

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



“MANEJO DEL RIESGO SISMICO EN MINA YAULIYACU”

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:
DAVID REINOSO OSORIO**

Lima - Perú

2011

RESUMEN

Considerando desde los antecedentes de los Eventos Micro Sísmicos ocurridos en mina Yauliyacu; hasta la implementación y funcionamiento del Sistema de Monitoreo Micro sísmico desde Mayo a Diciembre del 2010, como una herramienta que evidencia una sismicidad inducida producto de las operaciones mineras; sumado a esto las condiciones presentes como calidad de roca, labores a gran profundidad y una geología estructural compleja.

Es posible analizar el **Riesgo Sísmico** como producto de tres factores: Probabilidad Sísmica, la Consecuencia y Exposición; siendo necesario la implementación de Controles que minimicen el Riesgo Sísmico, así como la valorización de este último.

LISTAS ESPECIALES

	Pág.
Figura N° 1 – Ubicación y Accesibilidad a UM Yauliyacu	3
Figura N° 2 – Plano Estratigráfico de UM Yauliyacu	9
Figura N° 3 – Plano Geológico Estructural de UM Yauliyacu	10
Plano N° 1 – Plano Sección Longitudinal Vertical de la Veta	11
Figura N° 4 – Plano Zoneación Estructural de UM Yauliyacu	12
Cuadro N° 1 – Tajos a Rellenar (24 Mayo 2011)	21
Cuadro N° 2 – Niveles en UM Yauliyacu	25
Plano N° 2 – Vista Longitudinal de Secciones en UM Yauliyacu	26
Figura N° 16 – Vista Longitudinal de Esfuerzos In-Situ	30
Figura N° 17 – Vista Longitudinal / Modelamiento Phases2	34
Figura N° 21 – Plano de Esquema de Ubicación de Geófonos	40
Figura N° 22 – Plano de Diagrama de Instalación de SMM	41
Figura N° 23 – Plano de Diagrama de la Fibra Óptica	42
Plano N° 3 – Plano Ubicación de Geófonos Nv. 1700	43
Plano N° 4 – Plano Ubicación de Geófonos Nv. 2500	44
Plano N° 5 – Plano Ubicación de Geófonos Nv. 3300	45

Plano N° 6 – Plano Ubicación de Geófonos Nv. 3900	46
Figura N° 24 – Vista 3D Ubicación de Geófonos	47
Cuadro N° 4 – Cronograma de Instalación del SMM	48
Cuadro N° 10 – Tabla de Reducción de Consecuencia / Exposición	58
Cuadro N° 11 – Tabla Clasificación del Riesgo Para Determinar la Necesidad de Soporte	60
Figura N° 28 a 33 – Consumo de Elementos de Sostenimiento	64
Figura N° 41 – Relación Frecuencia – Magnitud	89
Cuadro N° 16 – Número de Eventos y No Eventos en Yauliyacu	92
Figura N° 45 – Registro de Eventos de Mayo a Diciembre 2011	93
Cuadro N° 17 – Relación de las Constantes a/b	94
Figura N° 47 – Distribución de Poisson y Gauss	97
Figura N° 48 – Relación Frecuencia/Magnitud	99
Figura N° 49 – Probabilidad de Ocurrencia de un Microsismo	101
Figura N° 50 – Periodo de Retorno de un Microsismo	102
Cuadro N° 20 – Tabla de Evaluación de Riesgo	106
Cuadro N° 21 – Tabla de Herramientas de Control del RS	107

INDICE

	Pág.
Introducción	1
Capítulo I: Características Generales de la UM Yauliyacu	
I.1 Ubicación y Accesibilidad	2
I.2 Marco Geológico	3
I.2.1 Geomorfología	3
I.2.2 Geología Regional	4
I.2.3 Estratigrafía	5
Capítulo II: Antecedentes de Eventos en UM Yauliyacu	
II.1 Nv. 1900 Estallido de Roca 15.05.2009	14
II.2 Nv. 1700, 1900, 2100 y 3000 24/25.08.2	17
II.3 Nv. 1900 Bp 648S Estallido de Roca 03.07.2010	19
II.4 Nv. 2500 Gal. 684 Estallido de Roca 13.11.2010	20
II.5 Nv. 3600 Gal. 637 Estallido de Roca 26.09.2010	21

Capítulo III: Condiciones para Eventos Micro Sísmicos en UM Yauliyacu	
III.1 Aumento del Nivel de Esfuerzos	23
III.2 Excavaciones a Gran Profundidad	25
III.3 Rocas Competentes	27
III.4 Sistemas Estructurales	27
III.5 Modelamiento del Esfuerzo Principal (σ_1)	31
Capítulo IV: Instalación del Sistema Micro Sísmico	
IV.1 Ubicación de Geófonos	35
IV.2 Configuración del Sistema Micro Sísmico	36
IV.3 Costos y Requerimiento de Materiales	49
Capítulo V: Desafíos y Soluciones	
V.1 Pasada Sismicidad	53
Capítulo VI: Riesgo Sísmico en Minas Subterráneas	
VI.1 Probabilidad Sísmica	57
VI.2 Consecuencia	58
VI.3 Exposición	58
VI.4 Minimización de Consecuencia en Yauliyacu	59
VI.4.1. Sostenimiento Subterráneo	59
VI.4.2 Cambios en el Desarrollo de la Mina	67
VI.4.2.1 Restricciones en Minado Open Stope	67
VI.4.2.2 Restricciones en Minado SLS	72
VI.4.2.3 Relleno de Espacios Vacíos	75
VI.5 Minimización de Exposición en Yauliyacu	75

VI.5.1	Protocolos de Reingreso	75
VI.5.2	Exclusión a Áreas con Alto Riesgo Sísmico	79
VI.5.3	Equipos a Control Remoto	86
Capítulo VII: Probabilidad Sísmica en Minas Subterráneas		
VII.1	Relaciones Frecuencia - Magnitud	99
Capítulo VIII: Marco Teórico Conceptual de la Probabilidad Sísmica		
VIII.1	Aplicación de la Distribución de Poisson y Campana de Gauss para la Validación de Data	96
VIII.2	Aplicación de Método Mínimos Cuadrados para la Recta Frecuencia – Magnitud	98
VIII.3	Probabilidad de Ocurrencia	100
VIII.4	Periodo de Retorno	101
VIII.5	Cuadros Estadísticos	103
Capítulo IX: Valorización del Riesgo Sísmico		
IX.1	Tablas Para Valorizar el Riesgo Sísmico	105
Conclusiones		108
Recomendaciones		116
Bibliografía		118

INTRODUCCION

En Minera Yauliyacu la presencia de Eventos Micro Sísmicos es un tema cada vez más importante dentro de las Operaciones Mineras, y que está relacionado con el tema de Seguridad. Con la instalación de más de un año del Equipo Micro Sísmico, el registro, manejo e interpretación de la Data es importante para tratar de comprender este Fenómeno, cada vez más común.

Por otra parte el tema de la implementación de Controles están orientados a tres campos: Probabilidad Sísmica, la Consecuencias y la Exposición; para en forma conjunta minimizar el Riesgo Sísmico. Aquí se detallan cada uno de estos ítems en forma concreta; y se menciona la Valorización para tratar de cuantificar este valor - Riesgo Sísmico - y los Controles aplicados en Mina Yauliyacu; todo ello se basa en el registro y filtrado de datos desde Mayo a Diciembre del 2010.

CAPITULO I: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA UNIDAD

MINERA YAULIYACU

I.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La mina Yauliyacu se encuentra en el distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, a una altitud de 4250 msnm, localizada en la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, en la cuenca hidrográfica del río Rímac, entre las coordenadas 11° 3' Latitud S y 76° 10' Longitud W.

El acceso se realiza por la Carretera Central, asfaltada, hasta llegar al Km. 115, desde donde a través de una carretera afirmada se llega a la mina Yauliyacu recorriendo un tramo de 1 Km.

La altitud juega un papel muy importante en el clima y la vegetación, los periodos lluviosos, con máximas precipitaciones se dan

entre los meses de Diciembre – Abril y los periodos de sequía corresponden a los meses de Mayo – Noviembre. Ver Figura N° 1.

Figura N° 1. Ubicación y Accesibilidad a Mina Yauliyacu



Fuente: Área de Planeamiento – Yauliyacu

1.2 MARCO GEOLÓGICO

1.2.1 Geomorfología

El área de estudio corresponde a una geomorfología de relieve abrupto, conformada por montañas elevadas las cuales están disectadas por el río Rímac. El relieve es moderado con formas topográficas de una

geomorfología glacial, en cuyos remanentes de la antigua actividad glacial, se observan depósitos morrénicos ubicados a ambos márgenes del valle, los cuales son profundos, con una sección en forma de V, que ha formado el río por su acción erosiva (*Referencia "Bibliografía - R3"*).

1.2.2 Geología Regional

En el Cretáceo Superior, ocurrió la depositación de una secuencia calcárea. A fines del Cretáceo y principios del Terciario se depositó una secuencia sedimentaria, producto de la erosión post-fase Tectónica Peruana, denominada Formación Casapalca, la cual está conformada por dos miembros: Capas Rojas y Carmen.

En la etapa final del citado episodio tectónico tuvo lugar un magmatismo extrusivo que cubrió el área de flujos de lavas volcánicas andesíticas y tobas, que se intercalaron con sedimentos continentales, constituyendo las Formaciones Carlos Francisco, Bellavista y Río Blanco. La Formación Carlos Francisco está conformada por tres miembros: Tablachaca, Carlos Francisco y Yauliyacu.

A fines del Terciario Medio ocurrió la Tectogénesis Quechua I, que produjo plegamientos y fallas; luego sobrevino un nuevo ciclo volcánico formándose la secuencia volcánica Millotingo, el que fue por la Fase Tectónica Quechuana II. En el Terciario rre la Fase Quechuana III, a la que se asocia el volcánico

Pacococha, terminando el ciclo deformativo andino y desarrollándose un periodo de erosión que produjo la Superficie Puna, la que luego fue levantada, por un fallamiento gravitacional.

En el Cuaternario ocurrió la formación de depósitos morrénicos y coluviales (*Referencia "Bibliografía - R3"*).

1.2.3 Estratigrafía

En la era Mesozoica se desarrolló un ciclo sedimentario, seguido por una acumulación continental volcanoclástica, la que fue afectada por las diversas fases del ciclo de la tectogénesis Andina, sufriendo intensos movimientos estructurales, como consecuencia se formaron plegamientos de rumbo NNW – SSE. Ver Figura N° 3.

La secuencia calcárea del Cretáceo Superior se desarrolló en una sola unidad de gran espesor, denominada la Formación Jumasha, compuesta por calizas estratificadas en capas medianas a gruesas, alternadas con horizontes de margas y lutitas. Esta formación no aflora en el área estudiada, pero fue interceptada en el nivel 5,200 m - Túnel Graton. La Formación Jumasha da origen al levantamiento de la zona a fines del Cretáceo superior dando término a la sedimentación marina e inicio a la formación de facie continental.

La erosión consecuente origina la depositación de las molasas, a las cuales se le denomina en la zona central como Formación Casapalca. Ver Figura N° 2.

A la Formación Casapalca, de ambiente continental, localmente se le ha dividido en dos miembros: un miembro inferior denominado Miembro Capas Rojas y un miembro superior denominado Miembro Carmen. El primero consiste en intercalaciones de areniscas, limonitas y lutitas rojizas, que ocasionalmente alternan con areniscas calcáreas y areniscas guijarrosas, encontrándose esta secuencia plegada y fallada. El segundo consiste en bancos de 2 a 5 m de conglomerados cuarcíticos, algo calcáreos, con matriz areno-limosa, de una coloración rojiza.

El Terciario comprende secuencias volcánico-sedimentarias de facies continental de los Andes. En la zona alta de la Cordillera Occidental aflora una gruesa secuencia de rocas volcánicas sedimentarias que yacen en concordancia sobre la Formación Casapalca, denominada Formación Carlos Francisco, la cual ha sido dividida en los siguientes tres miembros:

Miembro Tablachaca: Consiste en una secuencia de conglomerados, gravas y cantos, intercalados con tobas, brechas tobáceas, aglomerados y rocas porfiríticas.

Miembro Carlos Francisco: Conformado por una secuencia de derrames andesíticos porfiríticos y afaníticos de coloración gris, intercalados ocasionalmente con flujos de brechas volcánicas y pórfidos masivos.

Miembro Yauliyacu: Caracterizado por presentar intercalaciones de tobas lapillíticas, ocasionalmente se presentan capas de andesitas, limonitas y areniscas tobáceas. Yace concordante con el volcánico Carlos Francisco. A fines del Eoceno al Oligoceno se deposita una secuencia volcánica sedimentaria, reconociendo dos formaciones:

Formación Bellavista: Consistente en calizas margosas, con calizas negras silicificadas, tobas finas, andesitas tobáceas, lutitas y limolitas grises. Esta litología yace concordante sobre el miembro Yauliyacu, pasando gradacionalmente a la formación Río Blanco.

Formación Río Blanco: Consistente en una potente secuencia de tobas redepositadas, lapillíticas y areniscas tobáceas, intercaladas con tobas andesíticas y dacíticas y capas de calizas.

Los depósitos Cuaternarios, se localizan principalmente en las partes altas de las montañas y están conformados de la siguiente manera:

Depósitos Glaciares: Conformados por depósitos morrénicos antiguos a recientes que se encuentran en las cabeceras de los valles glaciares.

Depósitos Fluvio-glaciares: Corresponden a los materiales acarreados por el río desde la zona andina, formando terrazas de material aluvional.

Depósitos Aluviales: Formados por gravas y arenas con cantos rodados que se encuentran en los cursos medios e inferiores de los ríos.

Depósitos Coluviales: Formados al pie de las escarpas de las laderas de los cerros, constituidos por gravas y bloques sub – angulosos.

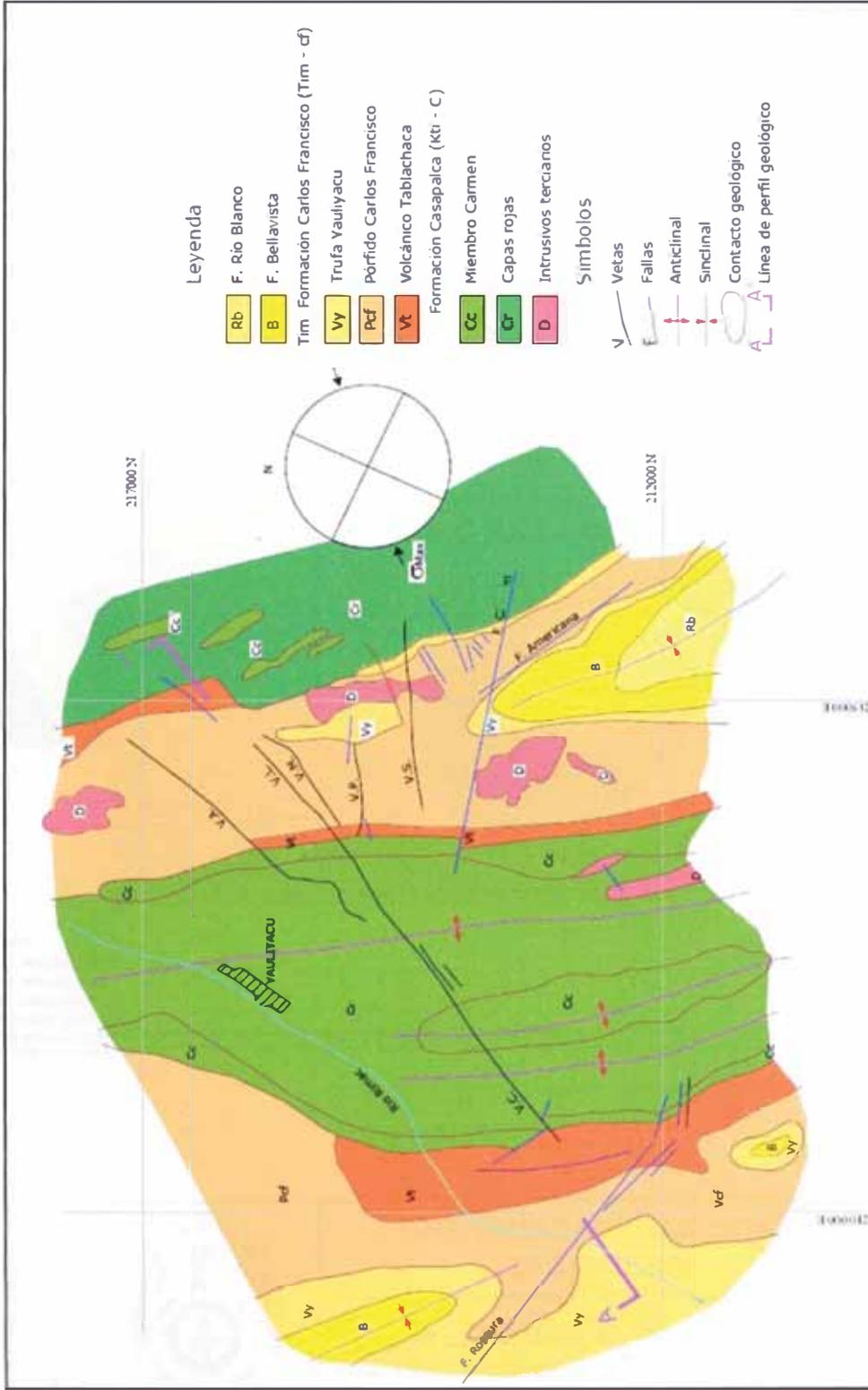
Finalmente, se presentan rocas intrusivas, formadas por cuerpos subvolcánicos, emplazados cerca de la superficie en forma de diques, sills o stocks. En el área afloran el pórfido Taruca, de composición andesítica, el pórfido Victoria, de composición dacítica, los pórfidos Veintiuno y Meiggs de composición andesítica y la brecha volcánica Huaytacancha (*Referencia "Bibliografía - R3"*).

