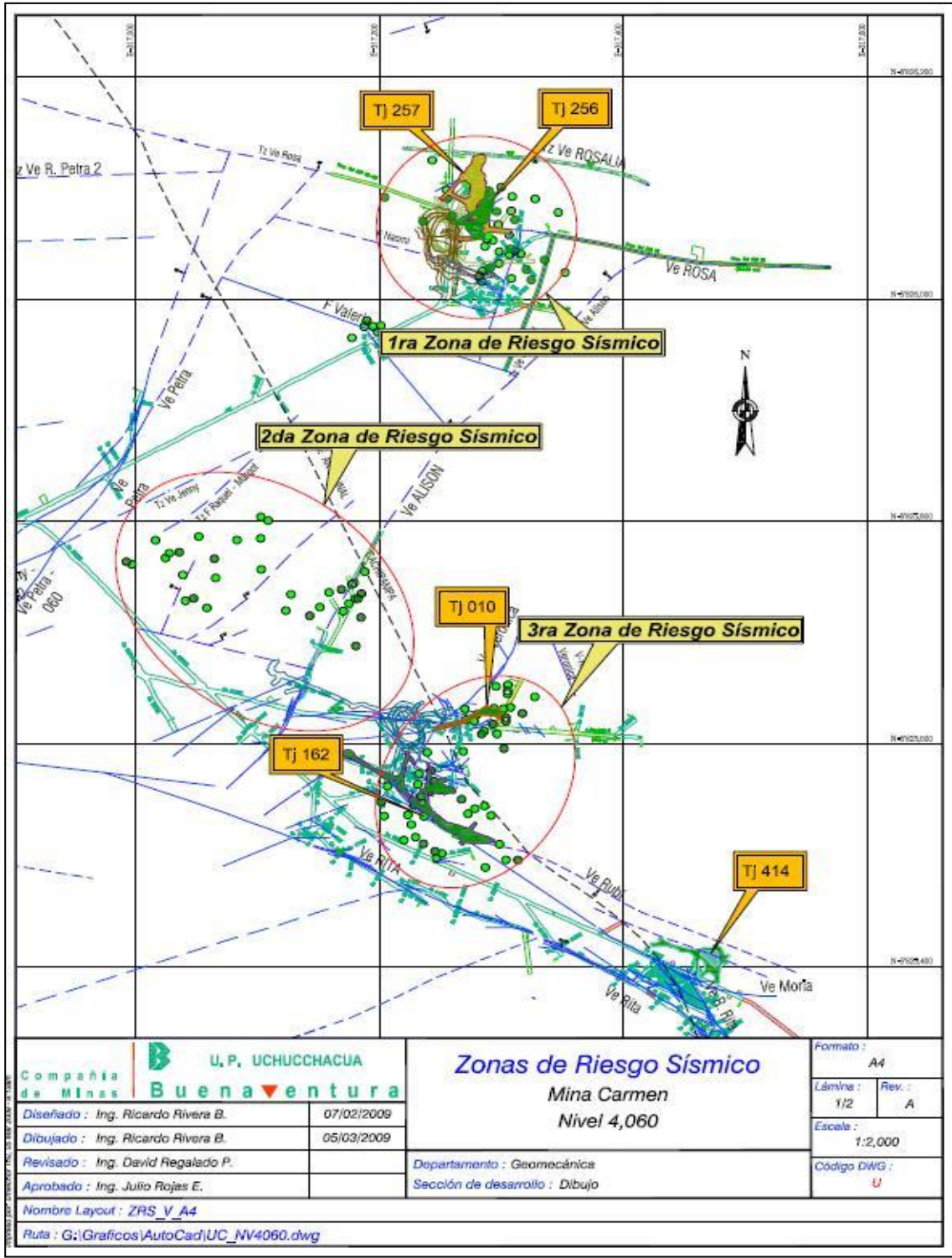


FIGURA 34: Zonas de Riesgo Sísmico en el Nv 4,060

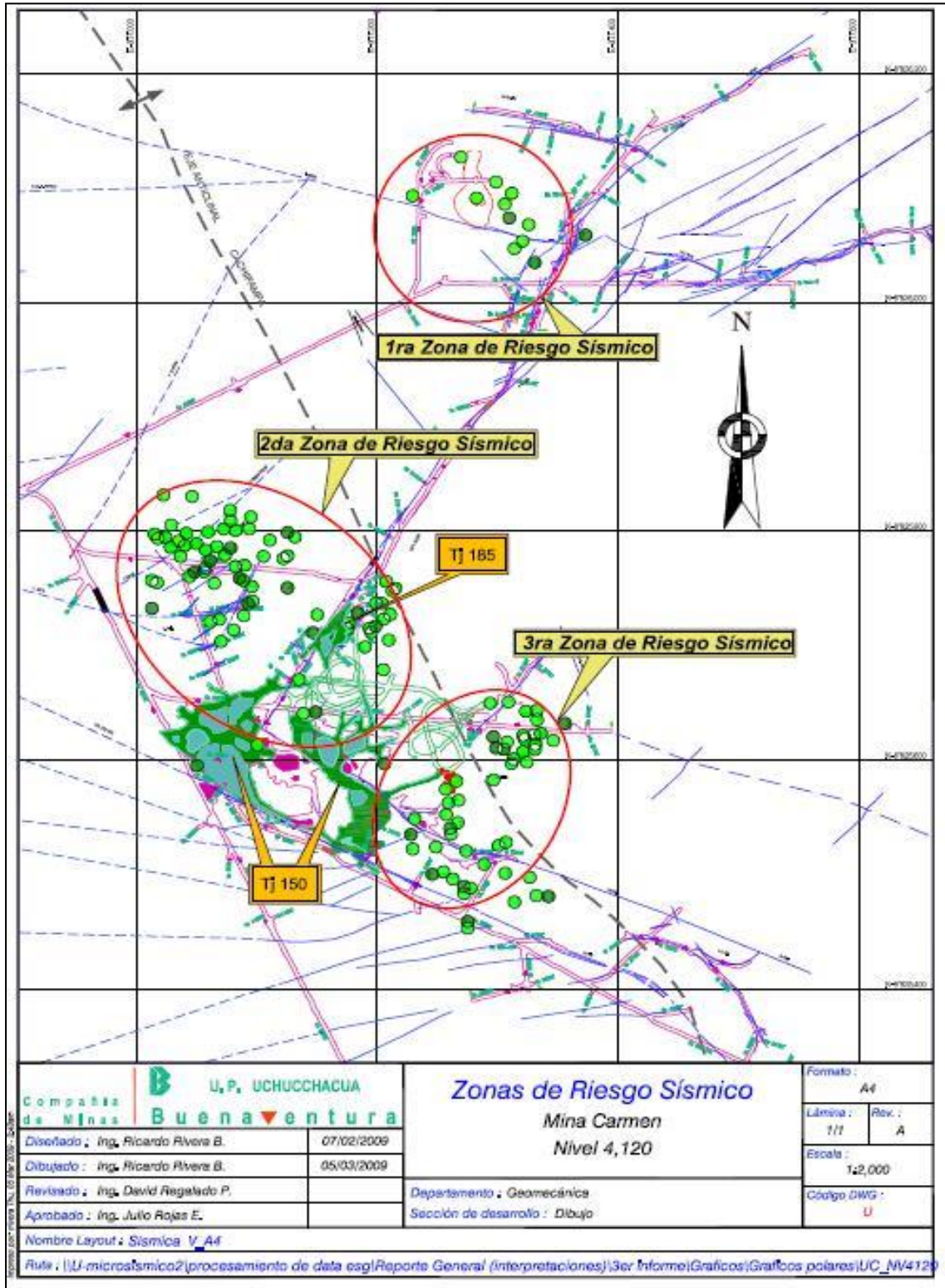


FIGURA 35: Zonas de Riesgo Sísmico en el Nv 4,120

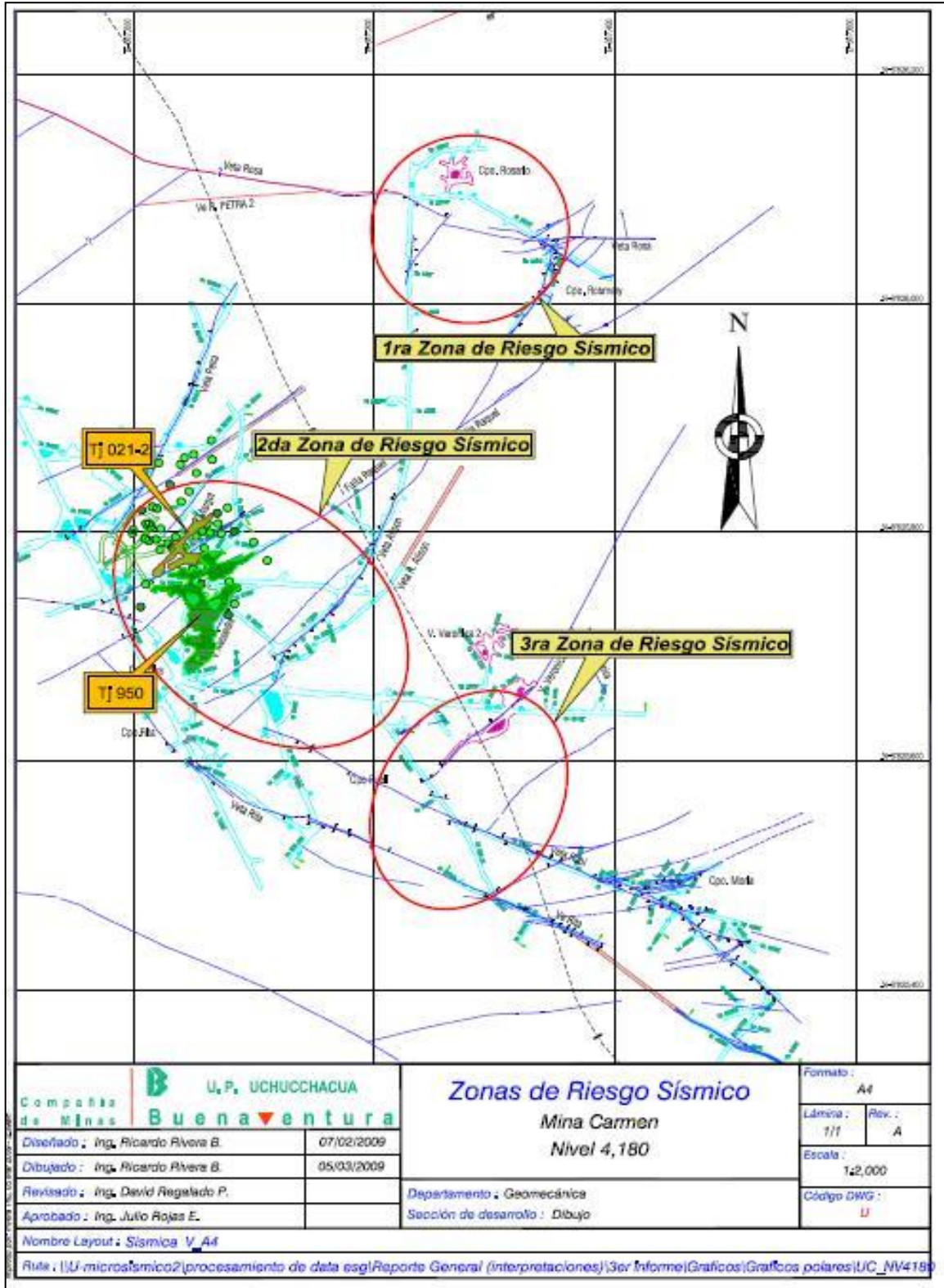


FIGURA 36: Zonas de Riesgo Sísmico en el Nv 4,180

Viendo el comportamiento sísmico en estos niveles y teniendo ubicadas, reconocidas y delimitadas las zonas de riesgo sísmico, podemos comenzar a trabajar en la ubicación de las fuentes sismogénicas, mediante el método de los gráficos polares. La zona de riesgo son todas las labores que se encuentran dentro del círculo rojo.