Figura N° 2. Plano Estratigrafico de Mina Yauliyacu

ERA	SISTEMA	SERIE	FORMA	MIEMBRO	POTENCIA (m)	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	CUATERNARIO			Fluvio glaciar	N.D.		Material acarreado por ríos y quebradas, erosionados de los depósitos glaciares	
				Glaciar	N.D.		Morrenas antiguas	
	TERCIARIO	Medio	Superior	Mito Paco-Tingo cochua		1000		Derrames andesíticos y basálticos intercalados con flujos de brechas y andesitas tobáceas
						600		Derrames andesíticos y riocácíticos, flujos de brecha.
		Inferior	F. Rio Blanco			300		Tobas, areniscas tobáceas, aglomerados, brechas tobáceas, ocasionalmente tobas andesíticas
				F. Bellavista		400 a 900		Calizas margosas y silicificadas, tobas frias, lutitas y limolitas.
			F. Carlos Francisco	Yauliyacu	400 a 900		Tobas con intercalaciones de toba lapilíticas ocasionalmente capas de andesita, limolitas y areniscas tobáceas.	
				Carlos Francisco	400 a 1000		Derrames andesíticos porfirídeos, intercalados con flujos de brecha volcánica y porfiridos.	
				Tablachaca	400 a 700		Conglomerados, gravas y cantos, intercalados con tobas, brechas tobáceas, aglomerados y rocas porfiríticas.	
			F. Casapalca	Carmen	100 a 250		Conglomerado cuarcítico, algo calcáreo en matriz arena limosa, ocasionalmente capas de arenisca y limolitas rojas.	
				Capas Rojas	1300		Intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas rojas, alternadas ocasionalmente con areniscas calcáreas y areniscas guajarrosas.	
			MESOZOICO	CRETACEO	Superior	F. Jumasha	250	

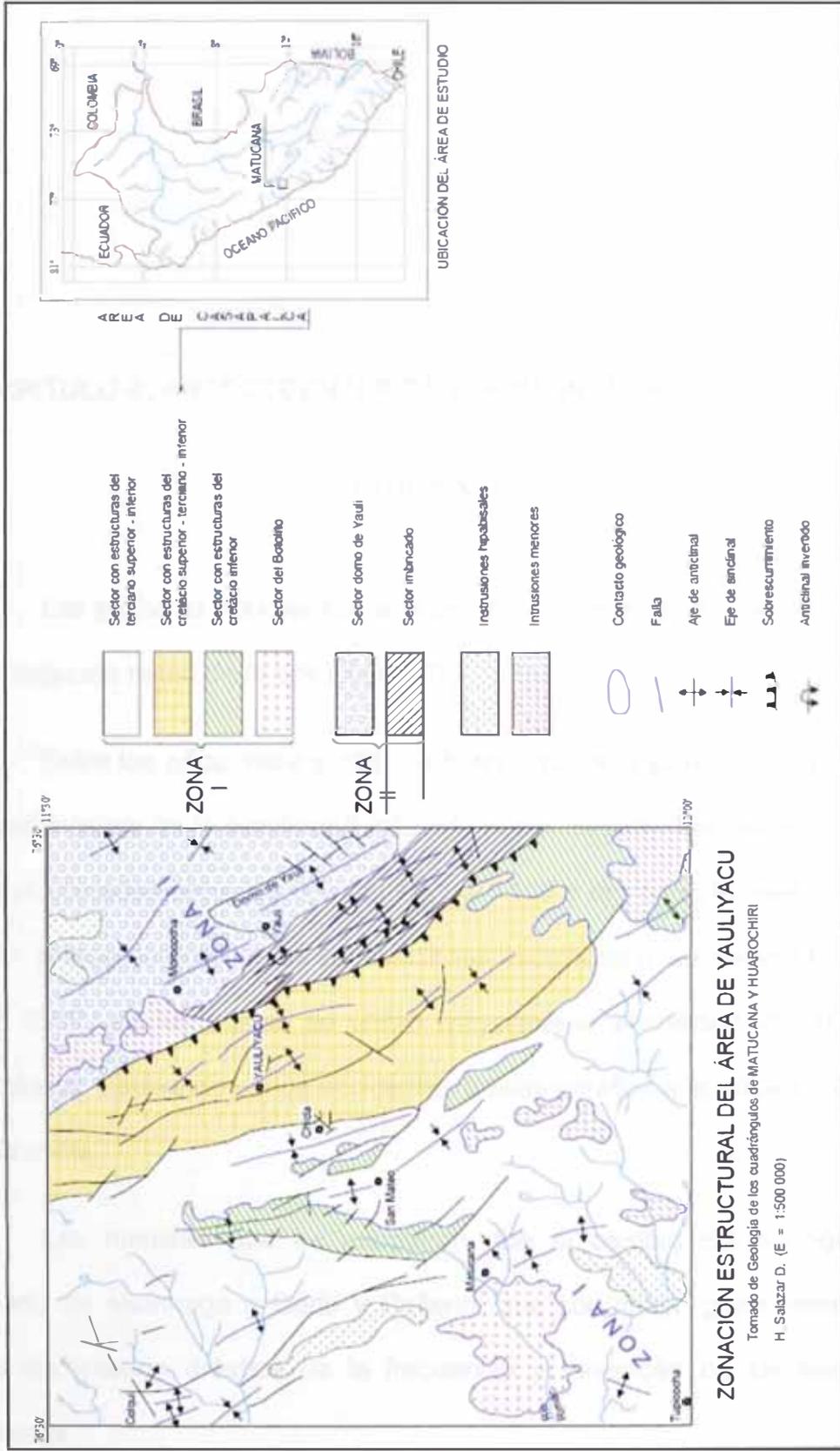
Fuente: Area de Geología – Yauliyacu

Figura Nº 3. Plano Geológico – Estructural de Mina Yauliyacu



Fuente: Area de Geología – Yauliyacu

Figura N° 4. Plano de Zonación Estructural de Mina Yauliyacu.



Fuente: Area de Geología – Yauliyacu

CAPITULO II: ANTECEDENTES DE EVENTOS MICRO SISMICOS EN YAULIYACU

Las primeras noticias sobre la ocurrencia de estallidos se remontan a la segunda mitad de la década del 70'.

Entre los años 1989 y 1991 la Mina Yauliyacu pasó por una etapa crítica a causa de la sismicidad inducida por el minado. Las áreas críticas fueron ubicadas entre los Niveles 1200 y 1500 y entre los Niveles 2300 y 3000, principalmente en las excavaciones asociadas a las Vetas M, N, O, P y 256P, en las cuales se utilizó mayormente el método de minado shrinkage. Causando varios accidentes fatales y daños a la infraestructura de la mina.

Las medidas que se adoptaron, fue el cambio del método de minado de shrinkage a Corte y Relleno, que contribuyó grandemente a una disminución drástica de la frecuencia y severidad de los eventos sísmicos.

En los últimos años se observa en la Mina Yauliyacu, que la actividad sísmica está en aumento.

II.1 NV. 1900 - 2100 ESTALLIDO DE ROCA 15.05.2009

El día Viernes 15 de mayo a horas 12:55 p.m., se escuchó y se sintió un remezón de unos 3 segundos que hizo vibrar las instalaciones de la mina. Inmediatamente se procedió a realizar inspecciones por las labores de la Zona Baja de la mina (Secciones IV, V y VI).

En ese momento se realizaron coordinaciones con el Área de Geomecánica de la Mina Casapalca, el cual también reportó fuertes movimientos en su Nivel 6 , área cercana al límite con la Unidad Yauliyacu, a la altura de la cota 4,000.

De las inspecciones realizadas se llegaron a determinar las zonas afectadas:

- Nivel 1900, By Pass 691, con 48 metros de desprendimiento de roca, y los tramos próximos afectados por relajamiento de roca. Cota 4,150.
- Nivel 1900, Crucero 665, altura intersección con ramal 204 M, 5 metros de desprendimiento de roca; y los tramos próximos afectados por relajamiento de roca. Cota 4,150.

- Nivel 2100, Galería 668 a 30 metros del tope, estallido de roca, con expulsión de aproximadamente 0.5 metros de roca del hastial izquierdo. Siendo el tramo más crítico. Cota 4,094.
- Nivel 2100, Galería 801 S, dos tramos afectados por desprendimiento de roca, el primero desde la entrada del Crucero 669 hasta la intersección con el ramal 204 M con 40 metros de tramo afectado; y el segundo tramo desde la entrada del Crucero 652 hasta 15 metros hacia Araucana. Cota 4,095.

Figura N° 5. By Pass 691 NV. 1900



Figura N° 6. Crucero 665 NV. 1900



Figura N° 7. Galería 668 a 30 metros del tope Nv. 2100



II.2 NV. 1700, 1900, 2100 y 3000 ESTALLIDO DE ROCA 24/25.08.2009

El día Lunes 24 (12:30 p.m.) y Martes 25 (04:34 a.m.); se evidenció dos eventos sísmicos de magnitud severa pues se sintieron hasta las instalaciones de superficie de la mina. El evento de mayor intensidad se registro el día Martes a las 4:34 a.m. Teniendo que aislar las zonas afectadas por el evento y realizar una inspección especial del Equipo de Soporte Técnico (EST), para determinar el grado de criticidad de las labores.

De las inspecciones realizadas se llegaron a determinar las zonas afectadas:

- Nivel 3000, Galería 672 c/ Ventana. 666, con 60 metros de estallidos de roca, con desprendimiento de mas de 15 m³ de roca. Cota 3,850.
- Nivel 2100, Crucero 663, que es una labor hacia la troncal IV, con 15 metros de estallido de roca, con desprendimiento de más de 5 m³ de roca. Cota 4,095.
- Nivel 2100, Galería 648 S, con 30 metros de desprendimiento de roca. Cota 4,095.
- Nivel 1900, By Pass 691, con 120 metros de desprendimiento de roca en hastial izquierdo. Cota 4,152.
- Nivel 1900, Galería 648 S, con 100 metros de desprendimiento de roca en hastial derecho. Cota 4,152.

Nivel 1700, Crucero 678, con 20 metros de desprendimiento de roca en ambos hastiales. Cota 4,212.

- Nivel 1700, Galería 678 S, con 100 metros de desprendimiento de roca, principalmente en el hastial derecho en la veta falla. Cota 4,212.

Figura N° 8. Galería 672 c/ Ventana 666 Nv. 3000



Figura N° 9. Galería 646 Nv. 2100



II.3 NV. 1900 BP 648S Desprendimiento de Roca 03.07.2010

Comprometido un tramo de 50 m. en el By Pass 648 S a la altura de la CA 652 y RP (+) 632.

El By Pass 648 S se encuentra en areniscas silisificadas, que son rocas de tipo Regular a Buena calidad. El día 02/06/10 se evidenció un evento de Magnitud Momento de 0.44 en las cercanías de dicho By Pass; el cual debilitó la labor; y debido a disparos y eventos cercanos a esta labor se produjo el desprendimiento de las rocas.

El sostenimiento en el By Pass 648 S será reforzado con malla de gallinero y pernos helicoidales cementados.

Figura N° 10. By Pass 648S Nv. 1900



II.4 NV. 2500 Galería 684 Estallido de Roca 13.11.2010

El día Sábado 13 a las 2:19 pm se originó un evento sísmico destructivo de Magnitud Momento 1.39, liberando 614,750 Joules de energía. Afectando el ingreso de la galería en forma de estallido de roca; colapsando el hastial derecho por falla paralela a la labor y comunicando en hastial izquierdo al tajo cercano.

Figura N° 11. Galería 684 Nv. 2500



II.5 NV. 3600 Galería 637 Desprendimiento de Roca 26.09.2010

El desprendimiento de roca tuvo lugar a las 3:45 p.m. del día Domingo 26/09/10, afectando 8 m. lineales del hastial izquierdo adyacentes a la Sub Estación N° 01 del NV. 3600.

Debido al sostenimiento con PBHSC + malla de gallinero instalado anteriormente, se minimizaron los daños en la labor (personales y materiales) al haber absorbido la energía liberada por el reventazón, conservando en buen estado los cables eléctricos que pasan por el hastial izquierdo.

Figura N° 12. Galería 637 Nv. 3600



Figura N° 13. Galería 637 Nv. 3600



CAPITULO III: CONDICIONES PARA EVENTOS MICRO SÍSMICOS

EN YAULIYACU

Los resultados, en general indican, que cada mina posee sus propias características y especificaciones, generando un tipo particular de vibraciones (movimientos del terreno), dependiendo del tipo de mineralización, tecnología y geología local. Estas diferencias locales son generalmente mucho más pronunciadas comparados con la sismicidad regional asociada a procesos tectónicos regionales.

III.1 AUMENTO DEL NIVEL DE ESFUERZOS (Presiones Inducidas

Por Excavaciones Adyacentes):

La densidad de las excavaciones o ubicación espacial de unas excavaciones con respecto a otras, aumenta probabilidad de generar zonas de alta concentración de esfuerzos. El minado próximo a áreas antiguas de minado, en los cuales no ha habido un adecuado re-

establecimiento del equilibrio de la masa rocosa involucrada, genera igualmente mayor disturbancia de los esfuerzos.

Las secciones con mayor historial de eventos micro sísmicos en la Unidad Minera Yauliyacu son la IV y V, debido a que presentan mayor cantidad de espacios abiertos y tajos vacíos, además de presentar mayor encampane – de más de 700 m -, por lo que se evaluó los tajos más críticos y se realizó un cronograma de relleno de tajos, al fin de eliminar esta condición favorable para la generación de eventos micro sísmicos.

La medida más importante que se está tomando es la de rellenar en forma sucesional y oportuna las excavaciones generadas por el avance del minado. Con esta medida se logra beneficios en el control de las altas concentraciones de esfuerzos que se generan con el minado. Evitando estas altas concentraciones de esfuerzos, se minimizara la ocurrencia de estallidos. Actualmente se está rellenando a razón de 25,000 m³/mes.

Cuadro N°1. Tajos a Rellenar (24 Mayo 2011)

Sección	Tajo - Nivel	VOL. TOTAL (m ³)	CUMPLIMIENTO	VOL. RELLENADO(m ³)	VOL. RESTANTE(m ³)	PRJORIDAD
IV	Plan de Relleno Mina Sección IV	99,500		28,600	70,900	
	TJ 654_1500_1700_VETA C	2,000	0%	0	2,000	8
	TJ 684_1700_1900_CPO M	7,000	0%	0	7,000	7
	TJ 648_1700_1900_VETA C	1,500	0%	0	1,500	6
	TJ 655_1700_1900_VETA C	10,000	20%	2,000	8,000	4
	TJ 684_1500_1700_CPO M	6,000	85%	5,100	900	5
	TJ 655_2300_2100_CPO M	30,000	35%	10,500	19,500	1
	TJ 680_2300_MPO P	25,000	44%	11,000	14,000	3
	TJ 688_2300_CPO M	18,000	0%	0	18,000	2
	V	Plan de Relleno Mina Sección V	133,203		75,712	57,491
TJ 675 Norte_2700_3000_VETA RUTH		8,900	75%	6,375	2,125	9
TJ 675 Sur_2700_3000_VETA RUTH		9,000	95%	8,550	450	8
TJ 682_3000 Inter_m_3000_RML M3		15,203	55%	8,362	6,841	7
TJ 647_3000_3300_VETA M		10,000	35%	3,500	6,500	12
TJ 649N_3600_3300_VETA M		8,900	40%	3,400	5,100	4
TJ 625_3300_3000_VETA M		37,500	90%	33,750	3,750	5
TJ 640_3900_3600_M		8,900	35%	2,975	5,525	2
TJ 638_3900_HORIZONTE		25,000	15%	3,750	21,250	1
TJ 624N_3900_3600_VETA M		5,900	40%	2,200	3,300	11
TJ 685_2700_3000_MARY		1,500	70%	1,050	450	10
TJ 671_2700_3000_RM23JM		1,900	45%	675	825	6
TJ 684_3000_3300_VETAM		2,500	45%	1,125	1,375	6
		272,703		104,312	128,391	

Fuente: Area de Mina – Yauliyacu

III.2 EXCAVACIONES A GRAN PROFUNDIDAD:

Los estallidos de roca constituyen un peligro en casi todas las minas subterráneas en el mundo. Tradicionalmente, dichos fenómenos son considerados poco probables en minas de roca suave, pero cuando las actividades mineras progresen en profundidad, los peligros asociados con los estallidos de roca pueden ocurrir. Diversos estudios indican que los estallidos de rocas comienzan a suceder a profundidad de 700 m (Yang, 1999), aunque algunos estallidos de rocas han sido reportados a profundidades más superficiales donde la actividad de esfuerzos tectónicos es alto. En general, los peligros asociados por los estallidos de rocas se incrementan con la profundidad, de allí que es importante realizar mayores esfuerzos de entender sus mecanismos, predicción, y mitigación.

Cuadro N° 2. Niveles en Yauliyacu

Antiguo	Nuevo	Dif. Cota	Sección		
HA	5000	60	I-III		
H0	4940	80			
H1	4860	60			
H2	4800	90			
H3	4710	70			
200	4640	60	II		
400	4580	40			
600	4540	50			
800	4490	70			
1000	4420	60			
1200	4360	50	IV		
1400	4310	50			
1500	4260	50			
1700	4210	60			
1900	4160	60			
2100	4090	50	V		VI
2300	4040	60			
2500	3980	50			
2700	3930	80			
3000	3850	70			
3300	3780	70			
3600	3710	60			
3900	3650	60			

Fuente: Area de Planeamiento – Yauliyacu

III.3 ROCAS COMPETENTES (Con Módulos De Deformación Altos):

Los estallidos ocurren en rocas que tienen resistencias compresivas en el rango de 100 a 400 Mpa, las rocas con menores resistencias compresivas son menos propensas a este fenómeno. Por otro lado, las rocas con módulos de elasticidad de 40 a 100 Gpa son propensas a estallidos de roca; por el contrario la propensidad disminuye cuando las rocas tienden a un comportamiento no elástico.

Por lo tanto, las áreas identificadas como propensas a estallidos de roca en la Mina Yauliyacu se encuentran en la Formación Capas Rojas, en donde se encuentran las areniscas silisificadas, que cumplen con los parámetros mencionados.

En términos de composición mineral, las rocas más silíceas y aquellas que contienen otros minerales duros son más propensas a los estallidos, mientras que por ejemplo los carbonatos y otros minerales sueltos no lo son.

III.4 SISTEMAS ESTRUCTURALES:

- La presencia de plegamientos, crean zonas muy susceptibles a la ocurrencia de los estallidos de rocas. Ver Figura N° 15.
- La presencia de fallas, las cuales constituyen debilidades en la estructura de la mina, favorece la ocurrencia de estallidos en sus proximidades. Ver Figura N° 14.

- Para mayor referencia consultar la Sección: "1.2 Marco Geológico".

Figura N° 14. Desplazamiento abrupto a lo largo de una Falla Principal



Fuente: Area de Geología – Yauliyacu

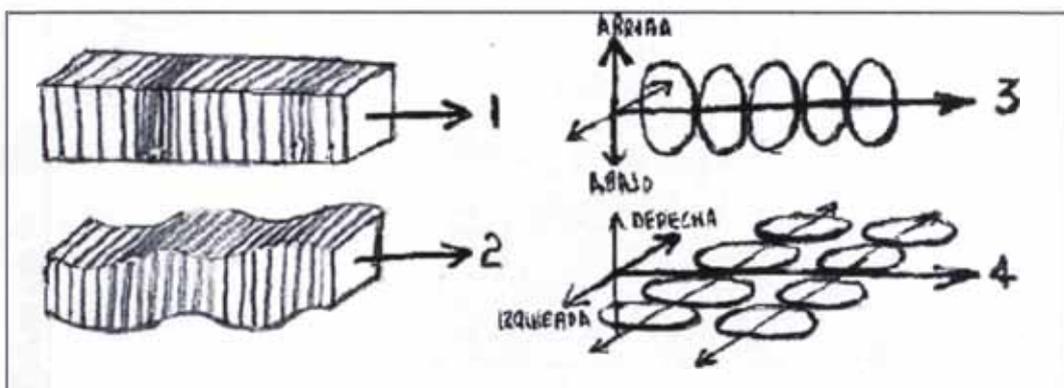
Los Geofonos instalados en el interior de una mina subterránea son utilizados para estudiar la geometría de la falla o mecanismo focal. Para ello es necesario comprender el comportamiento de las ondas elásticas que se propagan desde la falla. Para la determinación del mecanismo focal se utilizan dos tipos de ondas sísmicas; Las ondas P son compresionales, las partículas se desplazan en la dirección del movimiento, son las primeras en aparecer en el registro por ser las más rápidas. Las S o de cortante, más lentas, llegan de segundas; las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento, hacen más

daños por tener mayor amplitud, por ser ondas de cortante no cruzan líquidos.

Las ondas sísmicas son la transformación de la energía potencial en energía cinética. Las ondas P son debidas a la elasticidad de volumen del material, mientras las ondas S, son debidas a la elasticidad de la forma del medio de transmisión.

La velocidad media aparente de propagación de las ondas P oscila entre 8 y 13 Km./seg y para las ondas S entre 4.5 y 8.5 Km./seg.

Figura N° 15. Forma y Dirección de las Ondas



Fuente: "Mecanismo Focal de un Terremoto" – José A. Rodríguez Lozada

De la Figura precedente: 1. Onda P – 2 Onda S – 3 y 4 Forma de Onda.

Indudablemente el estudio y comprensión del tipo de ruptura de falla y su posterior análisis de mecanismo focal, es un tema bastante amplio que merecería un Estudio aparte; pero que sin duda, es importante para cualquier manejo micro sísmico.

III.5 MODELAMIENTO DEL ESFUERZO PRINCIPAL (Sigma 1)

Se ha realizado el Modelamiento en el Software Geomecánico PHASES2, ingresando los parámetros físicos aproximados del macizo rocoso. En donde se observa los esfuerzos máximos Sigma 1, alrededor de la zona de operaciones (Ver Figura N° 17).

Cuadro N° 3. Datos y Propiedades Físicas

Project Settings	
General	Project Title: Project Single stage model Analysis Type: Plane Strain Solver Type: Gaussian Elimination Units: Metric, stress as MPa
Field Stress	Field stress: gravity Ground surface elevation: 4550 m Unit weight of overburden: 0.025 MN/m ³ Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.5 Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.55 Locked-in horizontal stress (in-plane): 0 Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0
Materials Properties	<u>Material: arenisca</u> Initial element loading: field stress & body force Unit weight: 0.026 MN/m ³ Elastic type: isotropic Young's modulus: 6772 MPa Poisson's ratio: 0.25 Failure criterion: Hoek-Brown Material type: Elastic Compressive strength 120 MPa mb parameter: 2.012 s parameter: 0.0031

Material: conglomerado

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.027 MN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 27922 MPa

Poisson's ratio: 0.25

Failure criterion: Hoek-Brown

Material type: Elastic

Compressive strength 130 MPa

mb parameter: 5.73

s parameter: 0.0205

Material: caliza

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.026 MN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 12698 MPa

Poisson's ratio: 0.27

Failure criterion: Hoek-Brown

Material type: Elastic

Compressive strength 90 MPa

mb parameter: 1.677

s parameter: 0.0059

Material: volcanico

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.025 MN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 7074 MPa

Poisson's ratio: 0.27

Failure criterion: Hoek-Brown

Material type: Elastic

Compressive strength 100 MPa

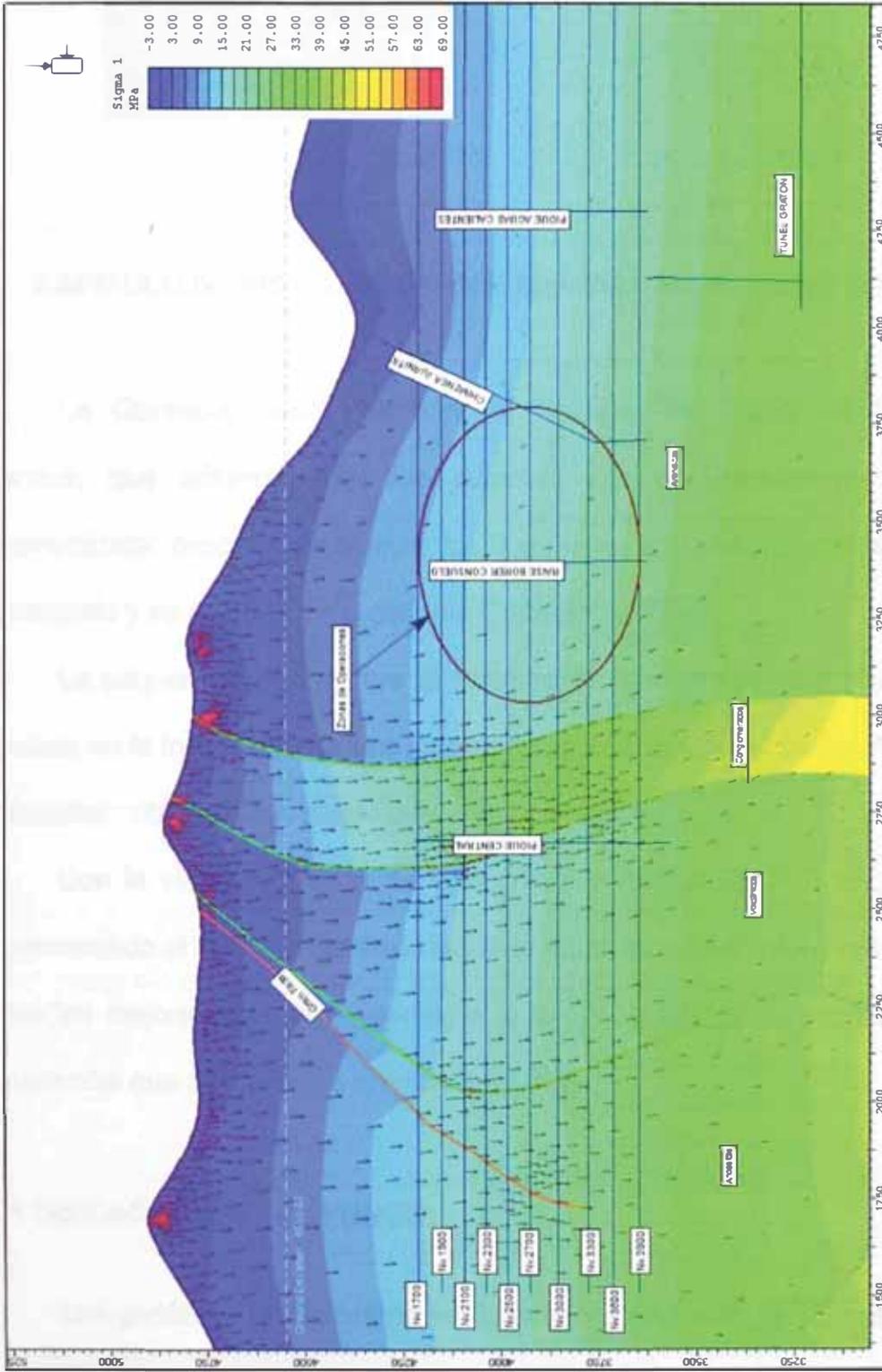
mb parameter: 2.717

s parameter: 0.0039

	<p>Material: andesita</p> <p>Initial element loading: field stress & body force</p> <p>Unit weight: 0.025 MN/m³</p> <p>Elastic type: isotropic</p> <p>Young's modulus: 9029 MPa</p> <p>Poisson's ratio: 0.27</p> <p>Failure criterion: Hoek-Brown</p> <p>Material type: Elastic</p> <p>Compressive strength 80 MPa</p> <p>mb parameter: 3.689</p> <p>s parameter: 0.0059</p> <p>Piezo to use: None</p> <p>Ru value: 0</p>
<p>Joint Properties</p>	<p>Joint: Joint 1</p> <p>Normal stiffness: 100000 MPa/m</p> <p>Shear stiffness: 10000 MPa/m</p> <p>Initial joint deformation: allowed</p> <p>Pressure from Groundwater Analysis: Not Included</p> <p>Additional Pressure Inside Joint: Not Included</p> <p>Barton-Bandis slip criteria</p> <p>JCS: 70 MPa</p> <p>JRC: 0.4</p> <p>Residual friction angle: 28 degrees</p>

Fuente: Area de Mecánica de Rocas - Yauliyacu

Figura N° 17. Vista Longitudinal – Modelamiento Phases2 – Esfuerzos Principales (Sigma 1)



Fuente: Área de Mecánica de Rocas – Yauliyacu

CAPITULO IV: INSTALACION DEL SISTEMA MICRO SÍSMICO

La Gerencia decidió adquirir el Sistema de Monitoreo Micro Sísmico, que anteriormente fue sugerido por el Departamento de Geomecánica; después de evaluar los dos sistemas más importantes en el mercado y se decidió por el sistema Canadiense ESG.

La adquisición inicial para el Sistema de Monitoreo Micro Sísmico consiste en la instalación de una Central, cuatro Paladines y 16 Geófonos Uniaxiales, ubicados en cuatro diferentes niveles.

Con la visita a la mina de Uchucchacua donde llevan 3 años de implementado el Sistema; se pudo resolver muchas inquietudes y rescatar todas las mejoras que han obtenido a lo largo del tiempo de monitoreo, experiencia que aplicaremos en nuestra Unidad.

IV.1 UBICACIÓN DE GEÓFONOS:

Los geófonos se instalaron en lugares estratégicos de tal manera
barcar toda la operación – especialmente de las Secciones

IV y V - concentrándose en la Formación Capas Rojas y tajos futuros a explotar. Ver Figura N° 24.

La distribución de los geófonos es como sigue (Ver Planos 03 al 06):

- Nivel 1700: se instaló el Paladín N° 1 y los Geófonos 1 al 4.
- Nivel 2500: se instaló el Paladín N° 2 y los geófonos del 5 al 8
- Nivel 3300: se instaló el Paladín N° 3 y los geófonos 9 al 12
- Nivel 3900: se instaló el Paladín N° 4 y los geófonos 13 al 16

Con la siguiente distribución se garantizan registrar eventos desde el nivel 1000 hasta la profundización de la mina.

La Central se encuentra en la oficina de Mecánica de Rocas en superficie, y por medio de fibra óptica que ingresa a través del Pique Central y desde allí a cada uno de los cuatro Niveles.

IV.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MICRO SÍSMICO:

En coordinación con las Áreas de Mtto. Eléctrico, Dpto. Sistemas y la experiencia de la mina Uchucchacua; se optó por la configuración en Paralelo por las siguientes razones (Ver Figuras N° 21, 22 Y 23).

1. En caso de rotura de la fibra óptica hacia un Paladín, los otros 3 continúan en operación, mientras demore el tiempo de reparación de la fibra afectada.

2. El gasto es ligeramente mayor, pero otorga ventajas a futuro pudiéndose utilizar la configuración para otros sistemas adicionales (transmisión de video, data, sensores y alarmas en tiempo real).