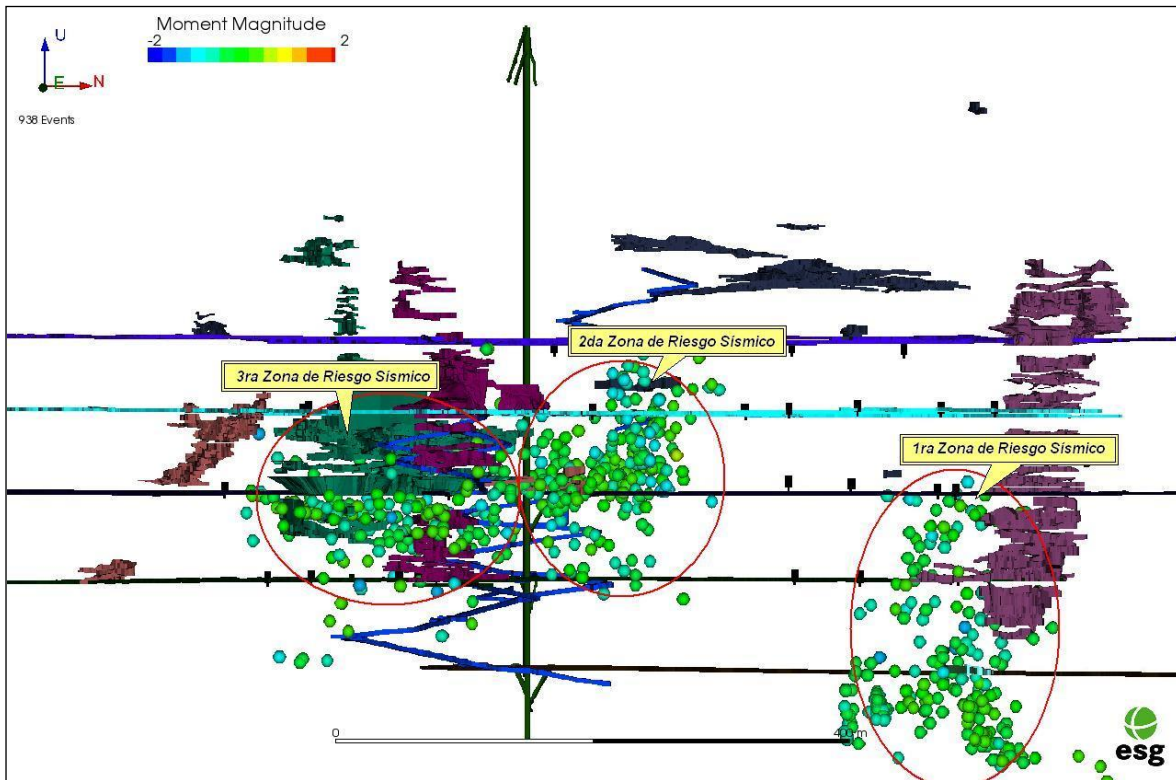


FIGURA 37: Zonas de Riesgo Sísmico de la Mina Carmen, Plano en 3D

### 6.3 MÉTODO DE GRÁFICOS POLARES

A la ocurrencia de un evento microsísmico, las ondas sísmicas se propagan en todas direcciones afectando de diferente modo al medio por donde estas se propagan, así como a las diversas labores. Generalmente, la distribución de los daños observados en un determinado lugar, permite de manera indirecta evaluar el riesgo de la misma ante un peligro, que en este caso lo constituye el evento microsísmico. Asimismo, la ubicación y geometría de las diferentes fuentes sismogénicas, con relación a las características físicas de un determinado lugar, es un factor importante que se debe considerar para evaluar el riesgo.

Un procedimiento práctico para evaluar o conocer en detalle a qué distancia y dirección en particular se ubica en si el peligro, es a partir de los denominados Gráficos Polares. Estos gráficos han sido construidos para la capital de algunos departamentos de Perú siguiendo el criterio establecido por Otero (1972) y Bernal (2) (2002) pero pueden ser muy bien aplicados para labores de mina subterránea. En este estudio, cada gráfico polar, considera un círculo de radio de nuestro límite. La longitud de este radio fue determinada considerando la distancia máxima de la zona de riesgo de cada labor. La distribución de los microsismos sobre cada cuadrante de los gráficos permitirá evaluar la dirección en la cual una determinada labor puede ser más o menos afectada por los microsismos producidos en cada una de las fuentes sismogénicas. Para la construcción de los gráficos polares se utiliza únicamente la microsismicidad con foco en cada uno de los niveles donde están distribuidos nuestros geófonos. Para trabajar nuestros gráficos polares, se tomó la data de todo el año 2008, el centro de nuestros gráficos se ubicó en el centro de cada tajo y en el caso de dos tajos relativamente juntos se ubicó en el centro de los dos tajos que comprenden esa zona de riesgo.

Luego de hacer nuestros gráficos polares, podemos determinar que cada zona de riesgo tiene dos fuentes sismogénicas. Descritas de la siguiente manera:

#### 6.3.1 Primera zona de Riesgo Sísmico

La primera fuente sismogénica está ubicada al noreste del centro de la zona de riesgo. La segunda fuente sismogénica está ubicada al sureste también del centro de la zona de riesgo.

#### 6.3.2 Segunda zona de Riesgo Sísmico

La primera fuente sismogénica de esta zona se encuentra ubicada al noroeste del centro de la zona de riesgo y la segunda fuente sismogénica se encuentra al este del centro de la zona de riesgo.

#### 6.3.3 Tercera zona de Riesgo Sísmico

La primera fuente sismogénica está ubicada al noreste del centro de la zona de riesgo, en dirección a la falla Verónica y la segunda fuente sismogénica se encuentra ubicada al sureste del centro de la zona de riesgo, paralela a la falla Rubí.

La ubicación de las fuentes sismogénicas, hay que tenerla en cuenta para la ubicación y sostenimiento de las labores en el último nivel de la Mina Carmen, al igual para nuevas labores en futuros niveles; más profundos; de esta mina.

Teniendo ya las zonas de riesgo sísmico, ubicadas las fuentes sismogénicas y calculada la deformación de la roca para eventos de diferentes magnitudes. Se puede hacer un análisis estadístico del peligro sísmico, para cada zona de riesgo, teniendo la información de los eventos del año 2008.



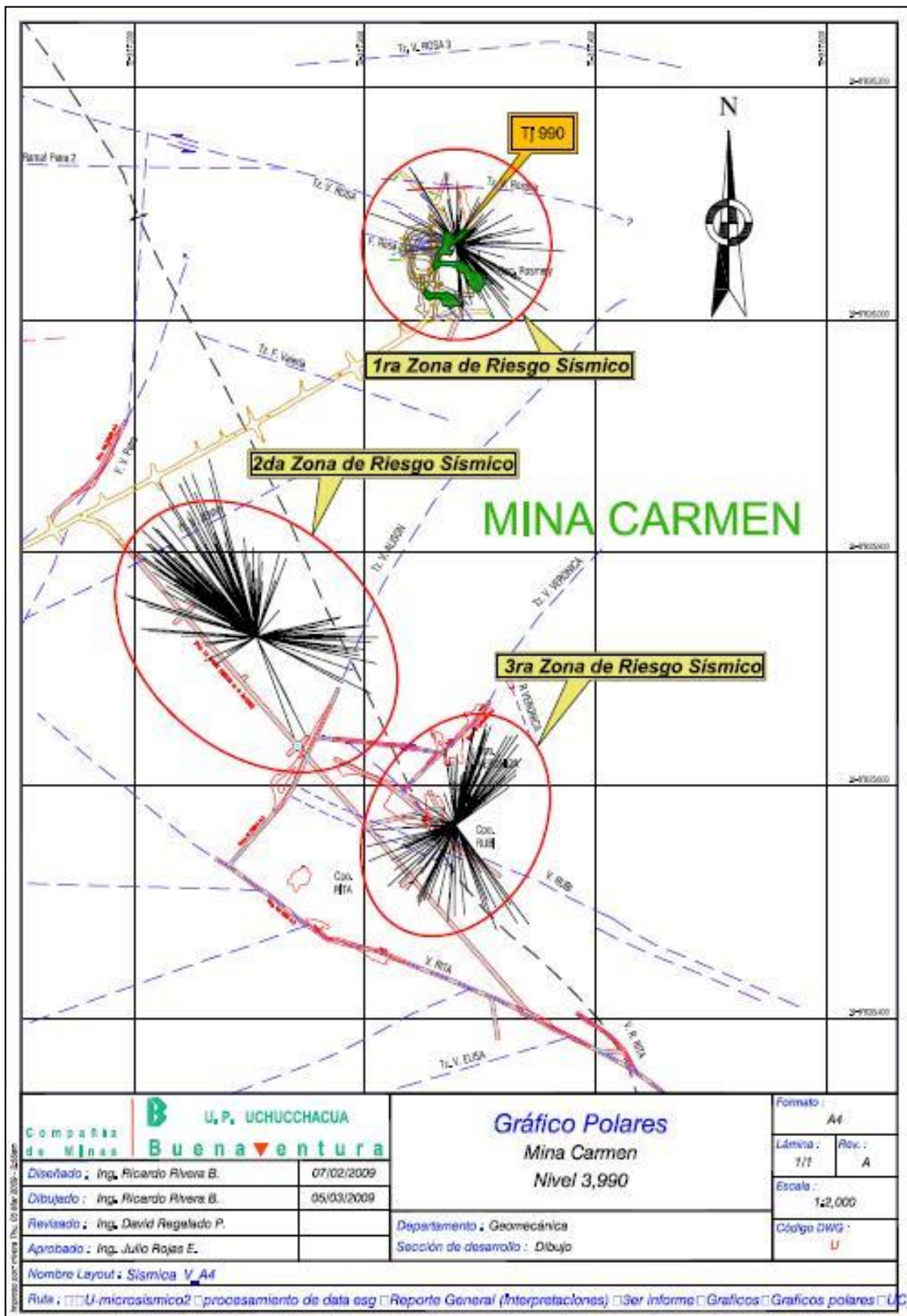


FIGURA 38: Plano de los Gráficos Polares en el Nv 3,990

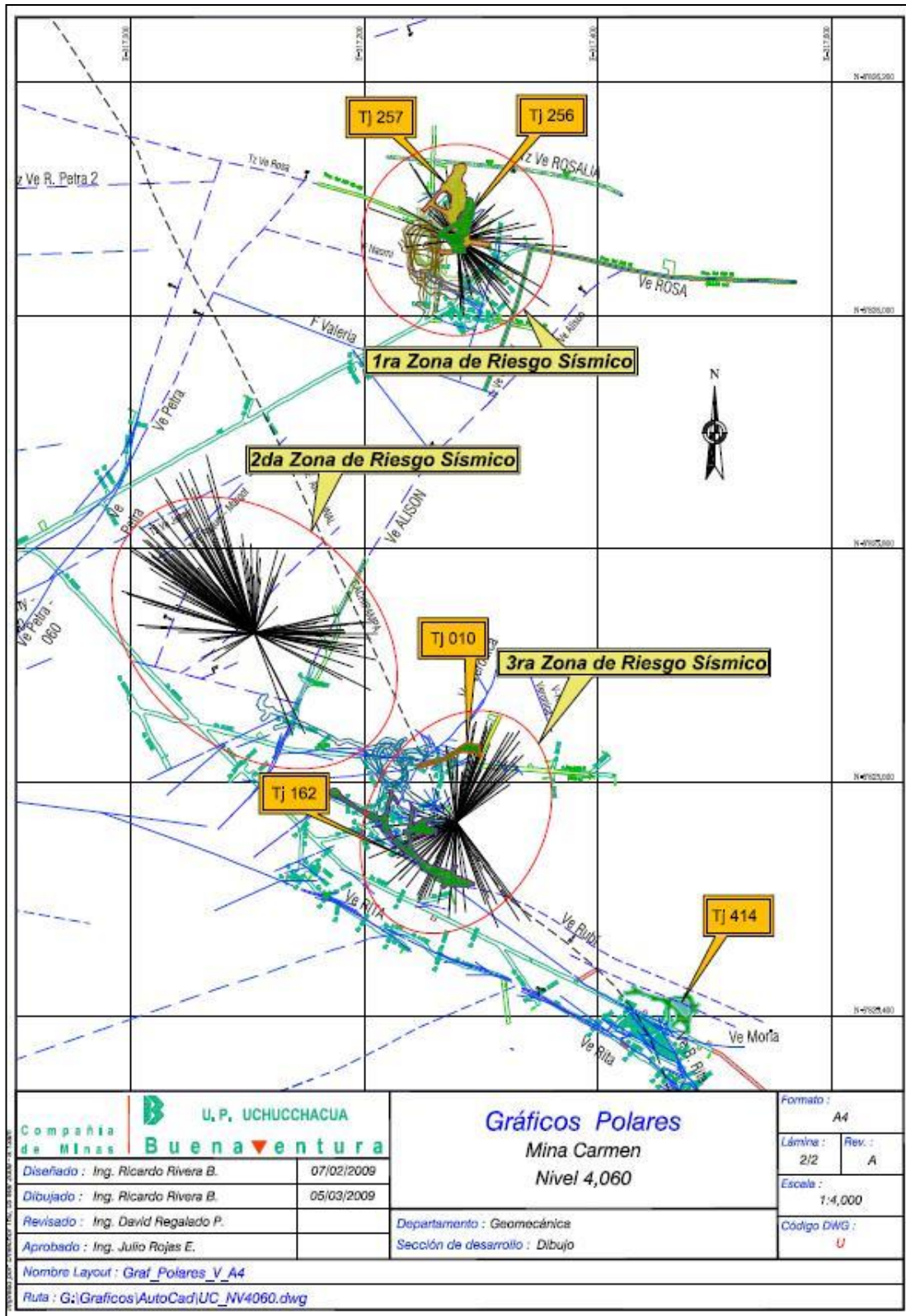


FIGURA 39: Plano de los Gráficos Polares en el Nv 4,060

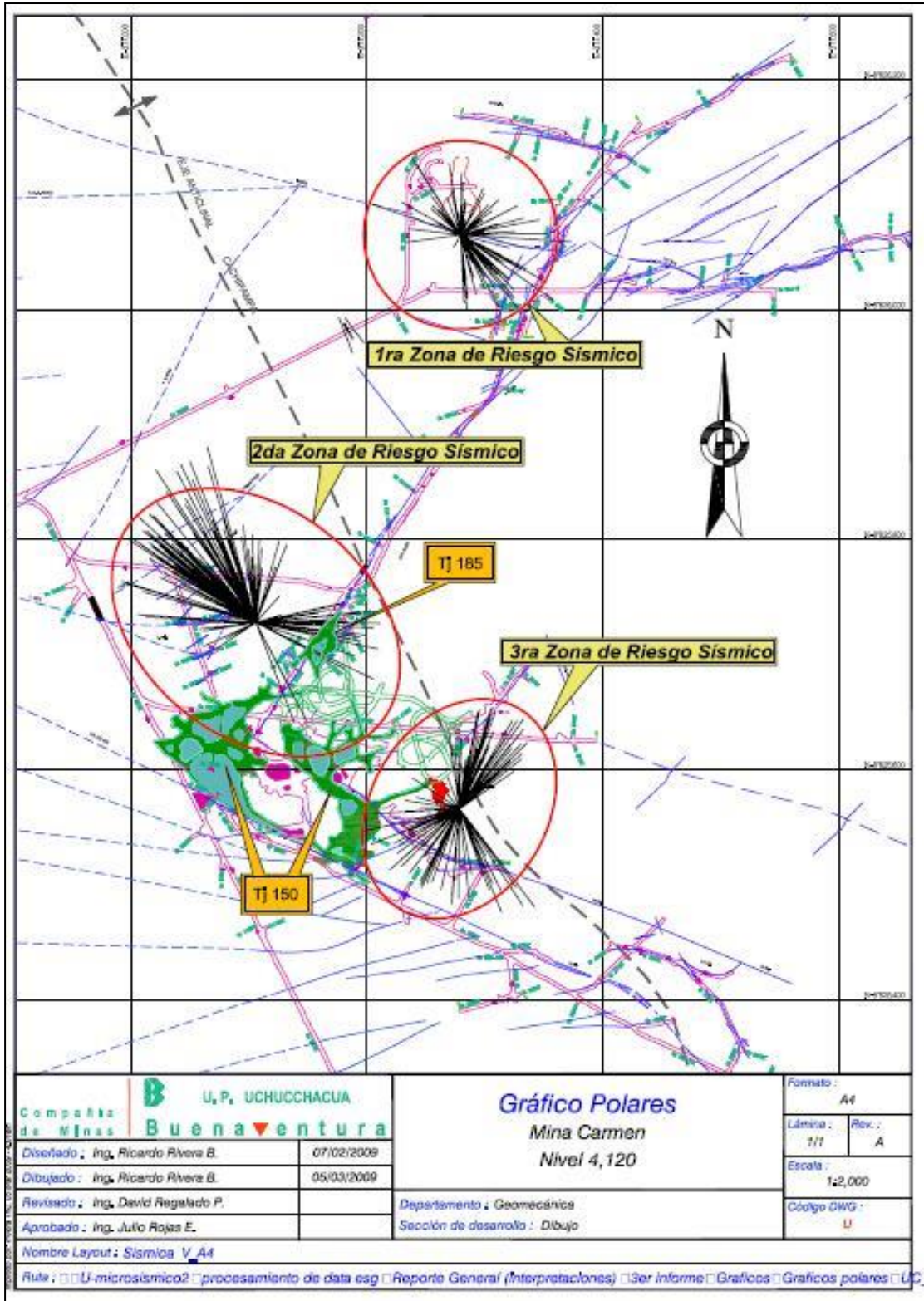


FIGURA 40: Plano de los Gráficos Polares en el Nv 4,120

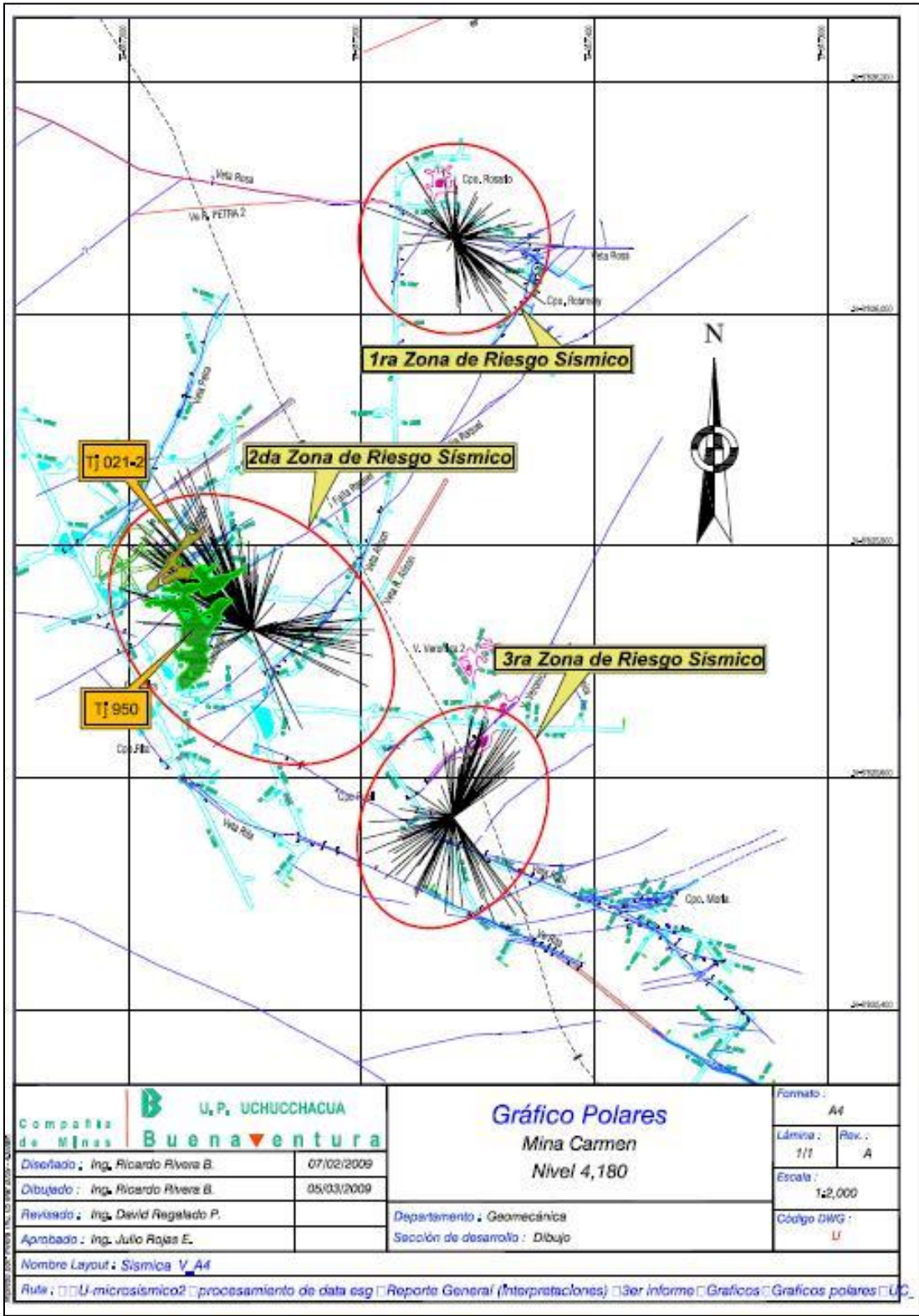


FIGURA 41: Plano de los Gráficos Polares en el Nv 4,180

## 6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO

### 6.4.1 Distribución de Poisson (Ocurrencia de eventos en el tiempo)

La finalidad de analizar los datos a través de la Distribución de Poisson, es de verificar y comparar los datos con ésta distribución aleatoria, planteando los números observados ( $N$ ) de frecuencia de clases, teniendo 0, 1, 2, ...,  $n$  sismos por intervalo de tiempo ( $t$ ).

Para el desarrollo de la distribución de Poisson, se dispone de la siguiente formulación:

$$(4.1) \quad P_{[N=n,t]} = \frac{(vt)^n}{n!} \exp(-vt)$$

$$(4.2) \quad v = \frac{N^{\circ} \text{ de Sismos}}{N^{\circ} \text{ de Años}}$$

$n=0, 1, 2, \dots$

$v$ =tasa promedio de ocurrencia por " $t$ ";  $t$  debe ser 1 Día.

$$(4.3) \quad K_{[N=n,t]} = kP_{[N=n,t]}$$

$K$  = Número de intervalos de tiempo usado

Gutenberg&Richter desarrolló relaciones empíricas para representar la frecuencia de la ocurrencia de los sismos de diferentes magnitudes y propusieron la siguiente relación, Escalante (5):

$$(4.4) \quad \log N = a + bM$$

Donde

$N$  = Número de Sismos con  $M_w \geq -2.0$ .

$a$  y  $b$  = Constantes determinadas por el análisis de Mínimos Cuadrados.

(4.5)

$$a = \frac{\sum y \cdot \sum(x^2) - \sum(x) \cdot \sum(xy)}{P \sum(x^2) - (\sum(x))^2}$$

(4.6)

$$b = \frac{P \sum(xy) - \sum(x) \cdot \sum(y)}{P \sum(x^2) - (\sum(x))^2}$$

### 6.4.2 Análisis de Frecuencia – Magnitud para la Sismicidad de cada Zona de Riesgo Sísmico

A partir del siguiente cuadro, se desarrolla el análisis mediante los mínimos cuadrados, cuyos datos son obtenidos a partir del conteo de sismos correspondientes a cada magnitud:

FRECUENCIA-MAGNITUD					
P	Magnitud (x)	Nº Sismos	logN (y)	x <sup>2</sup>	xy
1	-1.3	1	0.000	1.69	0.000
2	-1.2	1	0.000	1.44	0.000
				-	-
3	-1.1	3	0.477	1.21	0.525
				-	-
4	-1.0	4	0.602	1.00	0.602
5	-0.9	1	0.000	0.81	0.000
				-	-
6	-0.8	5	0.699	0.64	0.559
				-	-
7	-0.7	7	0.845	0.49	0.592
				-	-
8	-0.6	19	1.279	0.36	0.767
				-	-
9	-0.5	23	1.362	0.25	0.681
				-	-
10	-0.4	23	1.362	0.16	0.545
				-	-
11	-0.3	28	1.447	0.09	0.434
				-	-
12	-0.2	24	1.380	0.04	0.276
				-	-
13	-0.1	16	1.204	0.01	0.120
14	0.0	9	0.954	0.00	0.000
15	0.1	12	1.079	0.01	0.108
16	0.2	8	0.903	0.04	0.181
17	0.3	20	1.301	0.09	0.390
18	0.4	12	1.079	0.16	0.432
19	0.5	1	0.000	0.25	0.000
Sumatoria	0.5	153	10.710	0.85	0.265

TABLA 4: Relación Frecuencia-Magnitud Para eventos de la 1ra Zona de Riesgo sísmico

Utilizando las ecuaciones (4.2) y (4.3), puede encontrarse los valores de  $a$  y  $b$  para eventos mayores a  $-0.4M_w$  que es el punto de deflección.

Luego, aplicando la ecuación (4.1), se obtiene la fórmula representativa de la Magnitud – Frecuencia para los eventos de cada zona.:

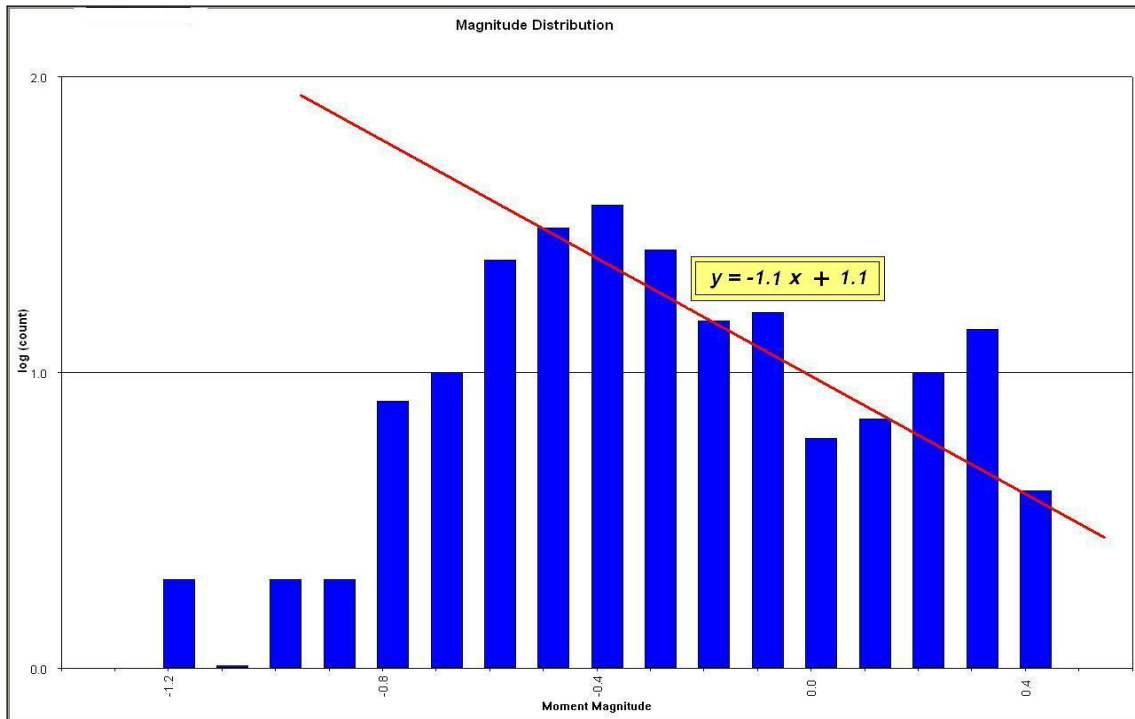


FIGURA 42: Parámetro “b” de la relación Frecuencia-Magnitud de la 1ra Zona de Riesgo Sísmico