Figura N° 18. Equipos Principales a Instalar





Figura N° 19. Paladín y Caja de Alimentación

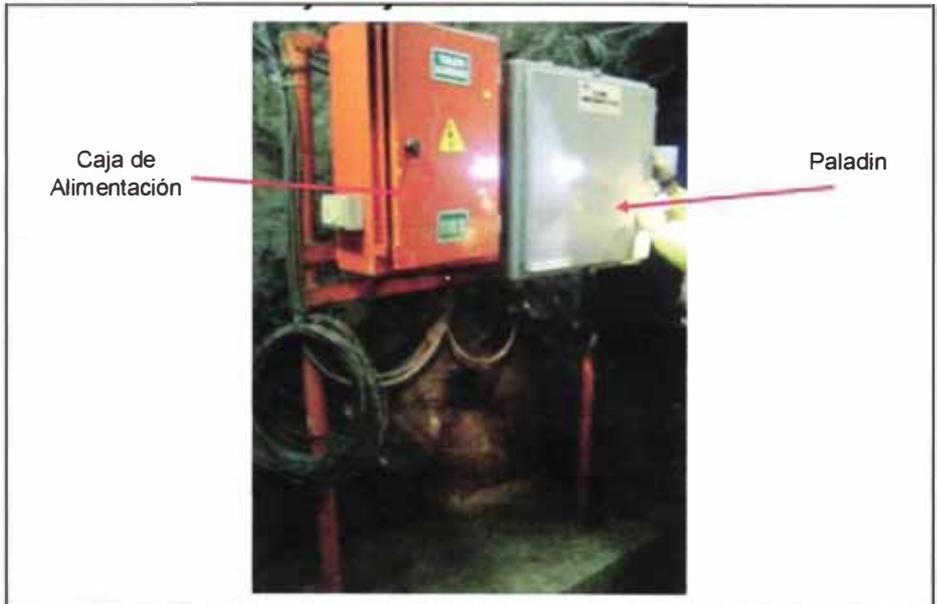


Figura N° 20. Instalación Física del Geófono

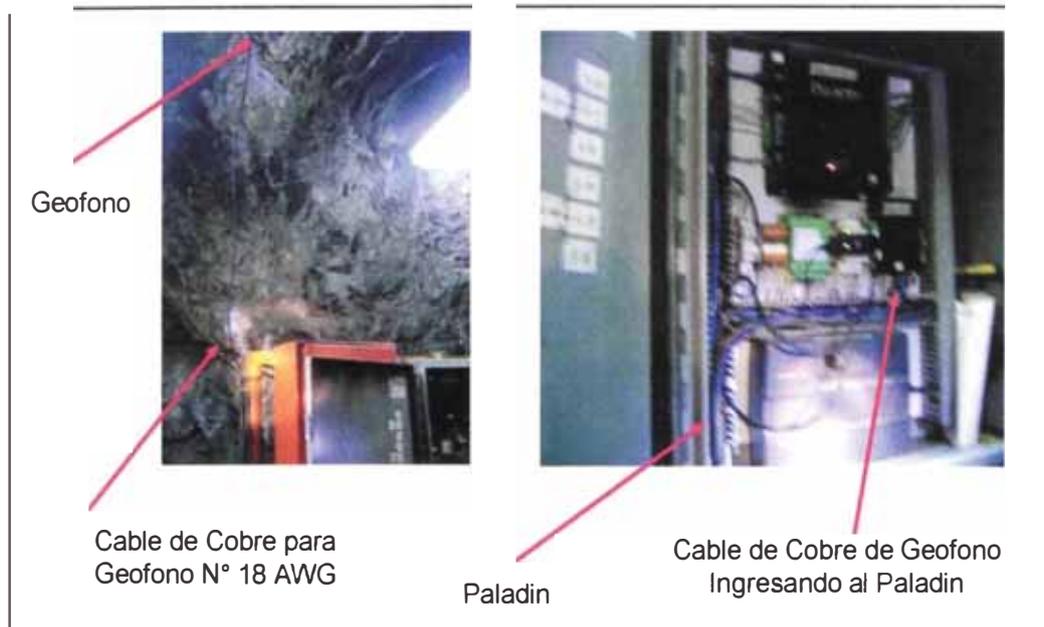
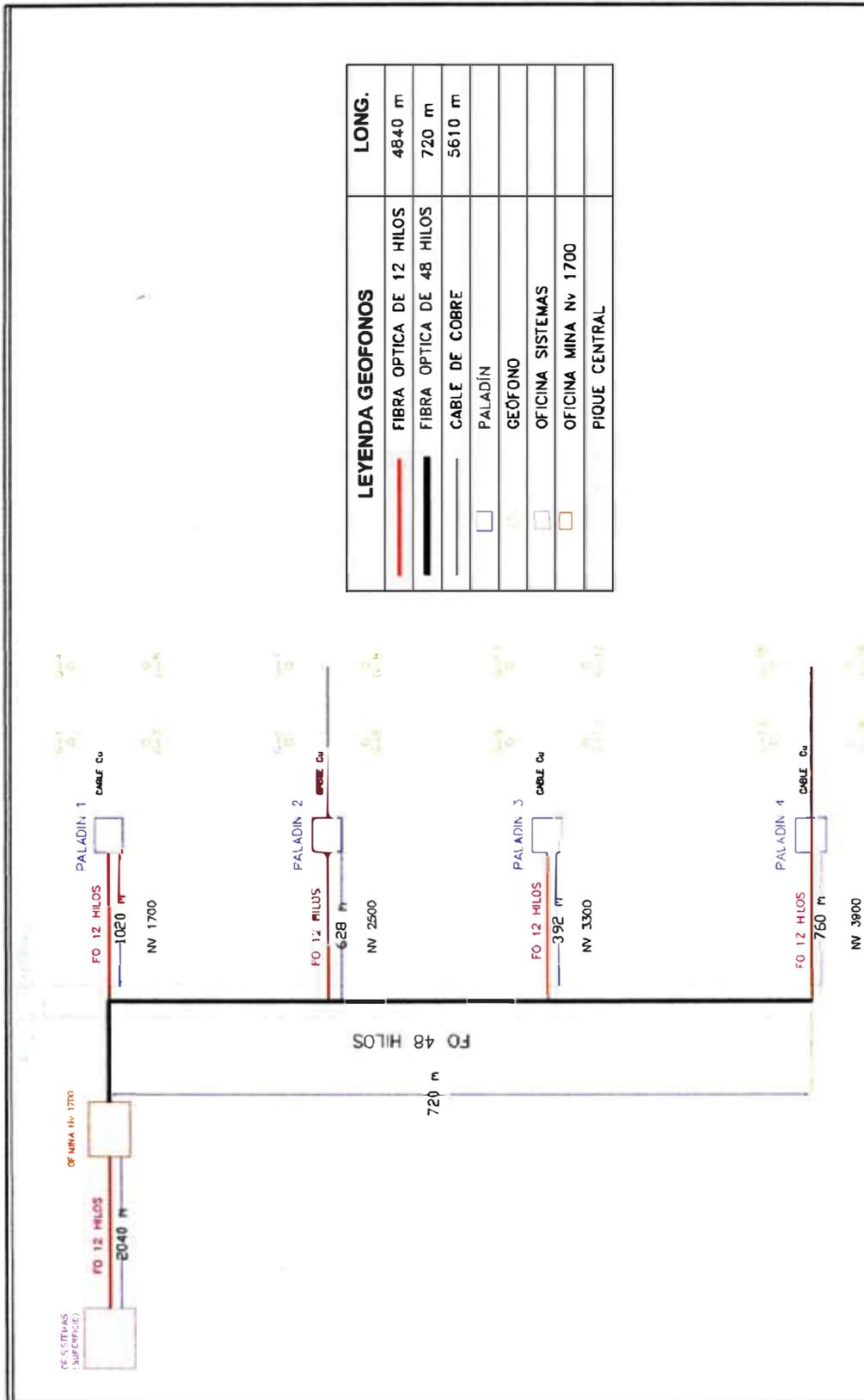
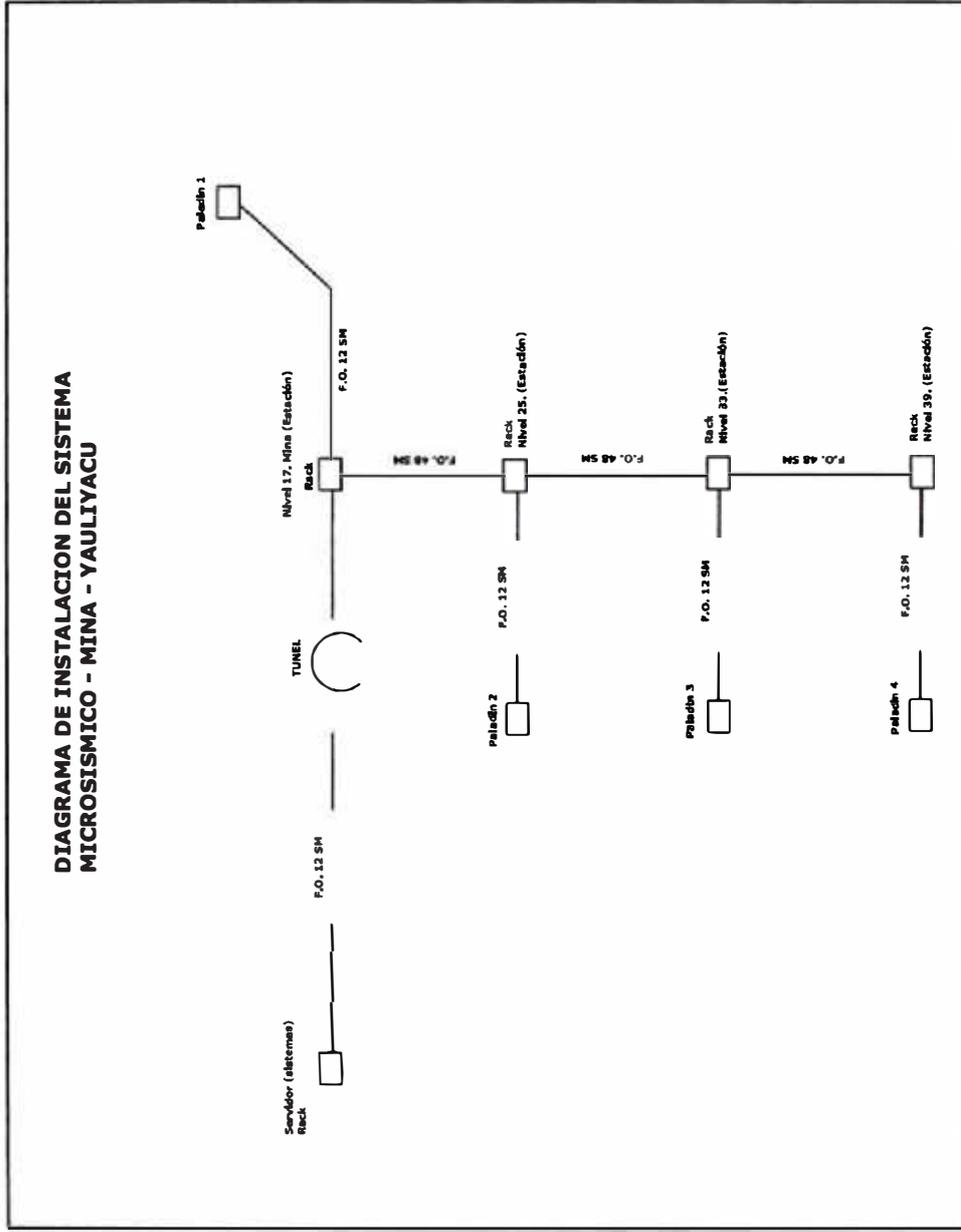


Figura Nº 21. Plano de Esquema de Ubicación de Geófonos



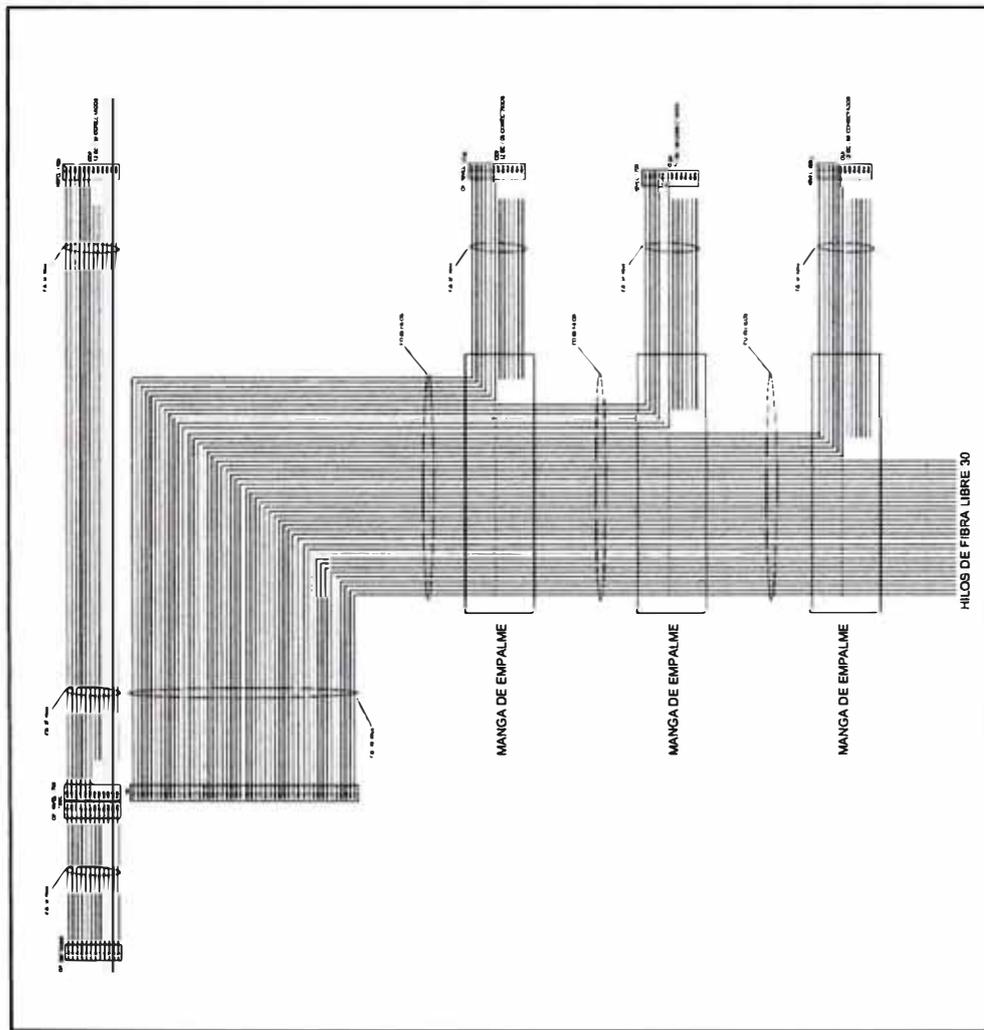
Fuente: Area de Mecánica de Rocas – Yauliyacu

Figura N° 22. Plano de Diagrama de Instalación del Sistema Micro Sísmico



Fuente: Área de Mecánica de Rocas – Yauliyacu

Figura N° 23. Plano de Diagrama de Instalación de la Fibra Óptica



Fuente: Area de Mecánica de Rocas – Yauliyacu

IV.3 COSTOS Y REQUERIMIENTOS DE MATERIALES:

Cuadro N° 5. Cotización de ESG.

SALESPERSON	P.O. NUMBER	DELIVERY DATE	SHIPPED VIA	INCOTERMS 2000	TERMS
Cezar Trifu	Requested	8 weeks	Air Cargo	FOB Factory	Net 30

Underground Micro seismic System (24 channels, fiber optic communication)

ITEM	DESCRIPTION	QUANTITY	UNIT PRICE	AMOUNT
			USD	USD
A	Equipment (hardware and software)			
1	Paladin –24-bit seismic recorder w/ 6 channels	4 Ea.	9,800	39,200
2	PMTS –Paladin master time server	1 Ea.	2,250	2,250
3	Junction box for the Paladin, w/ sensor terminations, AC/DC, UPS, etc.	4 Ea.	1,150	4,600
4	Fiber optic time splitters (inside each junction box)	4 Ea.	1,950	7,800
5	Omni-directional uniaxial geophone (15 Hz) w/ 10m cable	16 Ea.	750	12,000
6	SIK-10 – sensor installation kit	1 Ea.	690	690
7	Seismic acquisition PC in 19" rack mount enclosure (Win Vista)	1 Ea.	4,800	4,800
8	Seismic processing PC, incl. all system & processing software installation and configuration (Win Vista, MS	1 Ea.	2,800	2,800
9	HSS v. 13 processing and analysis software	1 Ea.	8,900	8,900
10	HNAS – Hyperion network acquisition software	1 Ea.	2,650	2,650
11	PAL – Paladin acquisition software	16 Ea.	140	2,240
12	System assembly and testing at ESG	1 Ea.	1,650	1,650
			Sub-Total A	89,580
B	Pre-installation visit and sensor array design			
13	One ESG specialist on site for one day, plus two travel days and travel expenses (Dr. Cezar Trifu on	1 Ea.	0	0

14	System and sensor array design, including error-space analysis and reporting for 30 channel seismic	1 Ea.	0	0
			Sub-Total B	0.00
C	Installation, Training, and Support			
15	Two ESG specialists on site for 6 days each @ 850 per day	12 Days	850	10,200
16	Travel days for ESG engineers (3 days each)	6 Days	550	3,300
17	Travel expenses for ESG engineers (airfare, miscellaneous - estimated)	1 Ea.	6,000	6,000
18	System support and software upgrade (24 ch. system) – 1 year	1 Yr.	0.0	0.0
19	Training of two of client's engineers in ESG offices (Kingston, Ontario), including visiting a mine that	1 Ea.	0	0
			Sub-Total C	19,500
			Sub-Total (A+B+C)	109,080
			Special Discount	0.00
			Total	109,080
			Crating and handling	1,600
			Grand Total	110,680

Requerimientos de materiales:

Para la instalación del Sistema de Monitoreo Micro Sísmico se requirió lo siguiente:

1. 4,840 metros de fibra óptica de 12 hilos; distribuidos para la conexión de la Central hasta la oficina del nivel 1700 (2,040 m) y del Pique Central a los diferentes Paladín (2,800 m).
2. 720 metros de fibra óptica de 48 hilos, distribuida a lo largo de todo el Pique Central.
3. 5,610 metros de cable de cobre tipo 18 AWG para la conexión de los 16 geófonos ubicados en los 4 niveles seleccionados.
4. Accesorios para la instalación de los equipos.

Cuadro N° 6. Requerimiento de Distancias.

DISTANCIAS POR NIVELES									
SBOC	Nivel	DE	A	DISTANCIA EFECTIVA (m)	ELONGACION (m)	RESERVA (m)	TOTAL (m)	METRAJE TOTAL	TIPO DE CABLE
IV	SUPERFICIE	OFICINA SISTEMAS	BOCAMINA	300	30	60	390	2040	FO 12 Hilos
	1700	BOCAMINA	OFICINA NV 17	1430	140	80	1650		
	1700	PIQUE CENTRAL	PALADIN N° 1	680	80	60	1020	2800	
	2500	PIQUE CENTRAL	PALADIN N° 2	536	62	40	628		
V	3300	PIQUE CENTRAL	PALADIN N° 3	322	30	40	392	780	FO 48 Hilos
	3900	PIQUE CENTRAL	PALADIN N° 4	654	66	40	760		
IV - V	1700 AL 3900	OFICINA NV 17	PIQUECENTRAL	45	6	20	70	720	FO 48 Hilos
		P. CENTRAL NV 17	P. CENTRAL NV 39	566	24	60	650		
IV	1700	PALADIN N° 1	GEOFONO 1	143	7	10	160	1320	COBRE
		PALADIN N° 1	GEOFONO 2	238	12	10	260		
		PALADIN N° 1	GEOFONO 3	291	14	10	315		
		PALADIN N° 1	GEOFONO 4	550	26	10	585		
	2900	PALADIN N° 2	GEOFONO 5	91	4	10	105	1295	
		PALADIN N° 2	GEOFONO 6	288	14	10	312		
		PALADIN N° 2	GEOFONO 7	318	16	10	343		
		PALADIN N° 2	GEOFONO 8	500	26	10	536		
V	3300	PALADIN N° 3	GEOFONO 9	282	14	10	306	1760	
		PALADIN N° 3	GEOFONO 10	207	10	10	227		
		PALADIN N° 3	GEOFONO 11	620	30	10	660		
		PALADIN N° 3	GEOFONO 12	532	25	10	567		
	3900	PALADIN N° 4	GEOFONO 13	215	10	10	235	1235	
		PALADIN N° 4	GEOFONO 14	318	16	10	343		
		PALADIN N° 4	GEOFONO 15	399	20	10	429		
		PALADIN N° 4	GEOFONO 16	208	10	10	228		
TOTAL DE FIBRA OPTICA DE 12 HILOS				4840 METROS					
TOTAL DE FIBRA OPTICA DE 48 HILOS				720 METROS					
TOTAL DE CABLE DE COBRE PARA GEOFONOS				5610 METROS					

Cuadro N° 7. Requerimientos de Materiales

MATERIALES A EMPLEAR				
ITEM	DESCRIPCION	CANT	P. UNIT	SUBTOTAL
1	Cable de fibra optica de 12 hilos SM (m)	4840	1.80	8712.00
2	Cable de fibra optica de 48 hilos SM (m)	720	2.40	1728.00
3	Cable de instrumentacion de cobre tipo 18 AWG (m)	5610	0.70	3927.00
4	Ferreteria para cable ADSS Pasante	3	18.00	54.00
5	Ferreteria para cable ADSS inicio / fin	4	29.00	116.00
6	Cruceta de desarrollo de fibra optica	1	15.00	15.00
7	Alcayatas de fierro corrugado galvanizadas de 3/8" (naranja)	1000	1.80	1800.00
8	Rack de pared de 6RU de 3 cuerpos	5	285.00	1425.00
9	Caja de Montaje en pared con un panel de 12 modulos SC	4	120.00	480.00
10	Bandeja de Opticom con un panel Modular en conector SC	5	479.00	2395.00
11	Pig tail SM/ SM	84	10.00	840.00
12	Manguitos Smouv	84	0.65	54.60
13	Bandeja porta Smouv	7	42.60	298.20
14	Jumper Patch cord duplex SC/SC de 3 mts	12	40.00	480.00
15	Jumper Patch cord duplex SC/ST de 3 mts	4	40.00	160.00
16	Switch optico de 08 puertos opticos SC 1000Gb/S - 8 puertos RJ45	1	3500.00	3500.00
17	Media Converters de 1000 Mb/SC - SM	5	540.00	2700.00
18	Cinta acerada Band It de 1/2"	1	22.00	22.00
19	Presillas de 1/2" aceradas	30	0.20	6.00
TOTAL				28712.80

Cuadro N°8. Cotización de la E.E. GALING.

ITEM	LUGAR	SUBTOTAL
1	ACTIVIDADES DE PLANTA EXTERNA	\$9,752.00
2	ACTIVIDADES EN OFICINA GEOMECANICA	\$2,452.95
3	ACTIVIDADES EN EL NIVEL 21 ESTACION DEL PIQUE	\$271.40
4	ACTIVIDADES EN PALADIN 1	\$204.70
5	ACTIVIDADES EN EL NIVEL 23 ESTACION EL PIQUE	\$271.40
6	ACTIVIDADES EN PALADIN 2	\$204.70
7	ACTIVIDADES EN EL NIVEL 27 ESTACION DEL PIQUE	\$271.40
8	ACTIVIDADES EN PALADIN 3	\$204.70
9	ACTIVIDADES EN EL NIVEL 33 ESTACION DEL PIQUE	\$271.40
10	ACTIVIDADES EN PALADIN 4	\$204.70
SUB TOTAL		\$14,109.35

Total: \$ 42,822.15

Tiempo de inicio del trabajo: 1 semana

Tiempo de ejecución del trabajo: 4 semanas.

CAPITULO V: DESAFÍOS Y SOLUCIONES

Para realmente entender el significado de un Riesgo Sísmico; y todo lo que ello conlleva dentro de una Operación Minera, debemos enfocarnos en los siguientes puntos:

- Entender el concepto de un Riesgo Sísmico
- Evaluar un Riesgo Sísmico
- Comprender un Peligro Sísmico

Para ello, es importante el apoyo en las dos siguientes premisas:

- La antigua sismicidad es un fuerte indicador para la futura sismicidad.
- El comprender la pasada sismicidad, será una de las más importantes herramientas del Monitoreo Sísmico.

V.1 PASADA SISMICIDAD

Una pasada sismicidad siempre ha estado y estará presente dentro del desarrollo y explotación de una Operación Minera; y en base a la

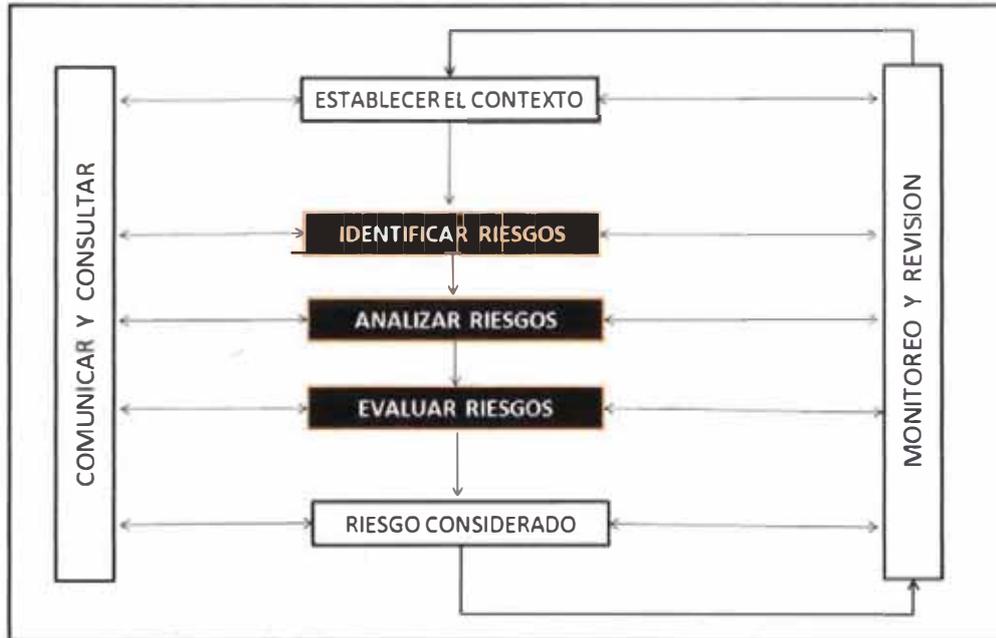
experiencia de los años se ha podido realizar algunas conclusiones importantes.

- Ninguna Mina ha resuelto el Problema en forma definitiva.
- Ninguna de estas Minas ha cerrado permanentemente sus operaciones debido al Estallido de Rocas.
- El Estallido de Rocas ocurre esencialmente en casi todas las Minas que reúnan las condiciones.
- Las Minas continúan produciendo en forma segura y económicamente rentable.

Pero por todo ello es posible gracias al tener implementado un Manejo del Riesgo Sísmico. Para ello se han implementado diferentes tipos de diagramas e incluso tablas de clasificación de un Riesgo Sísmico. Ver Figura N° 25 y Cuadro N° 9.

Riesgo Sísmico = Posibilidad que cualquier cosa suceda y tenga un impacto sobre objetivos como: la seguridad, la producción, pérdida de equipos, daños al negocio, pérdida de recursos, etc.

Figura N° 25. Diagrama del Manejo Estándar del Riesgo.



Fuente: National Minerals Industry Safety and Health Risk Assessment Guideline (Australia, 2007)

Cuadro N° 9. Clasificación de Riesgo.

Tabla de Clasificación del Riesgo					
	Probabilidad A	Probabilidad B	Probabilidad C	Probabilidad D	Probabilidad E
Severidad I	1	2	3	4	5
Severidad II	6	7	8	9	10
Severidad III	11	12	13	14	15
Severidad IV	16	17	18	19	20

Clasificación Del Riesgo

Tabla de Probabilidad Estimada	
Identificador	Descripción
A	Común evento o probable a ocurrir (>.1)
B	Probablemente ocurrirá o ha ocurrido antes (0.1 - 0.01)
C	Puede ocurrir o se ha oído que ha ocurrido antes (0.01 - 0.001)
D	Probablemente no ocurrirá o nunca se ha oído que ha ocurrido (0.001 - 0.00001)
E	Prácticamente imposible (< .00001)

Tabla de Máxima Razonable Severidad (Personas)	
Identificador	Descripción
I	Catastrófico - fatalidad o permanente discapacidad
II	Crítico - Serias pérdida de tiempo (lesiones / enfermedad)
III	Moderado - Mediana pérdida de tiempo (lesiones / enfermedad)
IV	Menor pérdida de tiempo (lesiones / enfermedad)

Fuente: National Minerals Industry Safety and Health Risk Assessment Guideline (Australia, 2007)

CAPÍTULO VI: RIESGO SÍSMICO EN MINAS SUBTERRÁNEAS

- En minería subterránea, por muchos riesgos presentes, la consecuencia es Severa o Catastrófica.
- El Manejo del Riesgo es ampliamente usado sobre cualquier Operación o Proyecto de Riesgo.
- Debe ser creado un Registro del Riesgo.
- Todo Riesgo por encima del Riesgo Tolerado (Dicho Riesgo varía de acuerdo al ambiente Socio – Económico y Político) la Compañía debe tener los controles necesarios.

Riesgo= Probabilidad x Consecuencia x Exposición

Probabilidad= La probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico, que puede resultar en pérdidas.

Consecuencia= La gravedad de los daños

Exposición= La exposición de la mano de obra, equipos y activos frente a los eventos sísmicos.

Simplemente, bajo cualquier tipo de control que se desee implementar su alcance se basa en las dos siguientes premisas:

- Si nosotros reducimos la Probabilidad, consecuencia o exposición, nosotros reducimos el Riesgo.
- Si nosotros eliminamos la Probabilidad, consecuencia o exposición, nosotros eliminamos el Riesgo.

VI.1 PROBABILIDAD SÍMICA

Es la probabilidad que un evento pueda causar daño. Las pérdidas pueden ser heridas, daños en los equipos, pérdidas en la producción, necesidades de rehabilitación, pérdidas de reservas de mineral, etc.

La Probabilidad Sísmica está relacionada a los esfuerzos inducidos por el minado, las características geológicas y a las prácticas mineras. Nosotros solamente tenemos control en las Prácticas Mineras.

Es difícil reducir o eliminar la Probabilidad Sísmica. Sin embargo, nosotros sabemos que la Probabilidad Sísmica varía dentro del Espacio y Tiempo. Entendiendo en dónde la Probabilidad Sísmica es alta y en dónde es baja; podemos minimizar dicha Probabilidad Sísmica.

VI.2 CONSECUENCIA

Es la Gravedad de los daños. Nosotros tenemos posibles controles para ello: Sostenimiento subterráneo, cambios en el Desarrollo de la Mina (Tamaño, forma y ubicación), etc.

VI.3 EXPOSICIÓN

Es la exposición de la mano de obra, equipos y activos frente a los eventos sísmicos. Hay controles para reducir la Exposición:

Protocolos de Reingreso y zonas de exclusión, reduciendo la mano de obra en áreas de altos riesgo, cambiando prácticas mineras, cambiando accesos e infraestructuras, adquisición de Equipos a control Remoto, etc.

Cuadro Nº 10. Tabla de Reducción de Consecuencias - Exposición

Reduce - Consecuencias	Reduce - Exposición
Sostenimiento Subterráneo	Protocolos de Reingreso
Cambios en el Desarrollo de la Mina (tamaño – ubicación)	Exclusión a Áreas
	Equipos a Control Remoto
	Cambios en Prácticas Mineras
	Cambios de Accesos

Fuente: 5th ESG Mine Seismicity Symposium - 2011

VI.4 MINIMIZACION DE CONSECUENCIAS EN MINA YAULIYACU

VI.4.1 Sostenimiento Subterráneo:

Aunque existe una amplia variedad de elementos de Sostenimiento Subterráneo, como por ejemplo: Pernos de Roca, Mallas, Shotcrete, Cables Bolting, etc; algunos de estos elementos son diseñados para absorber energía frente a un Estallido de Roca, pero generalmente hablando un sostenimiento dinámico es mucho más costoso que un elemento de sostenimiento diseñado para cargas estáticas; por ello no es económico aplicar este tipo de sostenimiento en toda la mina. Es importante determinar las áreas con alto riesgo sísmico. Y aplicar una combinación de los elementos dinámicos de sostenimiento.

Podemos utilizar una Tabla de **Clasificación del Riesgo Sísmico** en función a las condiciones presentes en dicha área de estudio y determinar si necesita o no un tipo de Sostenimiento.