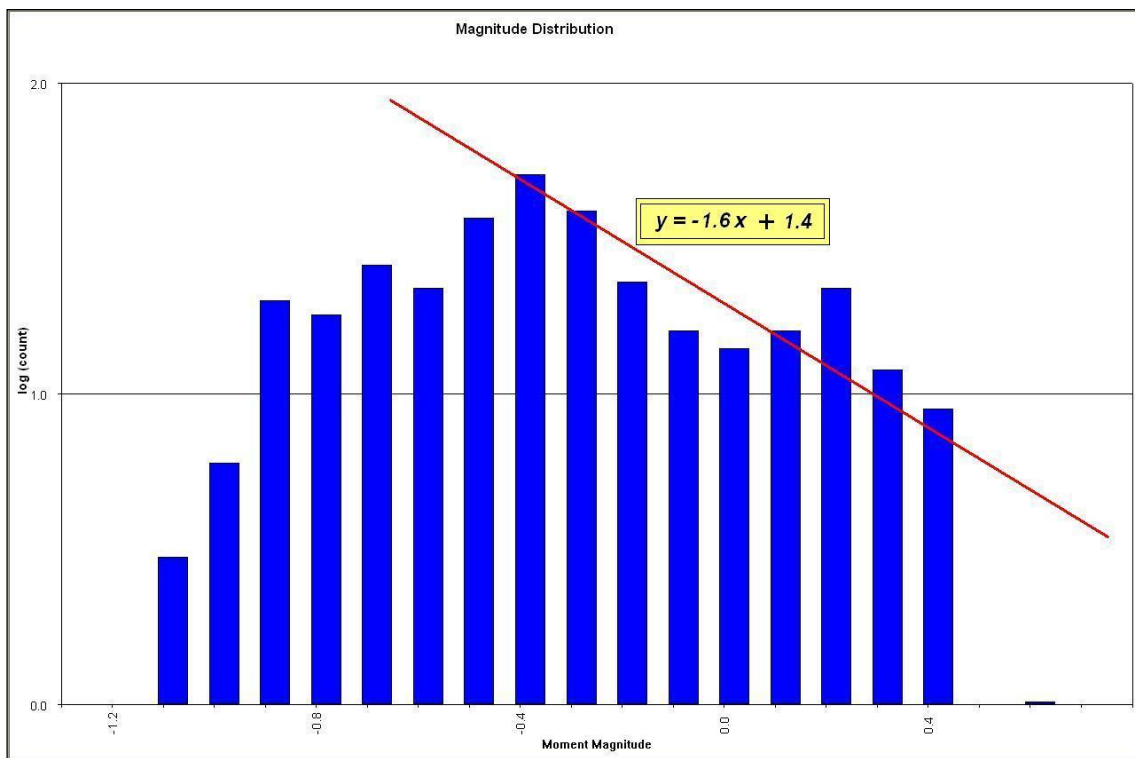


FIGURA 43: Parámetro “b” de la relación Frecuencia-Magnitud de la 2da Zona de Riesgo Sísmico

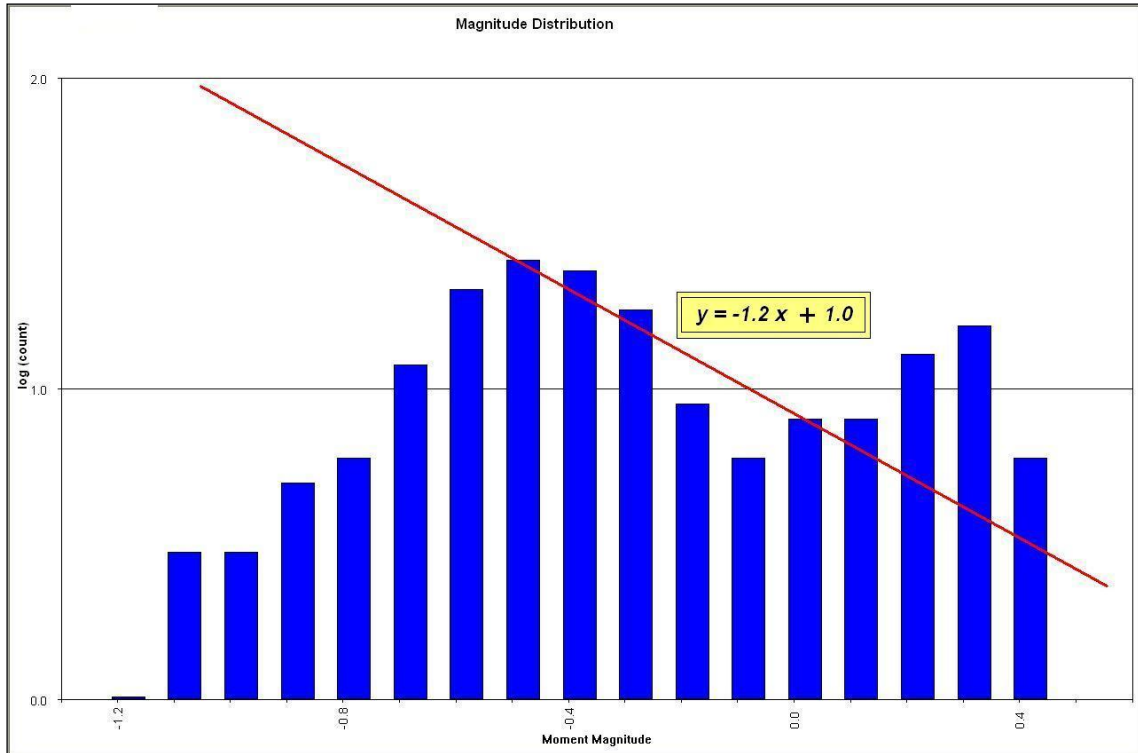


FIGURA 44: Parámetro “b” de la relación Frecuencia-Magnitud de la 3ra Zona de Riesgo Sísmico

Como resumen podemos rescatar de las figuras 42,43 y 44, lo siguiente:

Primeramente hay que tener en cuenta que entre menor sea el valor de “b” mayor será el riesgo sísmico y mientras mayor sea valor de “b” menor será el riesgo sísmico.

Por lo tanto podemos ver que la zona de mayor riesgo sísmico es la 1ra zona de riesgo sísmico, que está ubicada en el Cuerpo Rosario y que siempre ha presentado eventos sísmicos, la que le sigue sería la 3ra zona de riesgo sísmico y deberíamos prestar mayor atención a la falla Rubí que es donde se concentra la mayor cantidad de eventos sísmicos. Por último tenemos la 2da zona de riesgo sísmico que es la zona de menor riesgo, pero que está incrementando su número de eventos en estos últimos meses.



Mes	a	b	min Mw	max Mw	Nº Sismos	Procesados
1ra Zona de Riesgo	1.1	1.1	-1.3	0.5	245	168
2da Zona de Riesgo	1.4	1.6	-1.1	0.7	465	297
3ra Zona de Riesgo	1.0	1.2	-1.3	0.7	221	140

TABLA 5: Cuadro resumen del parámetro “b” de cada Zona de Riesgo Sísmico

## 6.5 MÉTODO DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA

El método seguido para analizar y evaluar la variación temporal de la energía sísmica acumulada y liberada a nivel mundial, fue desarrollado y aplicado por primera vez por Benioff (1951). Posteriormente el método fue perfeccionado por Tsuboi (10) (1964) y aplicado a nivel de Sudamérica por Carmona y Castano (4) (1970) y Otero (1972). Básicamente el método de Tsuboi considera que los sismos, tanto de magnitud pequeña como grande, liberan la energía que se ha acumulado de manera más o menos uniformemente sobre un área determinada; sin embargo, resultados posteriores permitieron establecer que la suma acumulativa de la energía liberada aumenta linealmente respecto al tiempo dependiendo de las características del medio. Por tanto, este método consiste en construir curvas de acumulación de energía sísmica liberada en función, las mismas que permitirían predecir la ocurrencia de sismos de magnitud elevada.

Como la magnitud no es una variable física, los sismólogos han buscado fórmulas de relación entre esta y otras cantidades físicas, por ejemplo, con la energía liberada como ondas sísmicas. Las fórmulas que las relacionan varían porque la amplitud medida en el sismograma puede ser, la de cualquiera de las distintas fases (P, S, superficiales) que son registradas. En forma general estas tienen la forma siguiente:

$$\log E = a + bM \quad (5.1)$$

donde a y b dependen de la escala de magnitud utilizada.

### 6.5.1 Magnitud Energía (Me)

La magnitud energía permite medir el potencial del daño causado por el terremoto y es obtenido a partir del valor de la energía sísmica irradiada. La relación que permite estimar este parámetro es:

$$Me = (2/3) \text{ Log } (Es) - 2.9 \quad (5.2)$$

La energía total liberada por un sismo es difícil de calcular con precisión debido que ella es la suma de la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura y la energía emitida como ondas sísmicas (calculada a partir del registro del terremoto). La energía sísmica puede ser estimada desde el espectro de energía según la metodología desarrollada por Boatwright y Choy (1986) y a partir de la magnitud de los sismos ( $m_b$ ,  $M_s$ ,  $M_w$ ) según las siguientes relaciones:

$$\text{Log } E = 5.8 + 2.4 m_b \quad (5.3)$$

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 M_s \quad (5.4)$$

En la fórmula anterior notemos que la relación entre magnitud y energía es logarítmica, es decir cuando la magnitud aumenta en una unidad el logaritmo de la energía también lo hace. Por otra parte, el logaritmo es el exponente al que hay que elevar la base 10 para obtener la energía; por esta razón, la energía aumenta aproximadamente 31.6 veces por cada grado.

#### Tipos de Escala Magnitud

Magnitud Local (ML), Magnitud Ondas Volumen ( $m_b$ ), Magnitud Ondas Superficiales ( $M_s$ ), Magnitud Duración (MD), Magnitud Tsunami ( $M_t$ ), Magnitud Momento ( $M_w$ ), Magnitud Energía (Me)

En este método de energías acumulativas, las curvas de acumulación de energía relativamente homogéneas son delimitadas por dos rectas paralelas que unen puntos mínimos y máximos de la curva. La pendiente de ambas rectas permite tener una idea del tiempo necesario para que se produzca la acumulación de la mayor cantidad de energía que será liberada por el sismo.

Asimismo, la distancia vertical entre las dos rectas representa el valor de saturación mínima y máxima en términos de energía para cada área. Los resultados obtenidos para cada área se muestran en las figuras 45, 46 y 47.