Cuadro N° 11 – Tabla de Clasificación del Riesgo para determinar la necesidad de Soporte

	CONDICION	VALORIZACIONES
1	Esta área es históricamente y sísmicamente activa? (Se puede examinar la data histórica de los últimos 2 años)	Bajo - Ninguno o $M_w < 1.0$, y/o línea base > Número de eventos, Medida de Riesgo= 1 Medio - $1.0 < M_w < 2.0$, y/o línea base \leq Número de eventos < línea base por 20%, Medida de Riesgo= 2 Alto - $2.0 \leq M_w$, y/o Número de eventos \geq línea base por 20%, Medida de Riesgo= 3
2	Cómo es la condición subterránea?	Buena - $RMR \geq 60$, Medida de Riesgo= 1 Regular - $60 > RMR \geq 40$, Medida de Riesgo= 2 Pobre - $RMR < 40$, Medida de Riesgo= 3
3	Cómo es el nivel existente del soporte subterráneo?	Buena - Soporte Estándar, shotcrete y adicional soporte secundario, como cables bots, Medida de Riesgo= 1 Regular - Soporte Estándar más shotcrete, Medida de Riesgo= 2 Pobre - Soporte Estándar, o no Soporte Estándar o soporte dañado, Medida de Riesgo= 3
4	Hay cualquier infraestructura significativamente deteriorada? (Como hundimientos en la proximidad)	Distancia $\geq 100'$, Medida de Riesgo= 1 Distancia= $50'$, Medida de Riesgo= 2 Distancia $< 50'$, Medida de Riesgo= 3
5	Es anticipado que los esfuerzos inducidos por el minado probablemente cambiarán con el futuro minado?	Probablemente no, fuera de la zona de influencia, Medida de Riesgo= 1 Probable, dentro de la zona de influencia, Medida de Riesgo= 2 Muy Probable, altos esfuerzos en la zona, Medida de Riesgo= 3
6	Hay otras estructuras geológicas en las proximidades?	Distancia $\geq 100'$, Medida de Riesgo= 1 Distancia= $50'$, Medida de Riesgo= 2 Distancia $< 50'$, Medida de Riesgo= 3

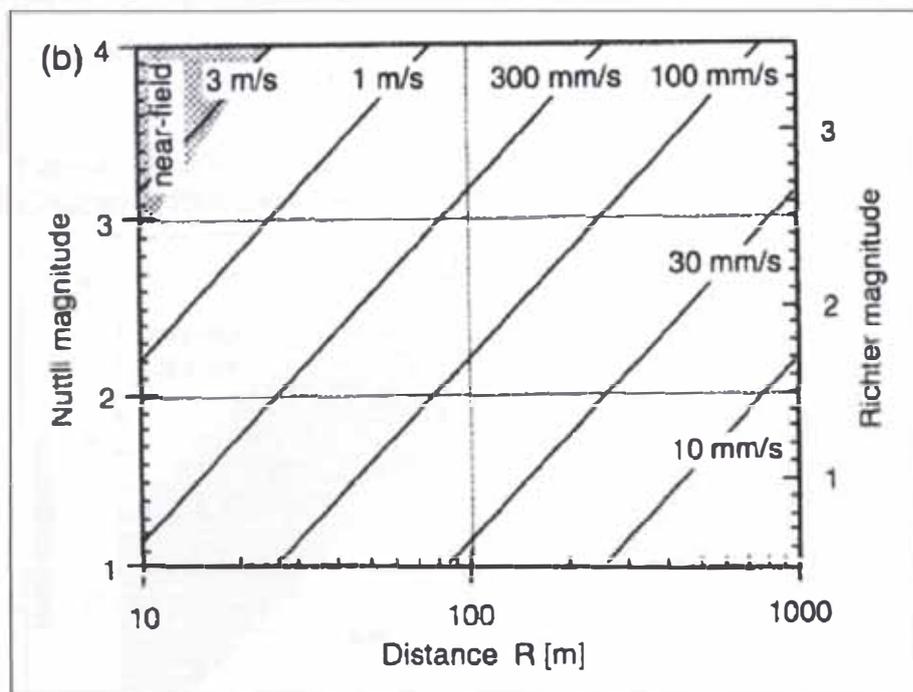
Fuente: MineMike Yao & Reddy Chinnasane June 1, 2010

Una clasificación de Riesgo es obtenida entre un rango de 6 a 18; si obtenemos un valor mayor a 10 se necesita instalar un tipo de sostenimiento en dicha área.

Existe también una Metodología en cinco pasos para determinar el tipo de sostenimiento para contrarrestar futuros Eventos Micro Sísmicos.

- 1._ El primer paso es seleccionar la zona en donde ha ocurrido el mayor daño. Comúnmente el mayor eventos registrado afecta a las zona circundantes.
- 2._ El segundo paso es determinar el movimiento de tierra en términos de la Velocidad Pico Partícula (PPV) (*Kaiser et al. 1996*), se presenta una predicción promedio de PPV como función de la distancia y la magnitud del evento sísmico. (Ver Figura N° 26).

Figura N° 26. Velocidad Pico Partícula (PPV) Para Diseño Recomendado



Fuente: Kaiser et al. 1996

3._ El tercer paso es calcular la total Energía Cinética de la proyección del bloque de roca; esto puede ser determinado por (Kaiser et al, 1996).

$$E_t = \frac{1}{2} m v_e^2 + q m g d$$

Donde:

m= la masa proyectada de roca = una unidad de área (1 m²) x densidad x espesor promedio proyectado

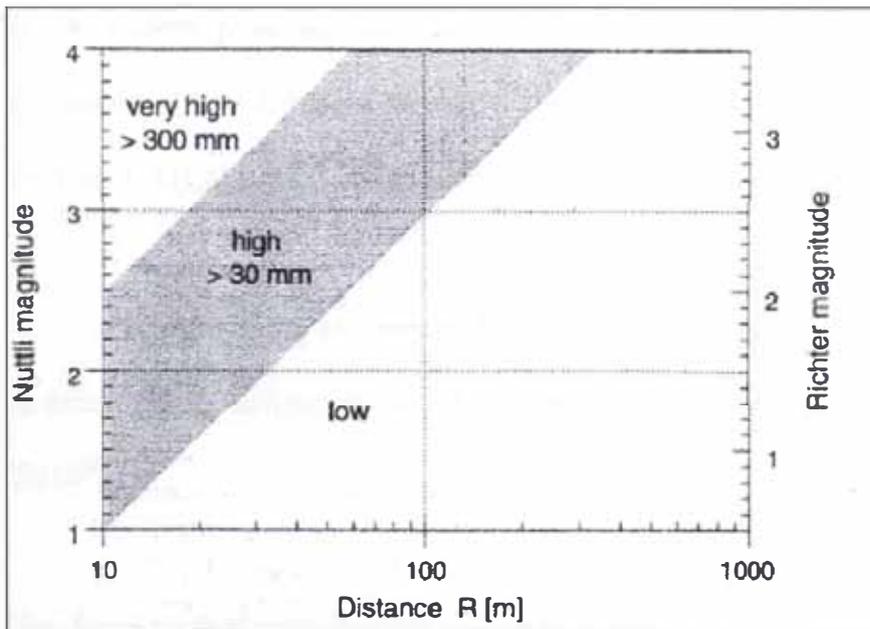
Ve= Velocidad Pico Partícula

Q= 1 para proyección de roca

D= desplazamiento del bloque de roca producto de un evento sísmico.

La Figura N° 27, nos da una evaluación preliminar del movimiento del bloque de roca sostenido con elementos de soporte estándar, frente a un evento sísmico.

Figura N° 27. Típico Desplazamiento en las Paredes de Aberturas - Causados Por Eventos Sísmicos



Fuente: Kaiser et al. 1996

4._ El cuarto paso es determinar el sostenimiento integrado que consiste en una combinación de varios elementos de sostenimiento (Cuadro N° 12, *Kasier et al, 1996*) para lograr la capacidad de absorción de la energía liberada por el evento sísmico.

Cuadro N° 12. Energía de Absorción Por Diferentes Elementos de Sostenimiento

Descripción	Absorción de Energía (Kj)
Barra con resina (19 mm)	1 - 4
Split Set	5 - 15
Pernos Swellex	8 - 12
Super Pernos Swellex	18 - 25
Perno Cónico (16 mm)	10 - 25
Cable Bolt (16 mm)	2 - 6
Malla Electrosoldada nº 4	3 -6/m2
Shotcrete + Malla Electrosoldad	3 - 5 x malla

Fuente: Kaiser et al. 1996

5._ El quinto paso es calcular el Factor de Seguridad (FS) = Capacidad Sostenimiento / Energía liberada del evento. El FS debe ser de por lo menos 1.3 (Labores Temporales) y 1.5 (Labores Permanentes).

A continuación presentamos la cantidad de elementos de sostenimiento utilizados en Mina Yauliyacu, desde Enero a Noviembre 2010*.

*De todos los Gráficos la Fuentes es Area de Planeamiento – Yauliyacu.

Figura N° 28. Consumo Mensual de Pernos Split Set

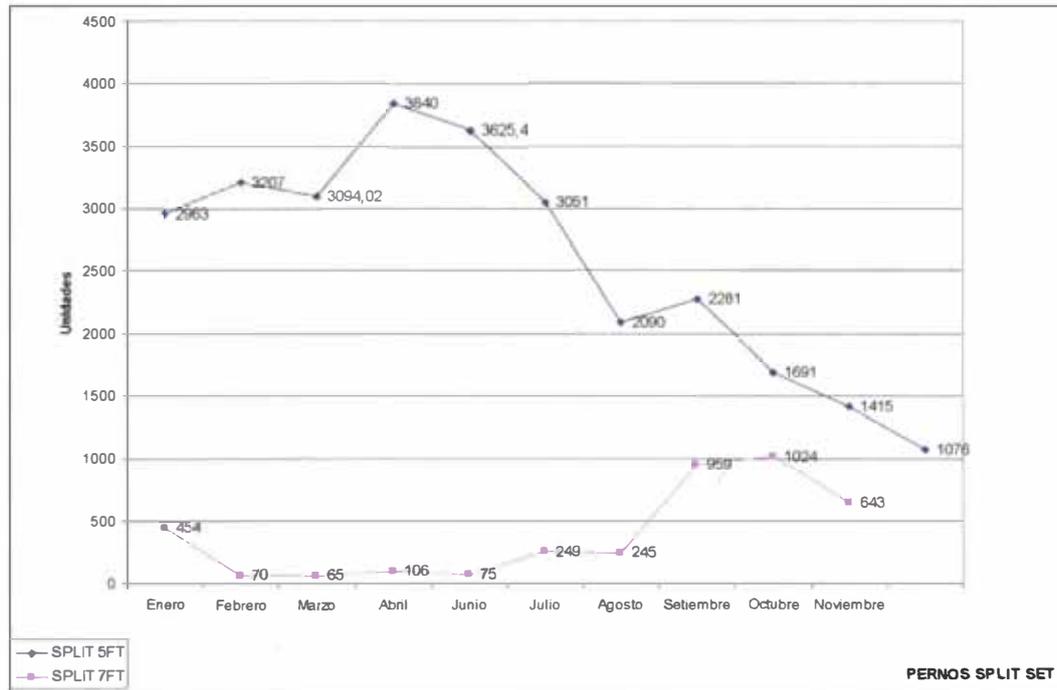


Figura N° 29. Consumo Mensual de Pernos de Barra Helicoidal

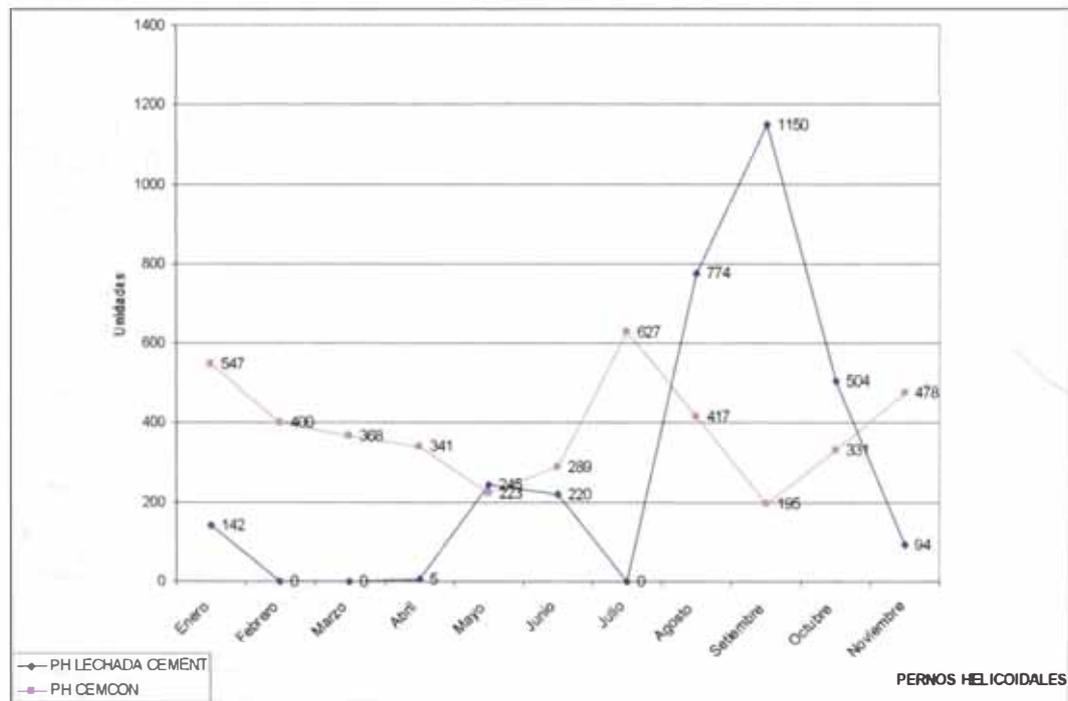


Figura N° 30. Consumo Mensual de Malla Eslabonada con Pernos Split Set de 5 ft

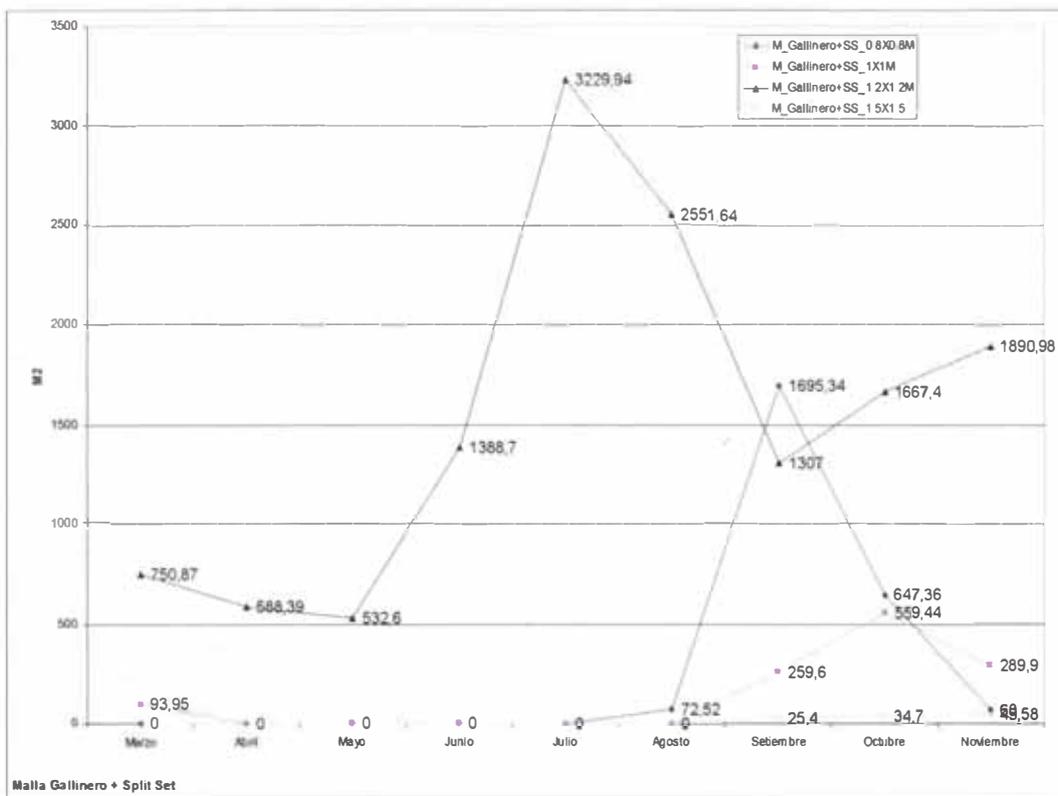


Figura N° 31. Consumo Mensual de Malla Electrosoldada con Pernos Split Set de 5 ft

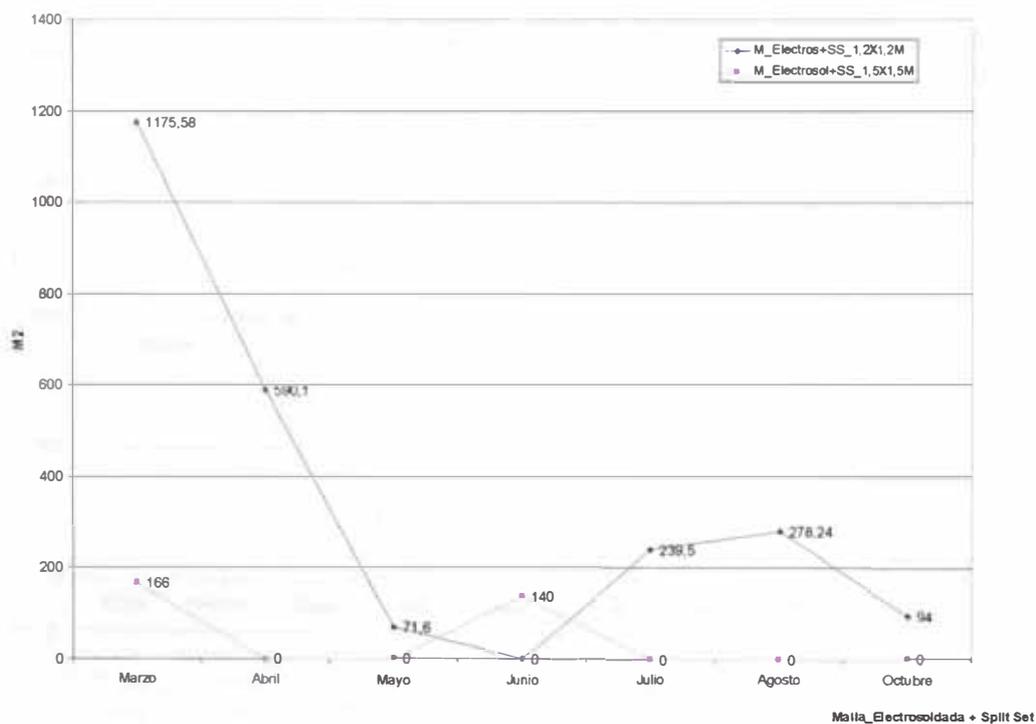


Figura N° 32. Consumo Mensual de Malla Eslabonada con Pernos de Barra Helicoidal

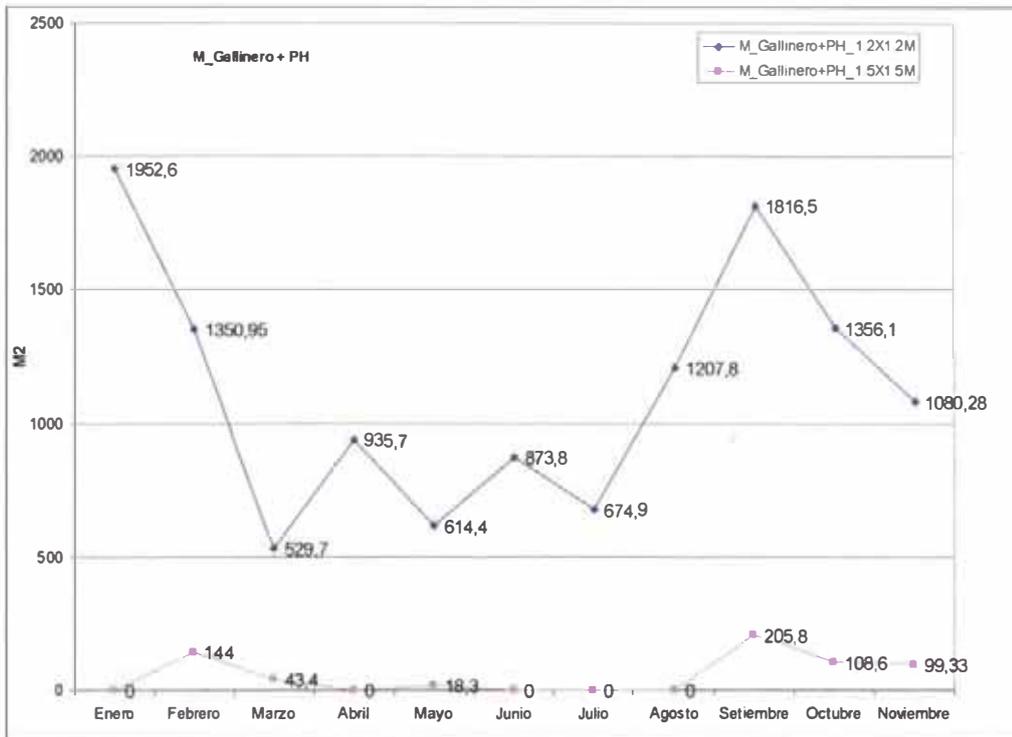
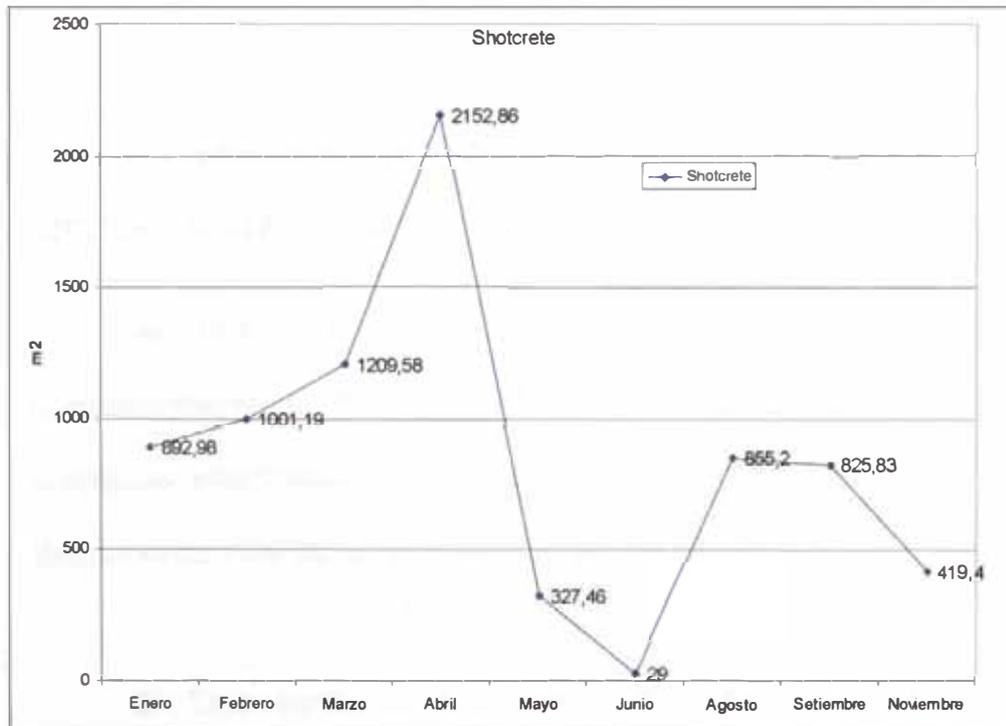


Figura N° 33. Consumo Mensual de Shotcrete



VI.4.2 Cambios en el Desarrollo de la Mina:

VI.4.2.1 Restricciones en minado Open Stope

Con la ayuda del Sistema de Monitoreo Micro Sísmico; implementado en mina Yauliyacu, se ha evidenciado la problemática en realizar este tipo de minado en zonas que se encuentran de mediana a gran profundidad, es decir; en zonas a una profundidad de más de 500 m. Aún sea la calidad de roca Buena a Muy Buena, existiendo fuertes presiones en la cajas del Tajo inducidos por el minado mismo.

Por ello en mina Yauliyacu se ha tomado la decisión de restringir este tipo de minado en la Sección IV y Sección V; ya que sus labores se encuentran a más de 500 m de profundidad.

A continuación se presenta el caso del Tj. 667/ Tj. 666 del Nv. 2300 Sección IV, con las siguientes consideraciones:

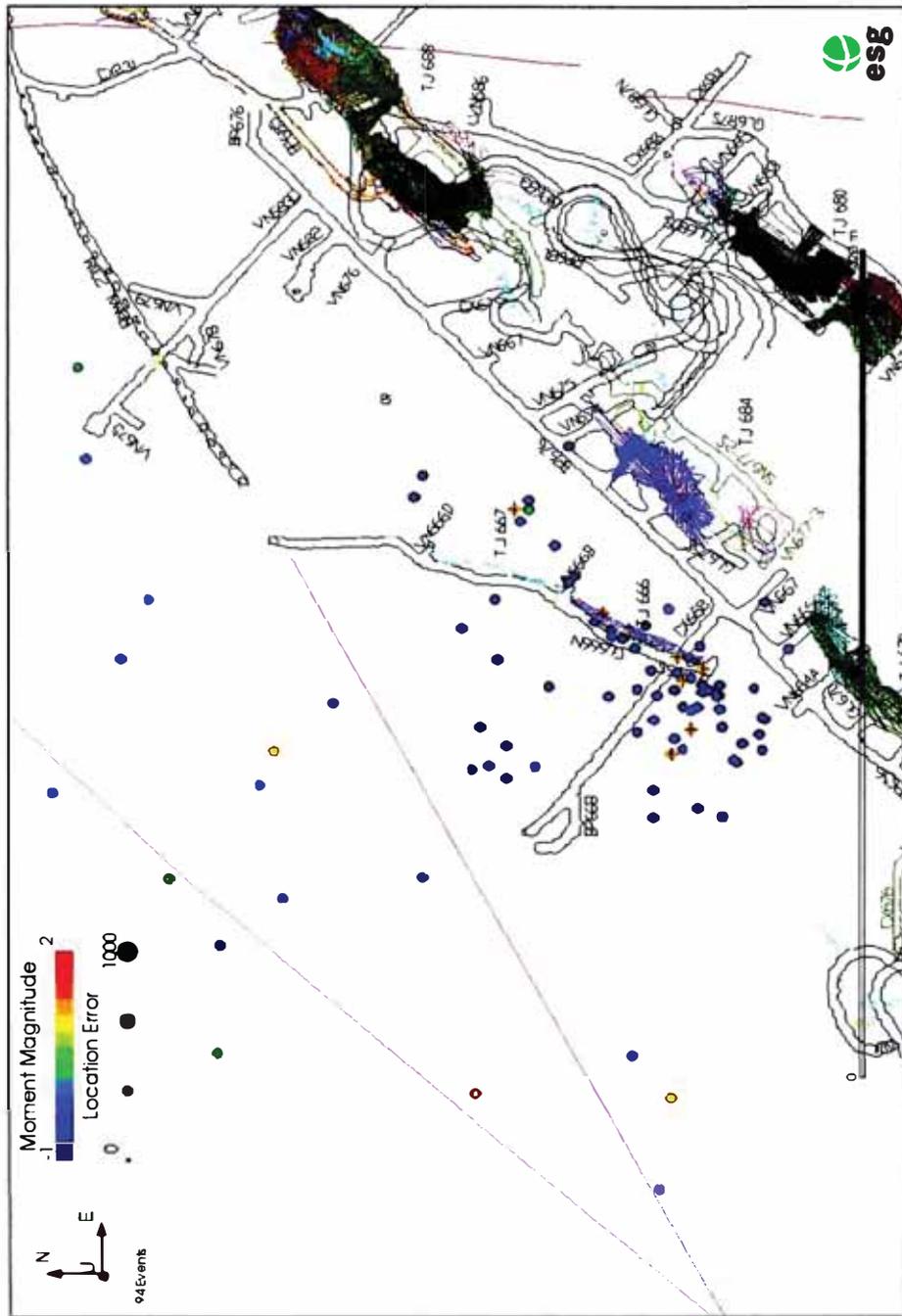
Se realiza el minado del Tj. 667_666 por Open Stope; correspondiente al Ramal 204M. Ubicándose dentro del horizonte de areniscas silisificadas con una dirección de veta de Rumbo: N14°E - Buzamiento: N68°W. El tajo tiene un ancho de 1.2 m.

El Tajo tiene un encampane o altura litostática de 750 m; ocasionando esfuerzos verticales de 20 Mpa y esfuerzos horizontales de

12 Mpa. En el Tajo se observa sostenimiento con puntales de hasta 4" y 5"; además de pilares ocasionales con anchos de 1.5 a 2 m. El Tajo está dentro del Horizonte de areniscas silisificadas; observándose también areniscas calcáreas.

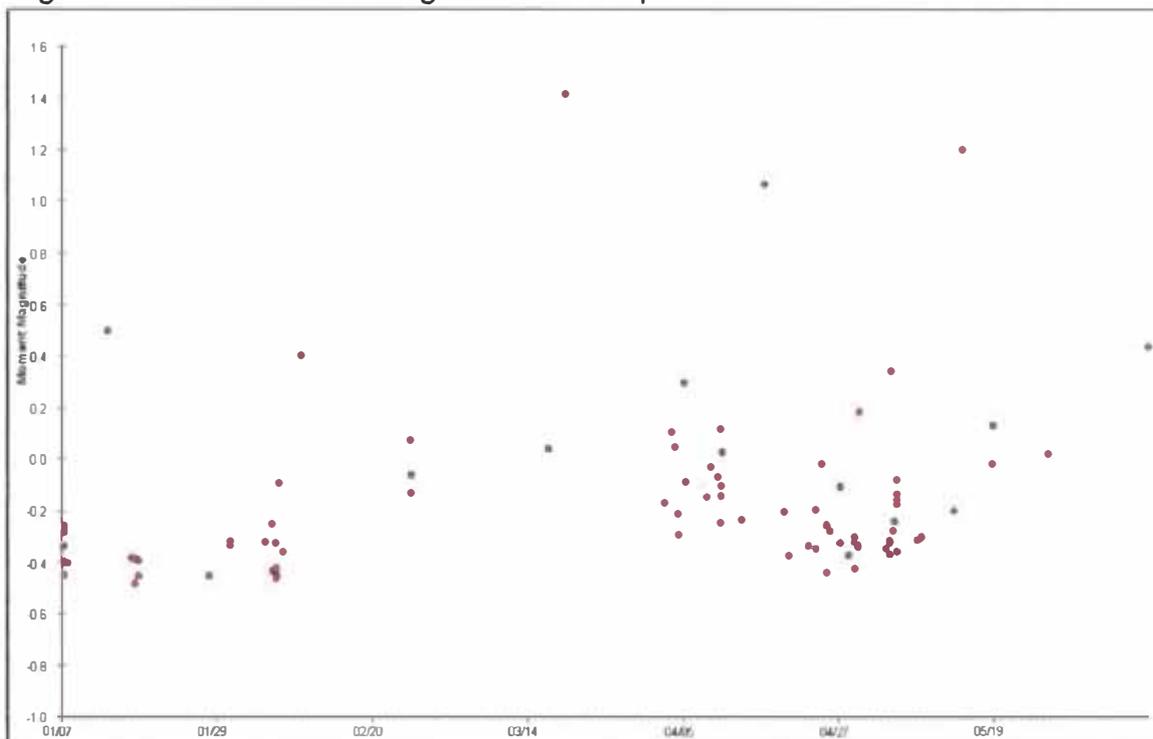
El mineral presenta un RMR de 37 Mala IVA GSI MF/R-P moderadamente alterada con relleno de Py – Cz; mientras la caja techo conformada por arenisca silisificada tienen un RMR > 51 Regular IIIA GSI F/R; la caja piso conformadas por arenisca silisificada tienen un RMR 47 Regular IIIB GSI MF/R.