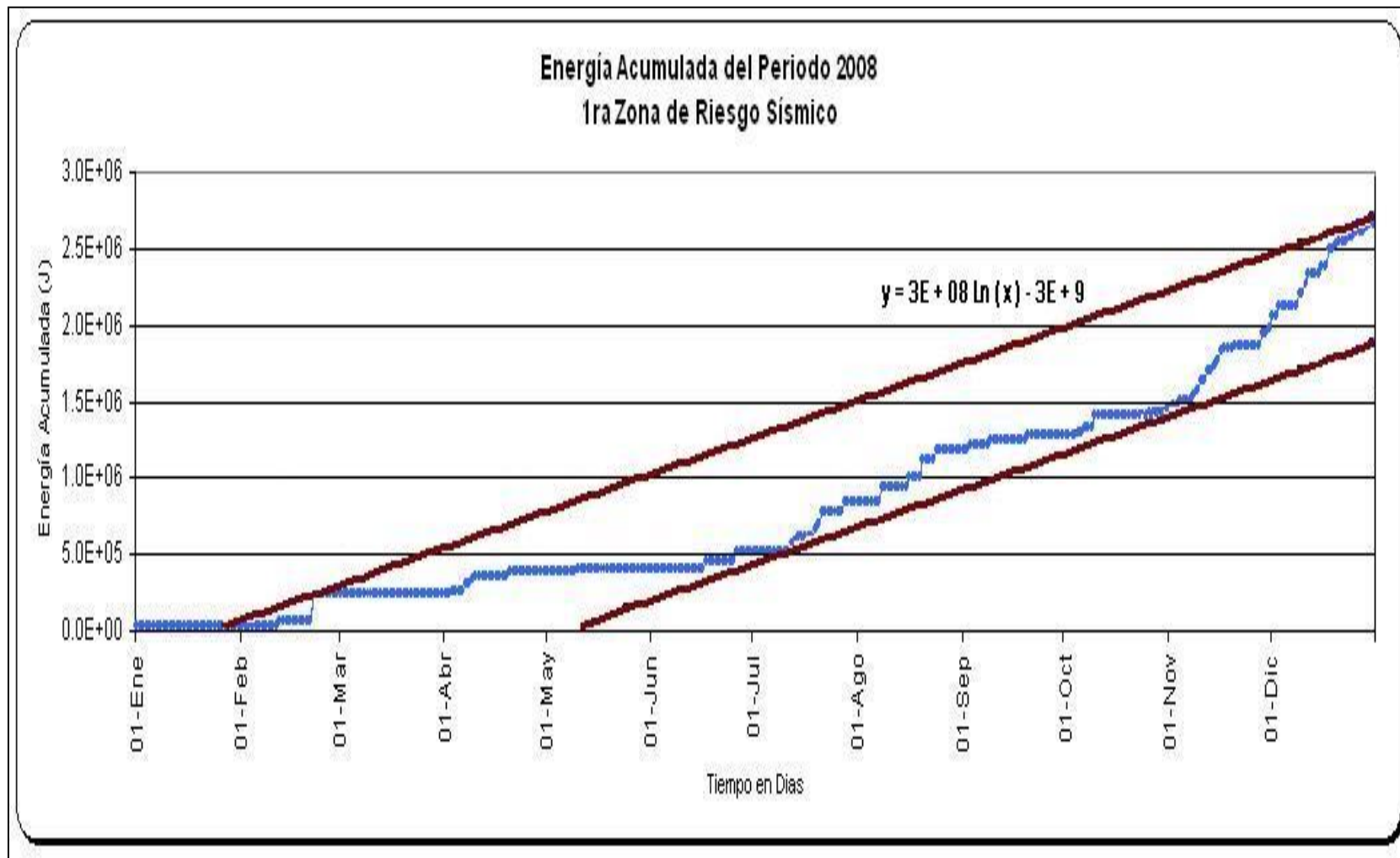


FIGURA 45: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008

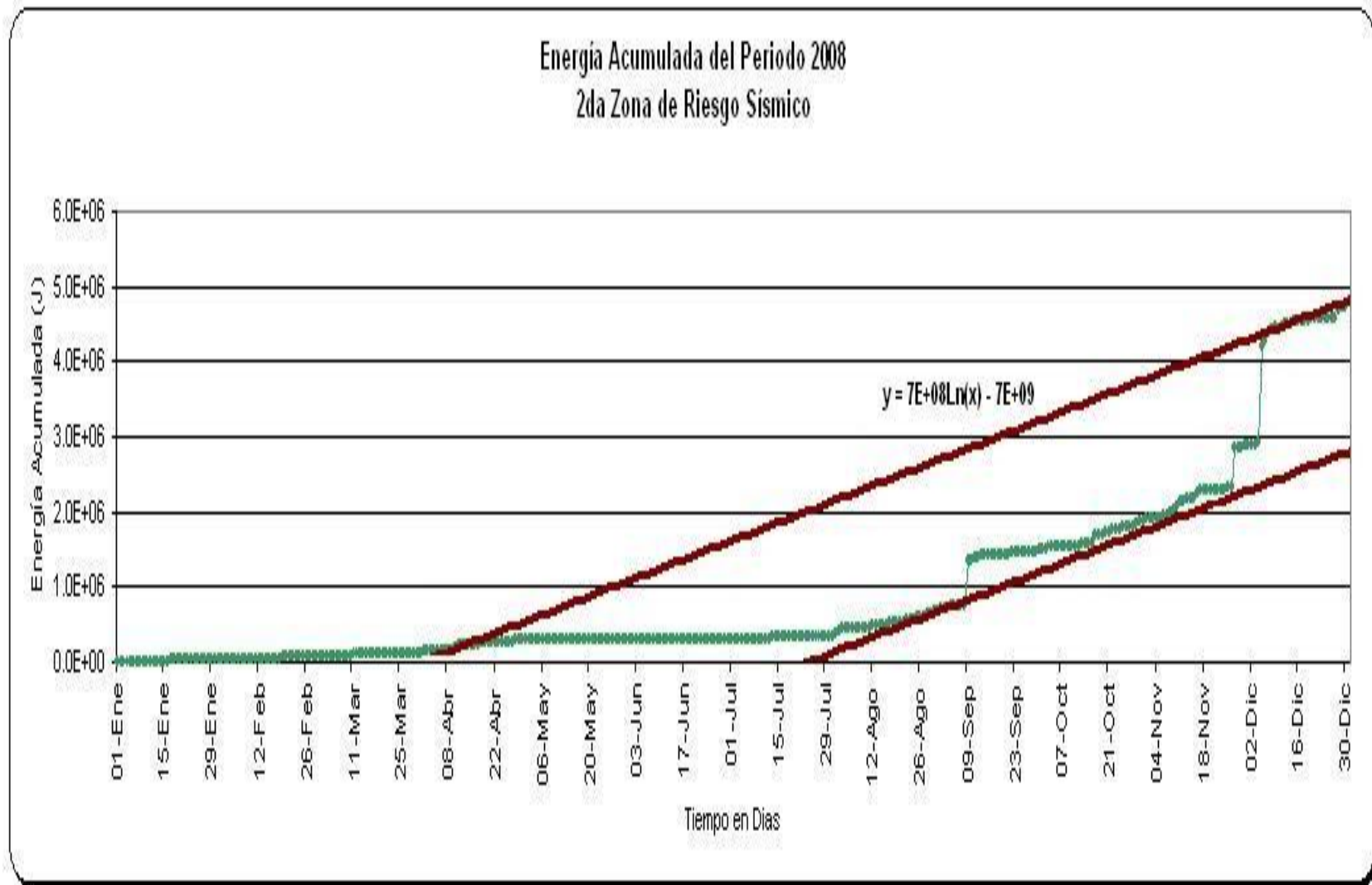


FIGURA 46: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008

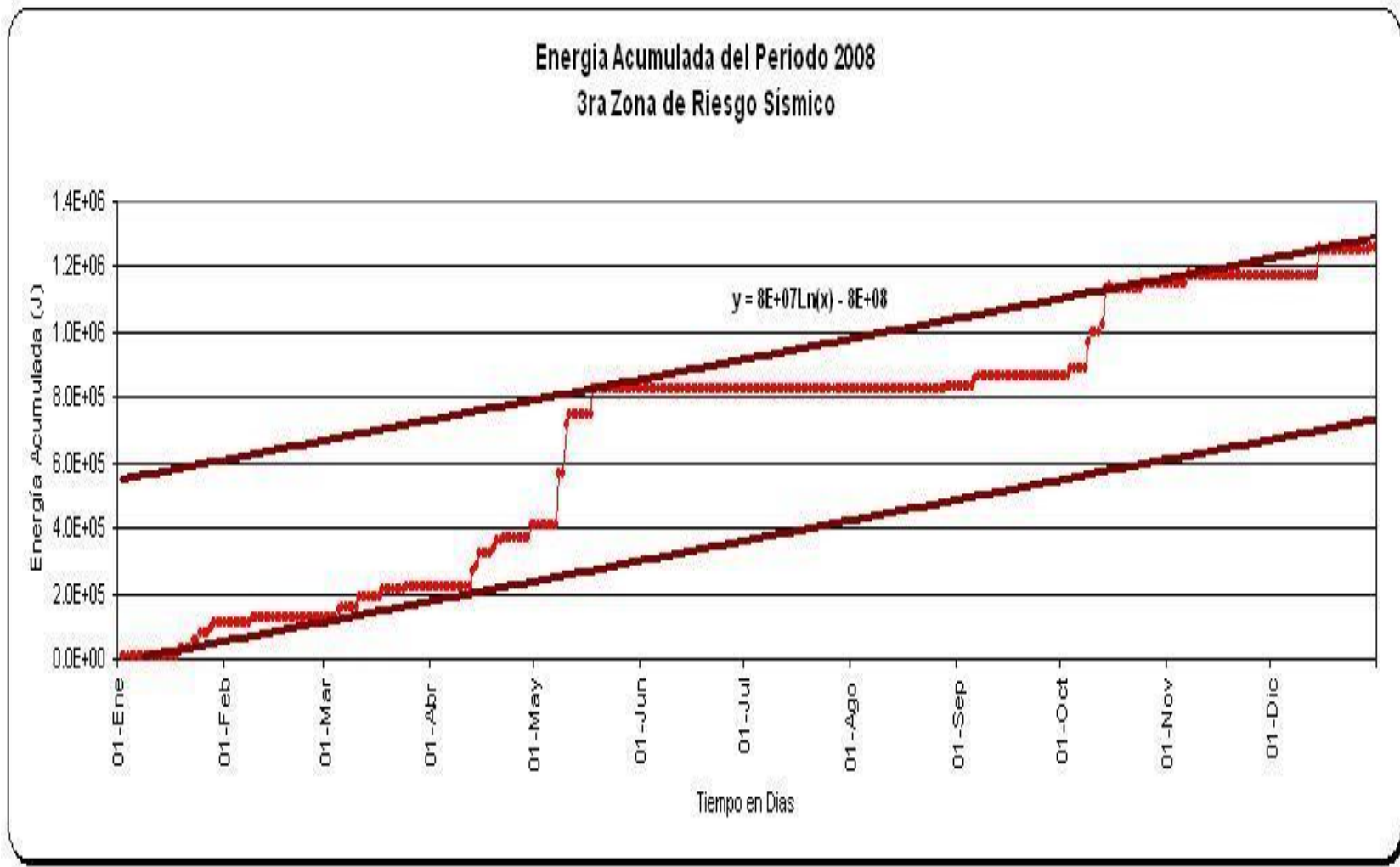


FIGURA 47: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008

## 6.6 RELACIÓN DE ENERGÍA ACUMULADA PARA EVENTOS VS BLAST PARA CADA FUENTE

La actividad sísmica se encuentra relacionada a la producción, a mayor cantidad de disparos también incrementaran los eventos sísmicos y esto podemos verlo en las figuras 48,49 y 50. Siendo notorio el cambio de la energía liberada por los eventos sísmicos, cuando se registra mayor energía liberada por los disparos.

Analizando los gráficos podemos decir que cuando hay mayor cantidad de disparos la respuesta de la roca es manifestada en eventos sísmicos, estamos hablando de eventos efecto inmediato del disparo y también de eventos que se manifiestan 3 o 4 horas después del disparo, incluso luego de varios días de ocurrido los disparos masivos.

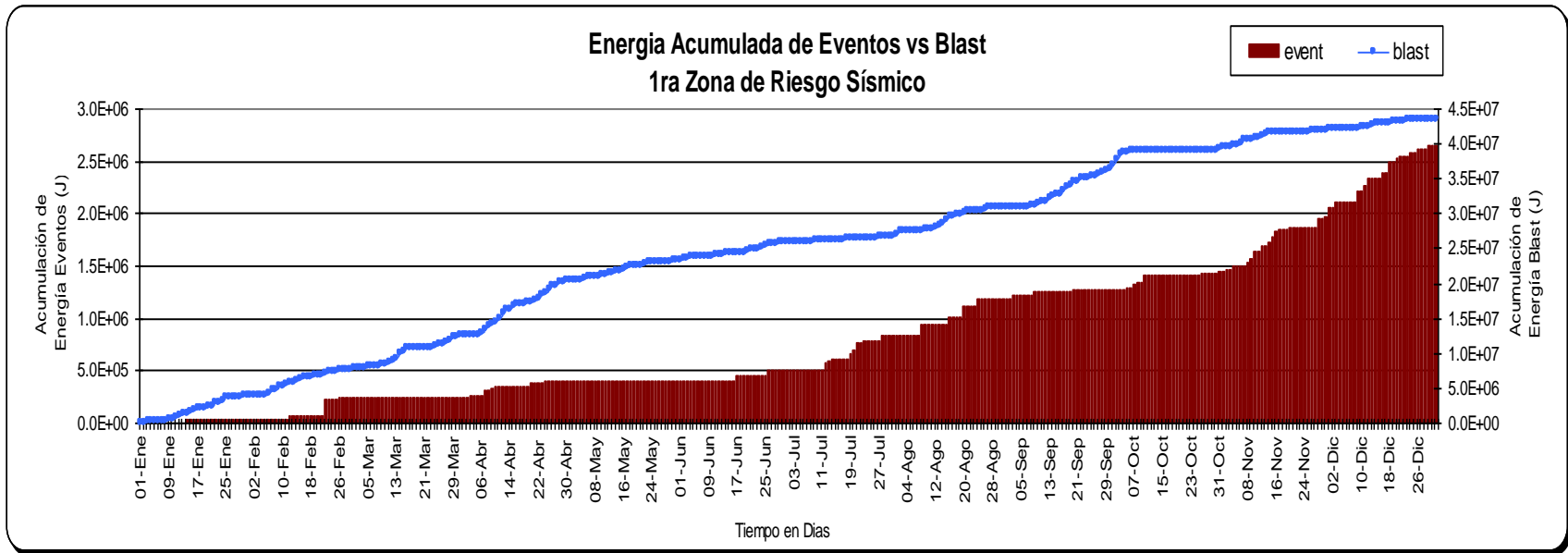


FIGURA 48: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008

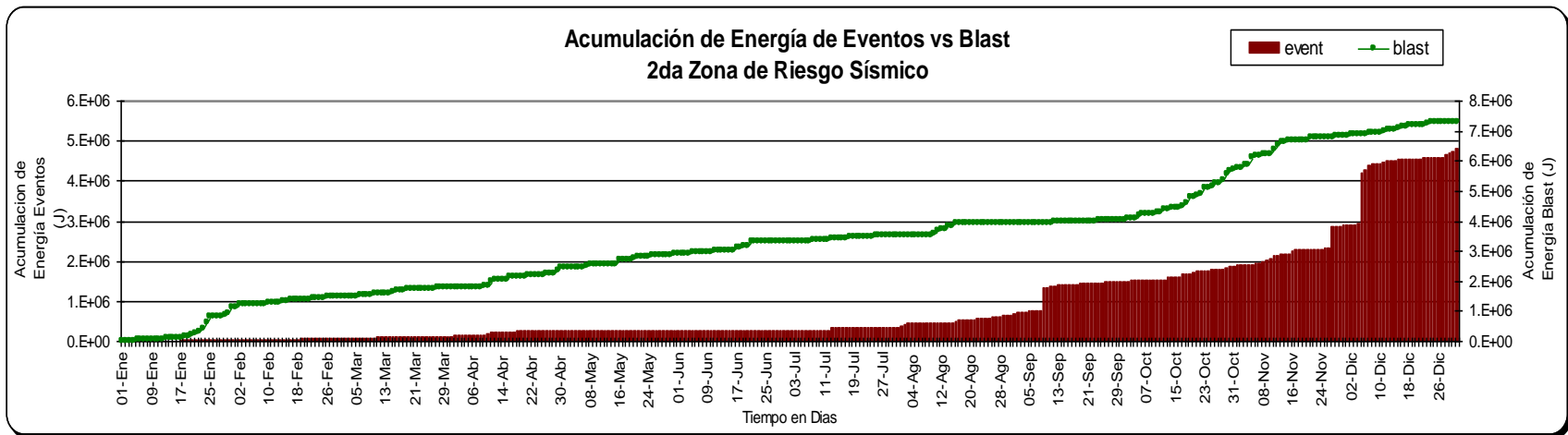


FIGURA 49: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008

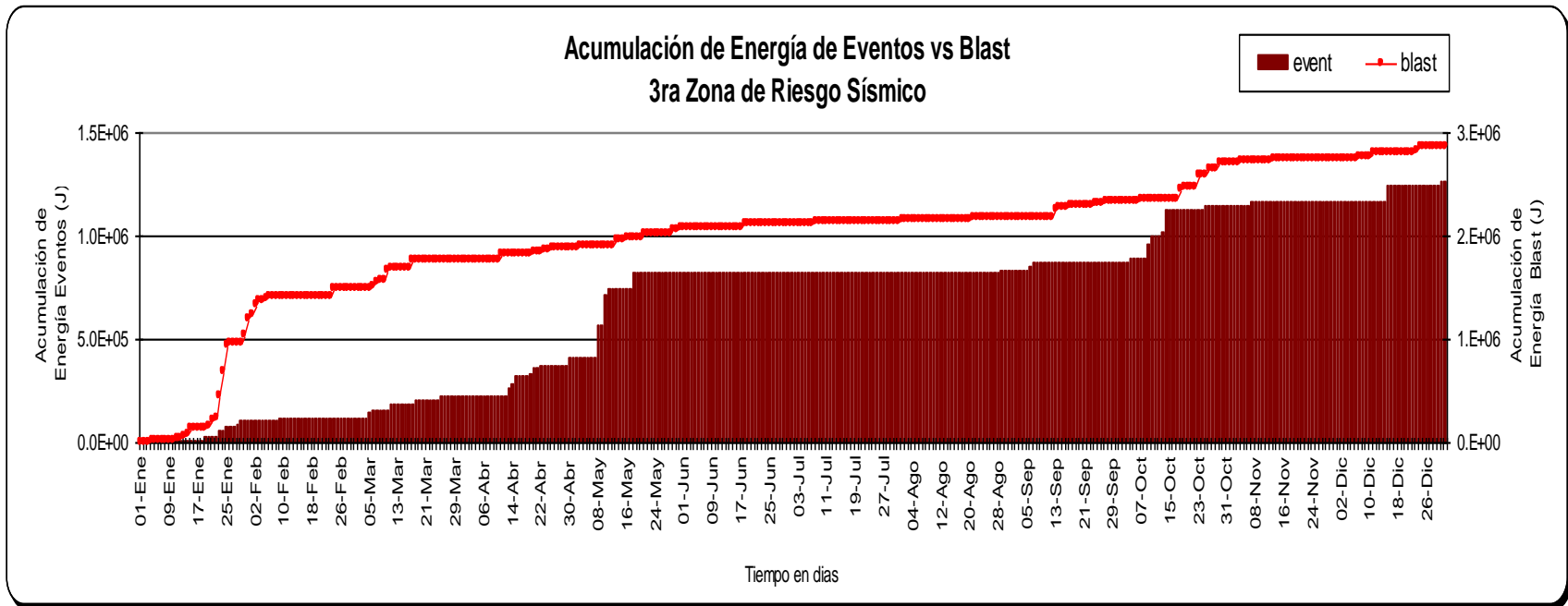


FIGURA 50: Comportamiento Sísmico en la Mina Carmen en el Año 2008



## **CONCLUSIONES**

- 1.- La destrucción violenta de las muestras investigadas atestigua una disposición importante de la roca a los estallidos. La energía elástica acumulada en la parte pre – crítica de la curva característica “esfuerzo – deformación” es liberada cerca del esfuerzo crítico, en un tiempo de fallamiento muy pequeño.
- 2.- La prevención de estallidos requiere el análisis de casos particulares y el uso de un control conveniente de la velocidad de progreso del frente. Esta velocidad influye sobre la velocidad de deformación de las rocas.
- 3.- En el Nv 4180 tenemos una fuente sismogénica, paralela a la falla Raquel-Margot.
- 4.- En el Nv 4120 tenemos dos fuentes sismogénicas bien definidas; la primera con influencia de la falla Raquel-Margot y la otra esta direccionada hacia las vetas Rubí y veta Rita.
- 5.- En el Nv 4060 para el tajos 256 la fuente sismogénica tiene una dirección a la veta Rosalía y para el tajo 257 la fuente sismogénica tiene dirección a la veta Rosmery y veta Alison. En el tajos 162 la fuente sismogénica tiene dirección hacia la veta Alison, ubicada entre esta veta y la falla Raquel-Margot y para el tajo 010 la fuente sismogénica tiene dirección hacia la veta Rubí y se ubica entre esta veta y la veta Rita.
- 6.- Un evento que se presente a mas de 180 metros de distancia de cualquier labor, las ondas no llegan a deformar la roca, como para que este evento afecte a la labor.
- 7.- Se determinaron 3 Zonas de Riesgo Sísmico, en el Cuerpo Rosario, en las Fallas Raquel-Margot y Alison y la ultima en las Fallas Verónica y Rubí.

- 8.- Se determinó y se ubicó que cada zona de riesgo está conformada a su vez con 2 fuentes sismogénicas y que el sostenimiento y la dirección de las labores futuras tienen que estar relacionadas a la ubicación de estas fuentes.
- 9.- Con el análisis de Frecuencia-Magnitud se determinó la zona de mayor riesgo sísmico, siendo la Zona de mayor riesgo la del Cuerpo Rosario, sin restarle importancia a las otras 2 zonas de riesgo.
- 10.- Con la acumulación de energía podemos tener parametrados los rangos de energía liberada para los eventos y así poder controlar el comportamiento de la roca y si está acumulando energía que podría ser liberada súbitamente en cualquier momento.
- 11.- Relacionamos la acumulación de la energía de los disparos versus los eventos y esto nos muestra que los eventos sísmicos son una respuesta a los disparos, estos eventos se presentan inmediatamente, luego de unas horas e incluso luego de varios días de realizado el disparo.

## **RECOMENDACIONES**

Para poder medir la actual magnitud de los esfuerzos, sus orientaciones y el efecto que pueden tener estos niveles en el comportamiento del macizo rocoso, se hace imprescindible realizar mediciones de esfuerzos in situ, para lo cual, la técnica más efectiva y que provee mejor información ingenieril es la denominada “Hollow Inclusion” – también conocida como “Overcoring Tridimensional”.

Una vez determinadas las mediciones de esfuerzos In Situ, se hace recomendable realizar los modelamientos numéricos como una forma de tabular los efectos que debieran producir estos valores reales de esfuerzos en los modelos y sus efectos y consecuencias geomecánicas en los aspectos de producción y seguridad.

Al disponer de información de esfuerzos, se puede complementar con la información geotécnica que actualmente se está registrando en la mina. Esta conjugación de información, también será útil para optimizar dimensiones y orientaciones de las unidades de explotación, anticipar sistemas de fortificación según orientación preferencial de galerías, todo lo cual, es posible definir mediante la aplicación de modelos específicos según los aspectos geomecánicos que se requiera optimizar.

A medida que se vaya profundizando la explotación, mayores serán las demandas de requerimientos geomecánicos para la estabilidad global de la mina, como a su vez, los efectos latentes y potenciales no deseados también serán mayores. Por esta razón, se hace imprescindible

mantener una actualización constante de los parámetros geomecánicos que pudieran producir explosiones de rocas, pérdidas de unidades de producción y aumentos descontrolados de sistemas de soporte-fortificación.

El relleno de labores es de vital importancia ya que reduce la ocurrencia de eventos sísmicos y en consecuencia los estallidos de rocas, también minimiza la liberación de energía y la magnitud del esfuerzos de corte de las estructuras geológicas, Limita la cantidad de deformación elástica de la masa rocosa afectada por el minado. El comportamiento del relleno como sostenimiento regional es largamente gobernado por su "porosidad". A menor porosidad mejor calidad del relleno. A mayor porosidad menor calidad del relleno, adecuadamente confinada contribuye a la estabilidad regional.

Realizar un Estudio del material o materiales más apropiados para el relleno, este estudio debe abarcar Mineralógica minerográfica, Propiedades físicas: distribución granulométrica por tamizado y sedimentación, velocidad de percolación, coeficiente de uniformidad, relaciones gravimétricas y volumétricas (densidades, peso específico, razón de poros, compacidad), Propiedades mecánicas: capacidad portante, corte directo y Propiedades químicas: análisis espectrográficos, análisis físico químico en fracciones solubles (ph, cloruros y sulfatos).

## **BIBLIOGRAFÍA**

Ángeles, Carlos.

Geología Estructural del Sector Oriental del Distrito Minero de Uchucchacua (2,002).

Arenas F. Mario.

Exploración en las zonas de mármol, Socorro Uchucchacua (Abr. 1,966)

Estratigrafía y depósitos minerales en Uchucchacua (Jul. 1,969).

Azocar, Walter.

Estudio Geológico del Prospecto Minero Huantajalla (2,001).

Estudio Geológico del Prospecto Lucrecia (2,000).

Cobing J., Garagay J.

Geología del cuadrángulo de Oyón S. de G. y M. (1,971).

Bath, C., y S. Duda. 1968. Secular Seismic Energy release in the circum pacific belt.

Bernal, I. 2001. Características y evaluación de la energía sísmica liberada. *Univ. Nac. San Agustín*. 170p.

Bernal, I., y H. Tavera. 2005. Evaluación de la sismicidad y distribución de la energía sísmica en Perú. *IGP Boletín de la Sec. Geológica del Perú* V 92 p 67-78

Carmona, J., y J. Castano. 1970. Distribución temporal de la energía liberada al sur de los 20° en el intervalo 1920-1970. *Inst. de Inv. Antisísmica de Argentina*. 25p.

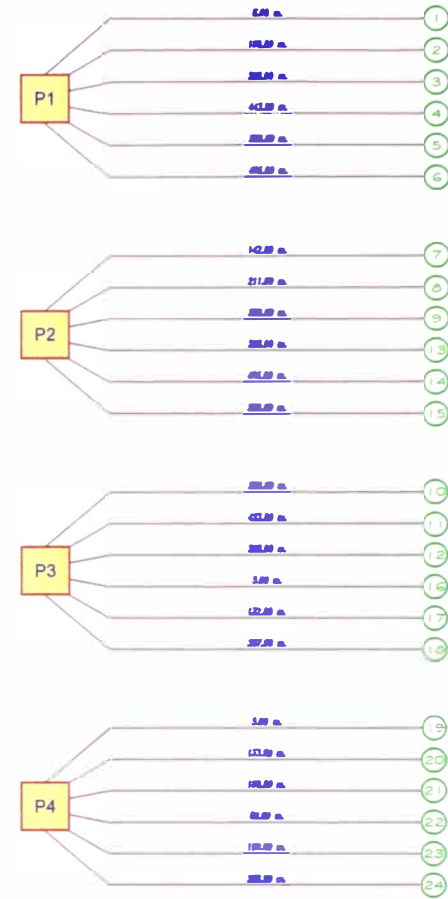
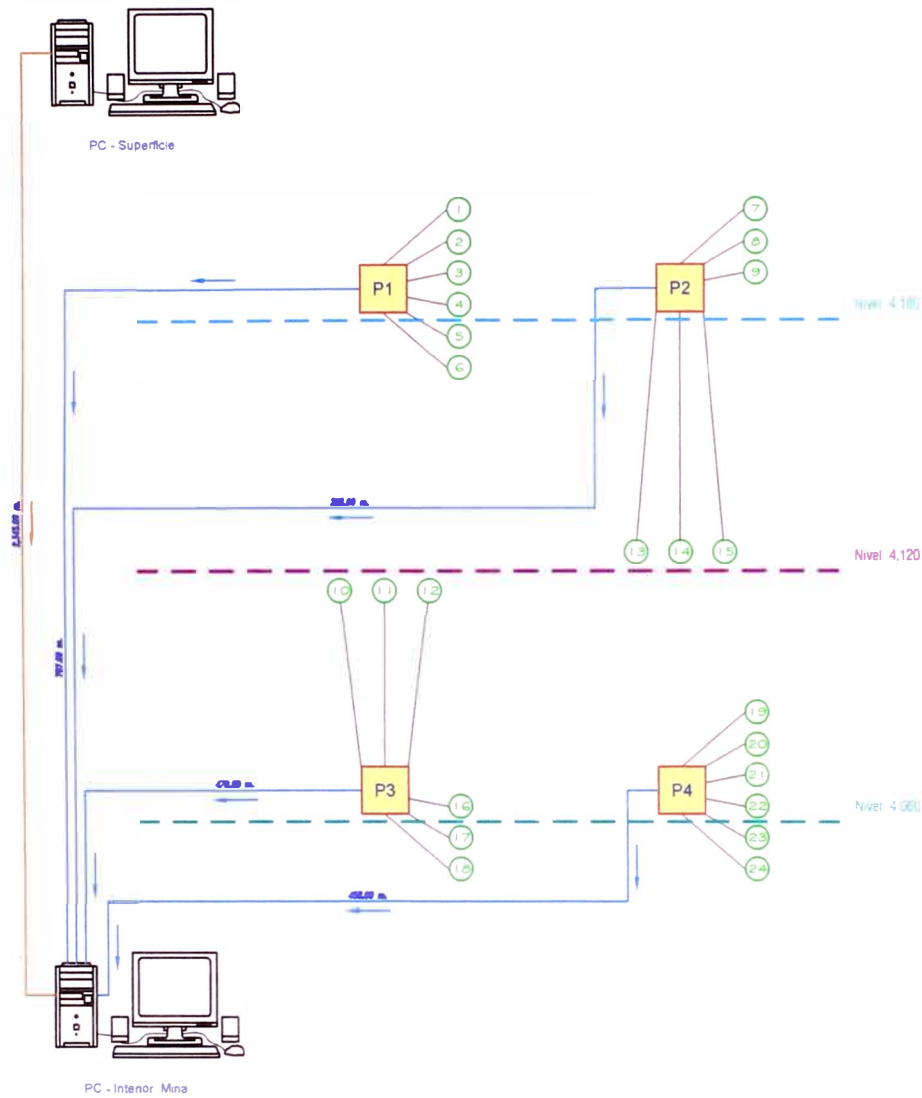
Krzyszton, Danuta. 2007. Susceptibility of rocks bumps. *Fundacja Nauta I traducie Górnice*. 102p

O'Diana, M., R. Lazo, y R. Rivera. 2005. Evaluación del Peligro Sísmico en el Sur del Perú (14° – 19° S). *Inst. Geofísico de la Univ. Nac. de San Agustín* p 29-60

Schneider, J., y B. Sacks. 1987. Stress in the contorted Nazca plate Beneath Sourther Perú from local Earthquakers. *Jour Geophy Res.* 92: 13887-13902

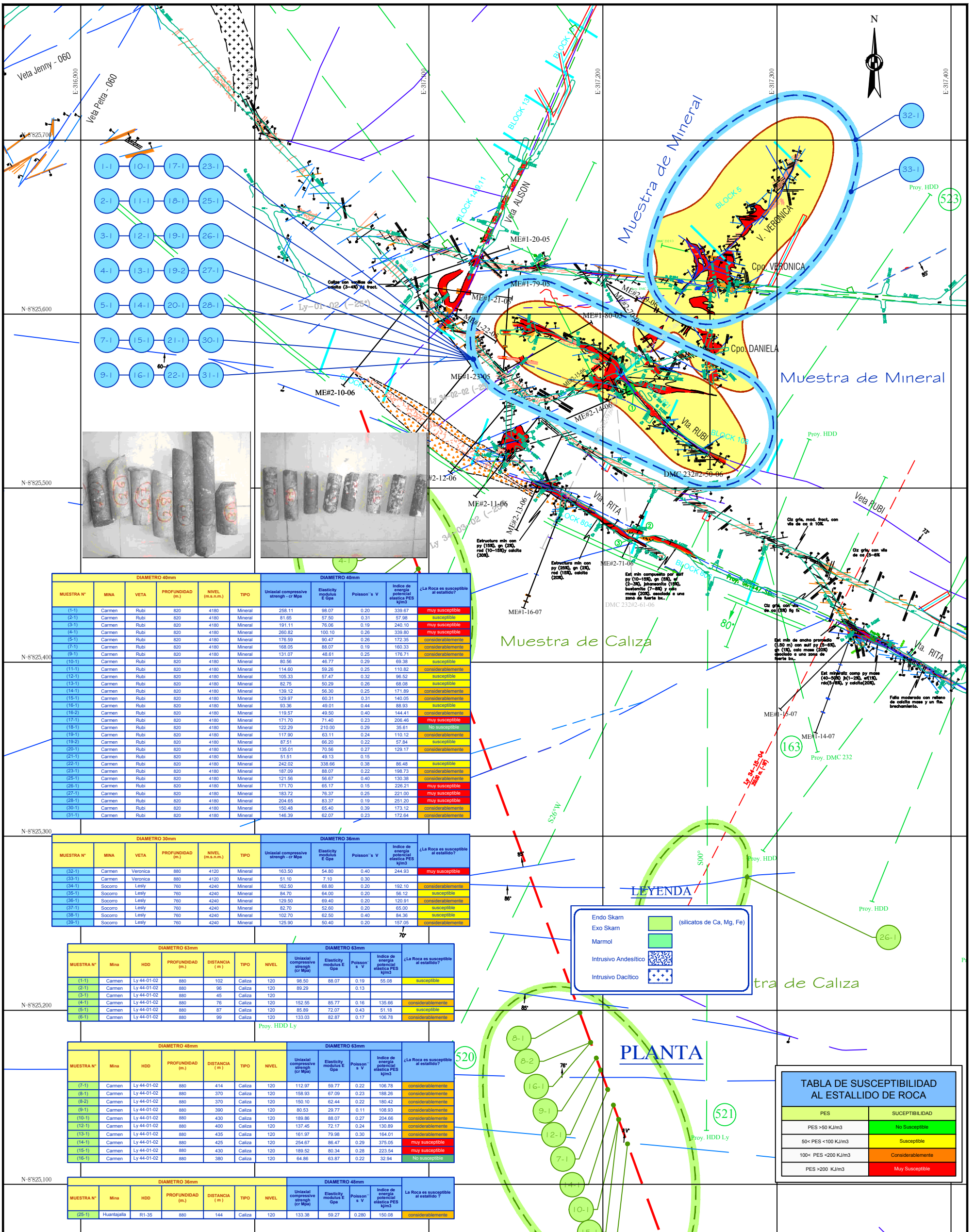
Tsuboi, Chuji. 7964. Time rate of energy release by earthquakes and Near Japan. *Geophysical Institute, University of Tokyo*. Vol XII N° 2.

## ANEXOS



Compañía de Minas <b>U. P. UCHUCCHACUA</b> <b>Buena Ventura</b>	<b>Supervisión Microsísmica ESG</b> Diagrama Unifilar - Instalación Mina Carmen		Formato : A2
			Lamina : 1/1
Diseñado : Ing. David Regalado P.	Departamento : Geomecánica Sección de desarrollo : Dibujo		Escala : S/E
Dibujado :			Código DWG : U
Revisado : Ing. Victor Hernandez Díaz			
Aprobado : Ing. Julio Rojas E.			
Nombre Layout :			
Ruta :			





DIAMETRO 40mm					DIAMETRO 40mm					¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	VETA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIPO	Uniaxial compressive strength - $\sigma_{cp}$ Mpa	Elasticity modulus E Gpa	Poisson's $\nu$	Indice de energía potencial elástica PES kJ/m <sup>3</sup>	
(1-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	258.11	98.07	0.20	339.07	muy susceptible
(2-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	81.65	57.50	0.31	57.98	susceptible
(3-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	191.11	76.05	0.19	240.10	muy susceptible
(4-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	260.82	100.10	0.26	339.80	muy susceptible
(5-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	176.59	90.47	0.26	172.35	considerablemente
(7-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	168.05	88.07	0.19	160.33	considerablemente
(8-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	131.07	48.61	0.25	176.71	considerablemente
(10-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	80.56	46.77	0.29	69.38	susceptible
(11-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	114.60	59.26	0.25	110.82	considerablemente
(12-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	105.33	57.47	0.32	96.52	susceptible
(13-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	82.75	50.29	0.26	68.08	susceptible
(14-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	130.12	56.30	0.25	171.89	considerablemente
(15-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	129.97	60.31	0.31	140.05	considerablemente
(16-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	93.36	49.01	0.44	88.93	susceptible
(16-2)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	119.57	49.50	0.40	144.41	considerablemente
(17-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	171.70	71.40	0.23	206.46	muy susceptible
(18-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	122.29	210.00	0.29	35.61	No susceptible
(18-2)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	117.90	63.11	0.24	110.12	considerablemente
(19-2)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	87.51	66.20	0.22	57.84	susceptible
(20-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	135.01	70.56	0.27	128.17	considerablemente
(21-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	51.51	49.13	0.15	105.05	susceptible
(22-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	242.02	338.66	0.38	86.48	susceptible
(23-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	187.09	88.07	0.22	198.73	considerablemente
(25-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	121.56	56.67	0.40	130.38	considerablemente
(26-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	171.70	65.17	0.15	226.21	muy susceptible
(27-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	183.72	76.37	0.25	221.00	muy susceptible
(28-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	204.85	83.37	0.19	251.20	muy susceptible
(30-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	150.48	65.40	0.39	172.12	considerablemente
(31-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	146.39	62.07	0.23	172.64	considerablemente

DIAMETRO 30mm					DIAMETRO 36mm					¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	VETA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIPO	Uniaxial compressive strength - $\sigma_{cp}$ Mpa	Elasticity modulus E Gpa	Poisson's $\nu$	Indice de energía potencial elástica PES kJ/m <sup>3</sup>	
(32-1)	Carmen	Veronica	880	4120	Mineral	163.50	54.80	0.40	244.93	muy susceptible
(33-1)	Carmen	Veronica	880	4120	Mineral	51.10	7.10	0.30	10.90	susceptible
(34-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	162.50	68.80	0.20	192.10	considerablemente
(35-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	84.70	64.00	0.20	56.12	susceptible
(36-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	129.50	69.40	0.20	120.91	considerablemente
(37-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	82.70	52.80	0.29	65.00	susceptible
(38-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	102.70	62.50	0.40	84.36	susceptible
(39-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	125.90	50.40	0.20	157.05	considerablemente

DIAMETRO 63mm							DIAMETRO 63mm							¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	HDD	PROFUNDIDAD (m)	DISTANCIA (m)	TIPO	NIVEL	Uniaxial compressive strength for Mpa	Elasticity modulus E Gpa	Poisson's $\nu$	Indice de energía potencial elástica PES kJ/m <sup>3</sup>	La Roca es susceptible al estallido?			
(1-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	102	Caliza	120	98.50	88.07	0.19	55.08	susceptible			
(2-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	96	Caliza	120	89.29	82.87	0.13	64.70	considerablemente			
(3-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	45	Caliza	120	152.55	85.77	0.16	135.66	considerablemente			
(4-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	76	Caliza	120	85.89	72.07	0.43	51.18	susceptible			
(5-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	99	Caliza	120	133.03	82.87	0.17	106.78	considerablemente			

DIAMETRO 48mm							DIAMETRO 63mm							¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	HDD	PROFUNDIDAD (m)	DISTANCIA (m)	TIPO	NIVEL	Uniaxial compressive strength for Mpa	Elasticity modulus E Gpa	Poisson's $\nu$	Indice de energía potencial elástica PES kJ/m <sup>3</sup>	La Roca es susceptible al estallido?			
(7-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	414	Caliza	120	112.97	59.77	0.22	108.78	considerablemente			
(8-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	370	Caliza	120	158.93	67.09	0.23	188.26	considerablemente			
(8-2)	Carmen	Ly 44-01-02	880	370	Caliza	120	150.10	62.44	0.22	180.42	considerablemente			
(9-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	390	Caliza	120	80.53	29.77	0.11	108.93	considerablemente			
(10-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	430	Caliza	120	189.86	88.07	0.27	204.66	considerablemente			
(12-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	400	Caliza	120	137.45	72.17	0.24	130.89	considerablemente			
(13-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	435	Caliza	120	161.97	79.98	0.30	164.01	considerablemente			
(14-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	425	Caliza	120	254.67	86.47	0.29	375.05	muy susceptible			
(15-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	430	Caliza	120	189.52	80.34	0.28	223.54	muy susceptible			
(16-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	380	Caliza	120	64.86	63.67	0.22	32.94	No susceptible			

DIAMETRO 36mm							DIAMETRO 48mm							¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	HDD	PROFUNDIDAD (m)	DISTANCIA (m)	TIPO	NIVEL	Uniaxial compressive strength for Mpa	Elasticity modulus E Gpa	Poisson's $\nu$	Indice de energía potencial elástica PES kJ/m <sup>3</sup>	La Roca es susceptible al estallido?			
(25-1)	Huancabamba	R1-35	880	144	Caliza	120	133.38	59.27	0.280	150.08	considerablemente			

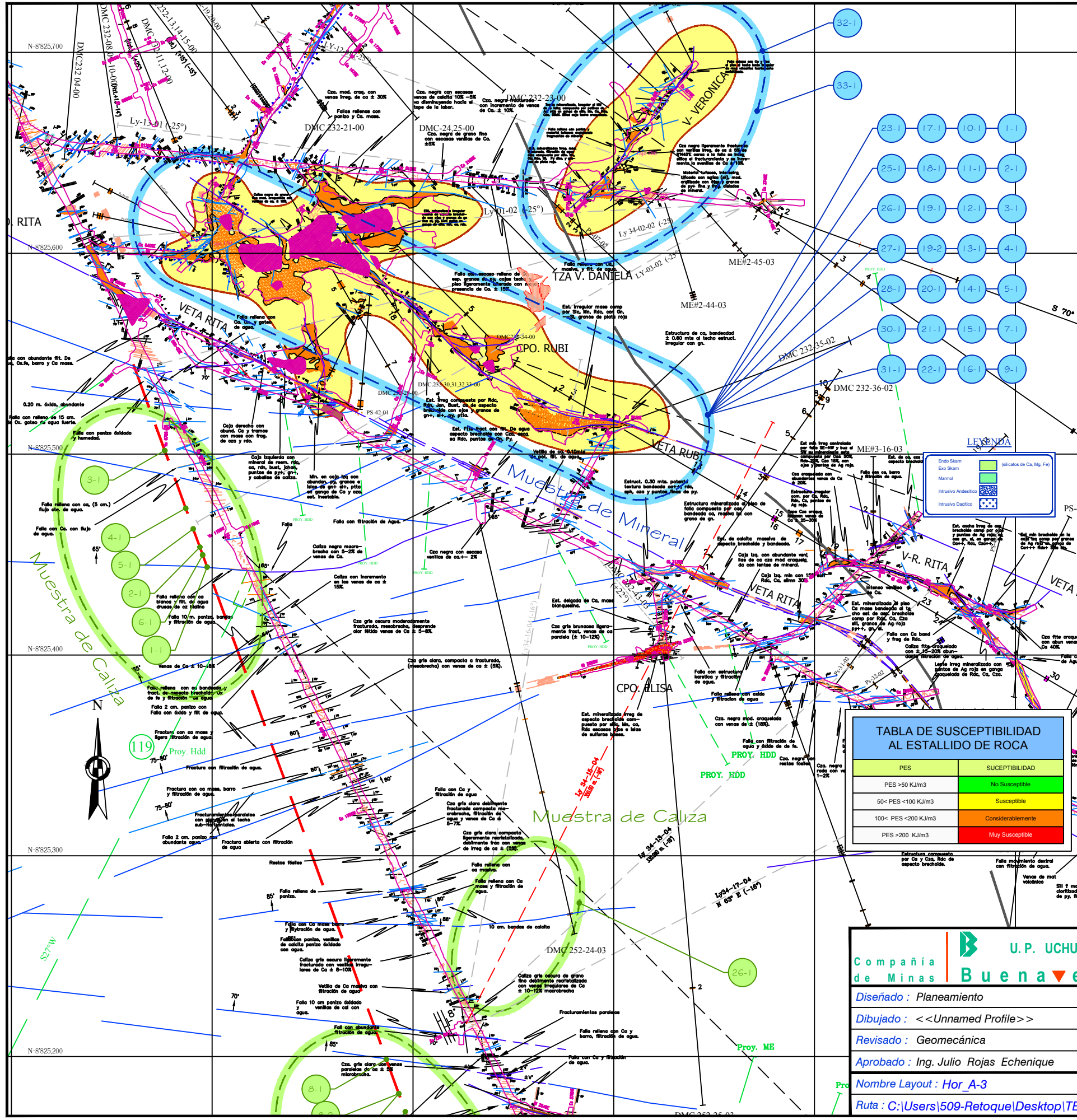
**LEYENDA**

- Endo Skarn (silicatos de Ca, Mg, Fe)
- Exo Skarn
- Marmol
- Intrusivo Andesítico
- Intrusivo Dacítico

**TABLA DE SUSCEPTIBILIDAD AL ESTALLIDO DE ROCA**

PES	SUSCEPTIBILIDAD
PES >50 KJ/m <sup>3</sup>	No Susceptible
50< PES <100 KJ/m <sup>3</sup>	Susceptible
100< PES <200 KJ/m <sup>3</sup>	Considerablemente
PES >200 KJ/m <sup>3</sup>	Muy Susceptible

<p><b>Compañía de Minas Buenaventura</b></p> <p>Diseñado : Planeamiento</p> <p>Dibujado : &lt;&lt;Unnamed Profile&gt;&gt; 23/05/2018</p> <p>Revisado : Geomecánica</p> <p>Aprobado : Ing. Julio Rojas Echenique</p> <p>Nombre Layout : Ver_A-3</p> <p>Ruta : C:\Users\509-Retoque\Desktop\TESIS ARMADAS\Flavio 23-05-18\G-24029\Niv-060_Muestra_Polonia.dwg</p>	<p><b>U.P. UCHUCCHACUA</b></p> <p><b>Pruebas Laboratorio - Polonia</b></p> <p>Rocas Suceptibles a Estallidos</p> <p>Compósito - Nivel 4,060</p> <p>Mina CARMEN</p> <p>Departamento : Geomecánica</p> <p>Sección de desarrollo : Dibujo</p>	<p>Formato : A3</p> <p>Lámina : 2/2 Rev. : A</p> <p>Escala : 1:2,000</p> <p>Código DWG : U</p>
---	--	--



DIAMETRO 40mm							DIAMETRO 40mm				¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	VETA	PROFUNDIDAD (m.)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIPO	Uniaxial compressive strength - cr (Mpa)	Elasticity modulus E (Gpa)	Poisson's V	Indice de energía potencial elástica PES (kJ/m3)		
(1-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	258.11	98.07	0.20	339.67	may susceptible	
(2-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	81.65	57.50	0.31	57.98	susceptible	
(3-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	191.11	76.06	0.19	240.10	may susceptible	
(4-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	260.82	100.10	0.26	339.80	may susceptible	
(5-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	176.59	90.47	0.26	172.35	considerablemente	
(7-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	168.05	88.07	0.19	160.33	considerablemente	
(9-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	131.07	48.61	0.25	176.71	considerablemente	
(10-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	80.56	46.77	0.29	69.38	susceptible	
(11-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	114.60	59.26	0.25	110.82	considerablemente	
(12-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	105.33	57.47	0.32	96.52	susceptible	
(13-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	82.75	50.29	0.28	68.98	susceptible	
(14-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	139.12	58.30	0.25	171.89	considerablemente	
(15-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	129.97	60.31	0.31	140.05	considerablemente	
(16-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	93.38	49.01	0.44	88.93	susceptible	
(18-2)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	119.57	49.50	0.40	144.41	considerablemente	
(17-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	171.70	71.40	0.23	206.48	may susceptible	
(18-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	122.29	210.00	0.29	35.61	No susceptible	
(19-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	117.90	63.11	0.24	110.12	considerablemente	
(19-2)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	87.51	66.20	0.22	57.84	susceptible	
(20-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	135.01	70.56	0.27	129.17	considerablemente	
(21-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	51.51	49.13	0.15	10.25	susceptible	
(22-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	242.02	338.66	0.38	86.48	susceptible	
(23-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	187.09	88.07	0.22	198.73	considerablemente	
(25-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	121.56	56.67	0.40	130.38	considerablemente	
(26-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	171.70	65.17	0.15	228.21	may susceptible	
(27-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	183.72	76.37	0.25	221.00	may susceptible	
(28-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	204.65	83.37	0.19	251.20	may susceptible	
(30-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	150.48	65.40	0.39	173.12	considerablemente	
(31-1)	Carmen	Rubi	820	4180	Mineral	146.39	62.07	0.23	172.64	considerablemente	

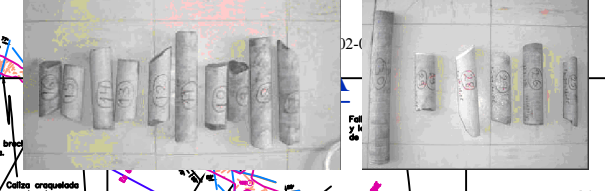
DIAMETRO 30mm							DIAMETRO 30mm				¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	VETA	PROFUNDIDAD (m.)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIPO	Uniaxial compressive strength - cr (Mpa)	Elasticity modulus E (Gpa)	Poisson's V	Indice de energía potencial elástica PES (kJ/m3)		
(32-1)	Carmen	Veronica	880	4120	Mineral	163.50	54.80	0.40	244.93	may susceptible	
(33-1)	Carmen	Veronica	880	4120	Mineral	51.10	7.10	0.30	7.10	considerablemente	
(34-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	162.50	68.80	0.20	192.10	considerablemente	
(35-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	84.70	64.00	0.20	56.12	susceptible	
(36-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	129.50	69.40	0.20	120.91	considerablemente	
(37-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	82.70	52.60	0.20	65.00	susceptible	
(38-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	102.70	62.50	0.40	84.36	susceptible	
(39-1)	Socorro	Lesly	760	4240	Mineral	125.90	50.40	0.20	157.05	considerablemente	

DIAMETRO 63mm							DIAMETRO 63mm				¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	HDD	PROFUNDIDAD (m.)	DISTANCIA (m.)	TIPO	NIVEL	Uniaxial compressive strength (cr) (Mpa)	Elasticity modulus E (Gpa)	Poisson's V	Indice de energía potencial elástica PES (kJ/m3)	
(1-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	102.000	Caliza	120	98.50	88.07	0.19	55.08	susceptible
(2-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	96.000	Caliza	120	89.29	88.07	0.13	106.78	considerablemente
(3-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	45.000	Caliza	120	152.55	85.77	0.16	135.66	considerablemente
(4-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	76.000	Caliza	120	152.55	85.77	0.16	135.66	considerablemente
(5-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	87.000	Caliza	120	85.89	72.07	0.43	51.18	susceptible
(6-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	99.000	Caliza	120	133.03	82.87	0.17	106.78	considerablemente

DIAMETRO 48mm							DIAMETRO 48mm				¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	HDD	PROFUNDIDAD (m.)	DISTANCIA (m.)	TIPO	NIVEL	Uniaxial compressive strength (cr) (Mpa)	Elasticity modulus E (Gpa)	Poisson's V	Indice de energía potencial elástica PES (kJ/m3)	
(7-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	414	Caliza	120	112.97	59.77	0.22	106.78	considerablemente
(8-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	370	Caliza	120	158.93	67.09	0.23	168.26	considerablemente
(8-2)	Carmen	Ly 44-01-02	880	370	Caliza	120	150.10	62.44	0.22	180.42	considerablemente
(9-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	390	Caliza	120	80.53	29.77	0.11	108.93	considerablemente
(10-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	430	Caliza	120	189.86	88.07	0.27	204.66	considerablemente
(12-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	400	Caliza	120	137.45	72.17	0.24	130.89	considerablemente
(13-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	435	Caliza	120	161.97	79.98	0.30	164.01	considerablemente
(14-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	425	Caliza	120	254.67	86.47	0.29	375.05	may susceptible
(15-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	430	Caliza	120	189.52	80.34	0.28	223.54	may susceptible
(16-1)	Carmen	Ly 44-01-02	880	380	Caliza	120	64.86	63.87	0.22	32.94	No susceptible

DIAMETRO 48mm							DIAMETRO 48mm				¿La Roca es susceptible al estallido?
MUESTRA N°	MINA	HDD	PROFUNDIDAD (m.)	DISTANCIA (m.)	TIPO	NIVEL	Uniaxial compressive strength (cr) (Mpa)	Elasticity modulus E (Gpa)	Poisson's V	Indice de energía potencial elástica PES (kJ/m3)	
(26-1)	Carmen	Ly-34-16-06	880	18-20	Caliza	120 000	279.59	100.66	0.28	388.28	may susceptible

PES	SUSCEPTIBILIDAD
PES < 50 KJ/m3	No Susceptible
50 < PES < 100 KJ/m3	Susceptible
100 < PES < 200 KJ/m3	Considerablemente
PES > 200 KJ/m3	Muy Susceptible



**Compañía de Minas Buena Ventura** U.P. UCHUCCHACUA

Diseñado: Planeamiento  
 Dibujado: <<Unnamed Profile>>  
 Revisado: Geomecánica  
 Aprobado: Ing. Julio Rojas Echenique  
 Nombre Layout: Hor\_A-3  
 Ruta: C:\Users\509-Retoque\Desktop\TESIS ARMADAS\Flavio 23-05-18\G-24029\Niv-120 Muestra Polonia.dwg

23/05/2018

**Pruebas Laboratorio - Polonia**  
 Rocas Susceptibles a Estallidos  
 Compósito - Nivel 4,120  
 Mina CARMEN

Departamento: Geomecánica  
 Sección de desarrollo: Dibujo

Formato:	A3
Lámina:	1/2
Rev.:	A
Escala:	1:2,000
Código DWG:	U