Figura N° 34. Reporte Micro Sismico del 01/01/2011 al 30/06/2011 Del Tj. 667 / 666 Nv. 2300



Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sismico

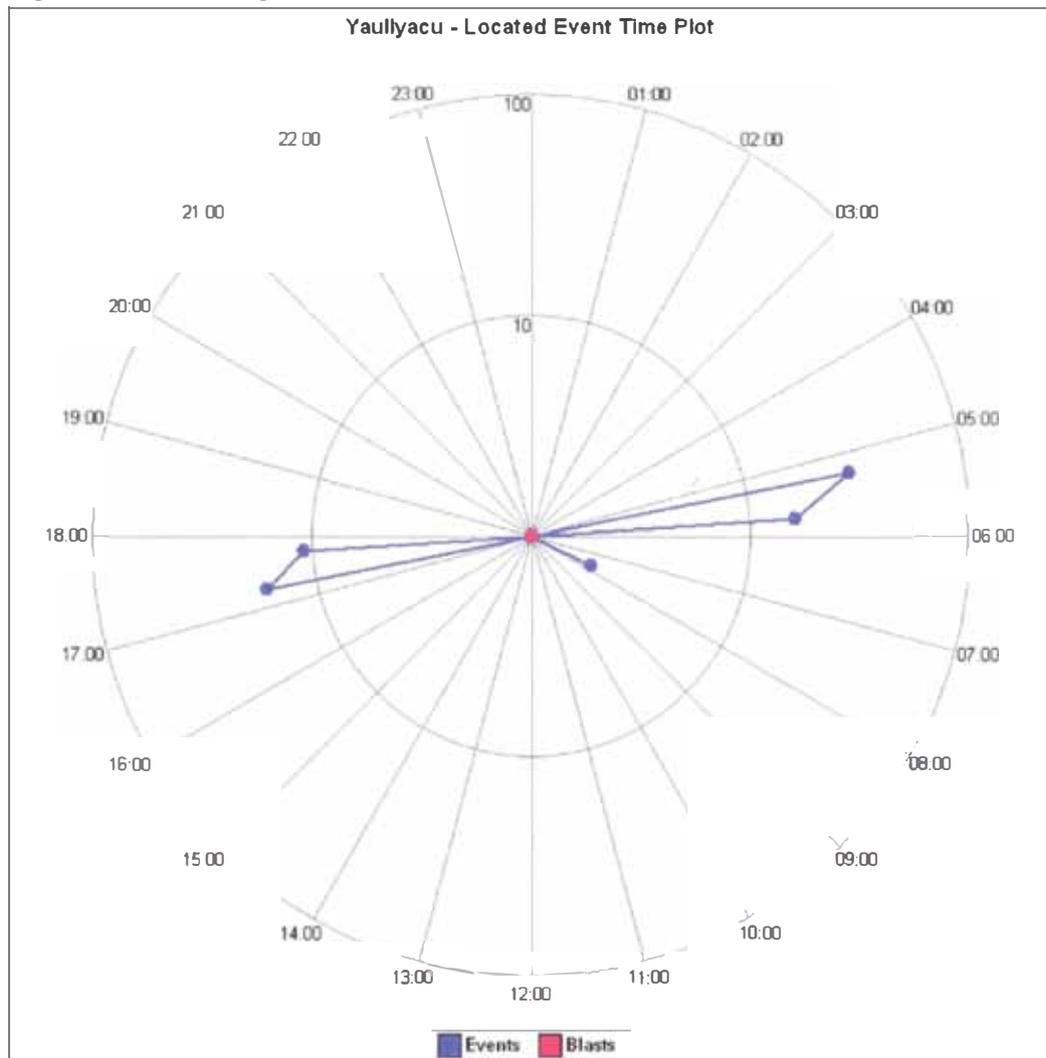
Figura N° 35. Grafico de Magnitud Vs Tiempo.



Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sísmico

Se observa que un gran porcentaje corresponde a eventos con una Magnitud menor o igual a cero; y en menor cantidad mayores a cero; estos últimos son eventos a los que debemos tener mayor consideración; ya que podrían pasar a ser considerados como Eventos Destructivos.

Figura N° 36. Diagrama de Horario de Eventos Sísmicos.



Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sísmico

Del Grafico de Horarios de Eventos Sísmicos, se concluye que estos ocurrieron mayormente dentro de los horarios de disparo. Dentro de la Mina Yaullyacu los horarios de disparo corresponde a 5:30 a 5:45 a.m./ p.m.

VI.4.2.2 Restricciones en Minado SLS – Método Gráfico de Estabilidad

Apoyándonos en el Método Gráfico de Estabilidad; se determinan la máxima longitud ha explotar de un Tajo; teniendo como parámetros fijo la altura de minado y la potencia.

Para ello utilizaremos el “Método Gráfico de Estabilidad” que fue desarrollado por Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992). Toma en cuenta los principales factores de influencia del diseño de tajeos, información sobre la estructura y resistencia de la masa rocosa, los esfuerzos alrededor de la excavación; y el tamaño, forma y orientación de la excavación, es utilizada para determinar si el tajeo será estable sin sostenimiento, o con sostenimiento, o inestable aún con sostenimiento.

En forma resumida, el procedimiento de diseño aplicando éste método está basado en el cálculo de dos factores: N' y S . El primero es el número de estabilidad modificado y representa la habilidad del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado. El segundo es el factor de forma o radio hidráulico que toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo.

El número de estabilidad N' se define como:

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

donde Q' es el Índice de Calidad Tunelera Q modificado

A es el factor de esfuerzo en la roca

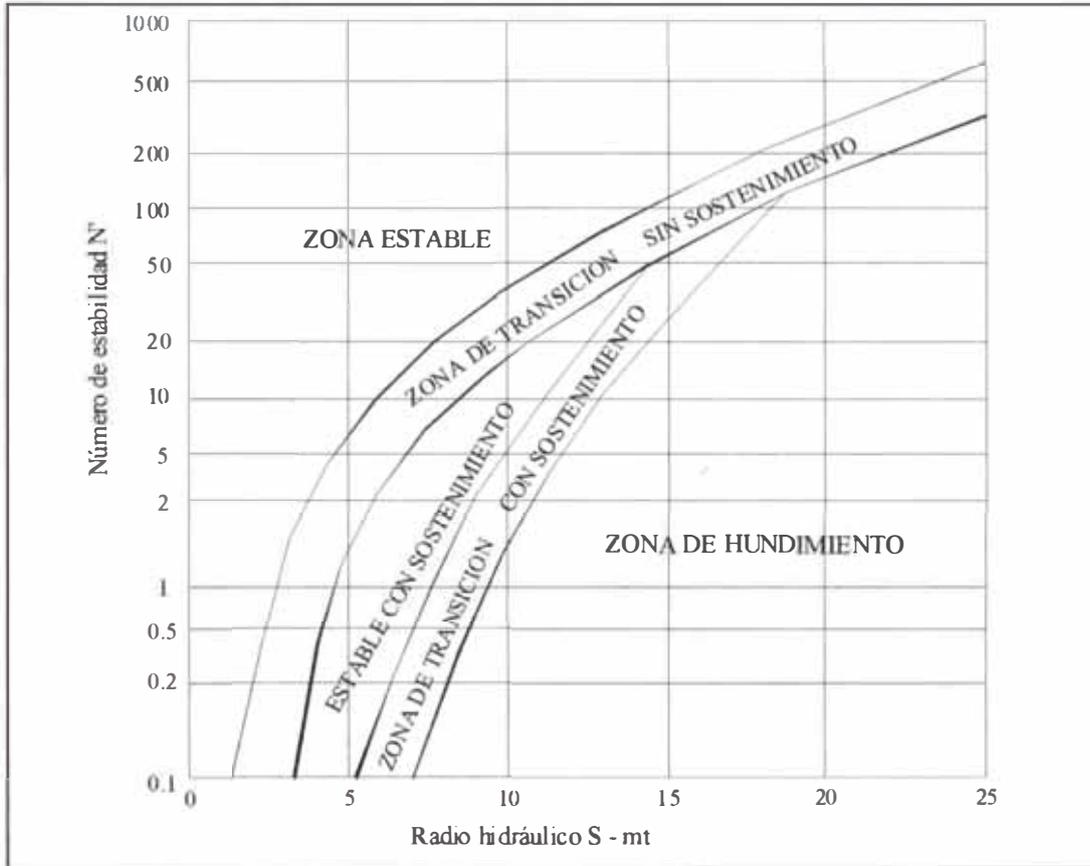
B es el factor de ajuste por orientación de las juntas

C es el factor de ajuste gravitacional

El factor de forma o radio hidráulico S , para la superficie del tajeo bajo consideración, se obtiene dividiendo el “área de la sección transversal de la superficie analizada” entre el “perímetro de la superficie analizada”.

Usando los valores del número de estabilidad N' , y el radio hidráulico S , se puede estimar la estabilidad de un tajeo a partir del “gráfico de estabilidad”.

Figura N° 37. Grafico Numero de Estabilidad (N) Vs Radio Hidráulico (S)



Cuadro N° 13. Tabla del Dimensionamiento del Tajo.

$S = \text{Área} / \text{Perímetro}$

CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESTABILIDAD "N"

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

$N' = 9.43$

S	Altura del Minado	Longitud Estable
5.75	40	16.1
8.2	40	27.8
10.9	40	47.9

- ESTABLE SIN SOSTENIMIENTO
- ZONA TRANSICION
- ESTABLE CON SOSTENIMIENTO

VI.4.2.3 Relleno de Espacios Vacíos

Cuadro N° 14. Tajos a Rellenar (24 Mayo 2011)

Sección	Tajo - Nivel	VOL. TOTAL (m3)	CUMPLIMIENTO	VOL. RELLENADO(m3)	VOL. RESTANTE(m3)	PRIORIDAD
IV	Plan de Relleno Mina Sección IV	99,500		28,600	70,900	
	TJ 654_1500_1700_VETA C	2,000	0%	0	2,000	8
	TJ 684_1700_1900_CPO M	7,000	0%	0	7,000	7
	TJ 648_1700_1900_VETA C	1,500	0%	0	1,500	6
	TJ 655_1700_1900_VETA C	10,000	20%	2,000	8,000	4
	TJ 684_1500_1700_CPO M	6,000	85%	5,100	900	5
	TJ 655_2300_2100_CPO M	30,000	35%	10,500	19,500	1
	TJ 680_2300_MPPO P	25,000	44%	11,000	14,000	3
	TJ 688_2300_CPO M	18,000	0%	0	18,000	2
V	Plan de Relleno Mina Sección V	133,203		75,712	57,491	
	TJ 675 Norte_2700_3000_VETA RL/TH	8,500	75%	6,375	2,125	9
	TJ 675 Sur_2700_3000_VETA RL/TH	9,000	95%	8,550	450	8
	TJ 682_3000 Intern_3000_RM, M3	15,203	55%	8,362	6,841	7
	TJ 647_3000_3300_VETA M	10,000	35%	3,500	6,500	12
	TJ 649N_3600_3300_VETA M	8,500	40%	3,400	5,100	4
	TJ 625_3300_3000_VETA M	37,500	90%	33,750	3,750	5
	TJ 640_3900_3600_M	8,500	35%	2,975	5,525	2
	TJ 638_3900_HORIZONTE	25,000	15%	3,750	21,250	1
	TJ 624 N_3900_3600_VETA M	5,500	40%	2,200	3,300	11
	TJ 685_2700_3000_MARY	1,500	70%	1,050	450	10
	TJ 671_2700_3000_RM23JM	1,500	45%	675	825	3
	TJ 684_3000_3300_VETA M	2,500	45%	1,125	1,375	6
		232,703		104,312	128,391	

Fuente: Area de Mina – Yauliyacu

VI.5 MINIMIZACION DE EXPOSICIÓN EN MINA YAULIYACU

VI.5.1 Protocolos de Reingreso:

Actualmente se viene desarrollando e implementando diversos Estándares relacionados a los Eventos Micro Sísmicos; como son los Estándares de Estallido de Roca, Estándares de diversos elementos de sostenimiento y métodos de minado.

A continuación presentamos el Estándar “Estallido de Rocas”, implementado en Mina Yauliyacu.

Cuadro N° 15. Estándar de Estallido de Roca

	ESTANDAR (ANEXO 15 A)	CÓDIGO	IY – PTO – 043
	ESTALLIDO DE ROCAS	REVISIÓN	01
		APROBADO	17.03.2011

1. OBJETIVO

Estandarizar los conceptos de estallidos de rocas y normalizar el Procedimiento en caso de ocurrencia, así como minimizar los daños ocasionados por los estallidos de roca.

2. **ALCANCE**

A todo el personal de la Unidad Minera Yauliyacu.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

D.S. 055:2010 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional de Minería

4. **ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR**

4.1 **De los Conceptos**

4.1.1 El Estallido de Roca es una consecuencia de un Evento Sísmico.

4.1.2 El Evento Sísmico es producto de Lina anomalía geológica que se produce por la ruptura de roca que ha almacenado previamente gran cantidad de esfuerzos, generando ondas sísmicas que afectan en diferentes formas la estabilidad de las labores.

4.1.3 Por el grado de intensidad de las consecuencias de un Evento Sísmico, se definirá te consecuencias como:

- Relajamiento: roca rajada y agrietada por acumulación de esfuerzos, se percibe como un crujido de roca. Grado de intensidad 1.
- Desprendimiento: se da en roca previamente relatada que por efecto de un evento sísmico se desprende cae por gravedad. Se percibe como si se hubiera realizado campana de desale de roca. Grado de intensidad 2.
- Reventazón: la roca es cortada, agrietada y expulsada en forma de un evento sísmico considerable. Grado de intensidad 3.
- Estallido: La roca es expulsad violentamente por efecto de un evento sísmico intenso, se percibe como si se hubiera realizado un disparo en la labor. Grado de Intensidad 4.

4.2 CONDICIONES DE ROCA

- 4.2.1 Los estallidos de roca se producen en rocas duras, rígidas y competentes, como son las areniscas salisificadas.
- 4.2.2 Se originan también en labores profundas (>500 metros de profundidad).
- 4.2.3 Se debe tener una geología compleja con formaciones de cuñas y bloques.
- 4.2.4 Presiones inducidas por excavaciones adyacentes abiertas (tajos abiertos).

4.3 INTENSIDAD DEL EVENTO

- 4.3.1 Dependiendo de la magnitud del evento, se considera la siguiente descripción:

GRADO DE INTENSIDAD	INTENSIDAD DEL EVENTO	PRESCRIPCIÓN SONORA (auditiva)	CONSECUENCIA DEL EVENTO (en la roca)	DESCRIPCIÓN
1	Suave	Crujido	Relajamiento	Roca rajada y agrietada por acumulación de esfuerzos, no se aprecia movimiento alguno.
	Moderado	Sonido leve	Desprendimiento	Caída de roca por gravedad en rocas relajadas ayudadas por evento sísmico moderado, se aprecia movimiento sísmico muy local.
	Fuerte	Sonido fuerte sin movimiento	Reventazón	Empuje de roca con desprendimiento en forma de salto generado por movimiento sísmico sentido hasta a 1 km. del hipocentro.
4	Muy fuerte	Sonido intenso con movimiento	Estallido	La roca es expulsada en forma violenta generado por movimiento sísmico capaz de sentirse en mas de 1 km. del hipocentro.

4.4 Procedimiento en Caso de Ocurrencia

- 4.4.1 Se paralizarán las labores afectadas en caso de intensidad del evento fuerte a muy fuerte
- 4.4.2 Se bloquearán los accesos de las labores afectadas.
- 4.4.3 Inspeccionar la labor después de 48 horas mínimo de producido el evento.
- 4.4.4 El EST especializado conformado por las Jefaturas de SAS, Geomecánica, Geología, Mía y Planeamiento, serán los únicos autorizados a realizar la Inspección.
- 4.4.5 En casos muy particulares, el EST especializado definirán el momento de la inspección.
- 4.4.6 Las Laborea se reanudaran de acuerdo a las conclusiones del EST especializado.

5. RESPONSABLES

Superintendente de Mina. Jefes de Mina. Supervisión de Geomecánica. Personal SAS.

6. REGISTROS. CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

Monitoreo diario, presentaciones semanales, informes mensuales del Monitoreo micro sísmico.

7. FRECUENCIA DE INSPECCIONES.

Monitoreo diario del equipo Micro sísmico equipo de Soporte mensual e inspecciones de Seguridad semanal.

8. EQUIPO DE TRABAJO.

Equipo de Monitoreo Micro sísmico de ESG - Canadá

9. REVISIÓN Y MEJORAMIENTO CONTINUO.

Se realizara la revisión y mejoramiento continuo de acuerdo a lo establecido en el PC-SIG-001 Elaboración y Control de Documentos y Registros.

VI.5.2 Exclusión a Áreas con alto Riesgo Sísmico:

Aquí se Contempla la importancia de realizar el “Mapa de Peligro Sísmico” en las diferentes zona de la mina. Para ello es importante lo siguiente:

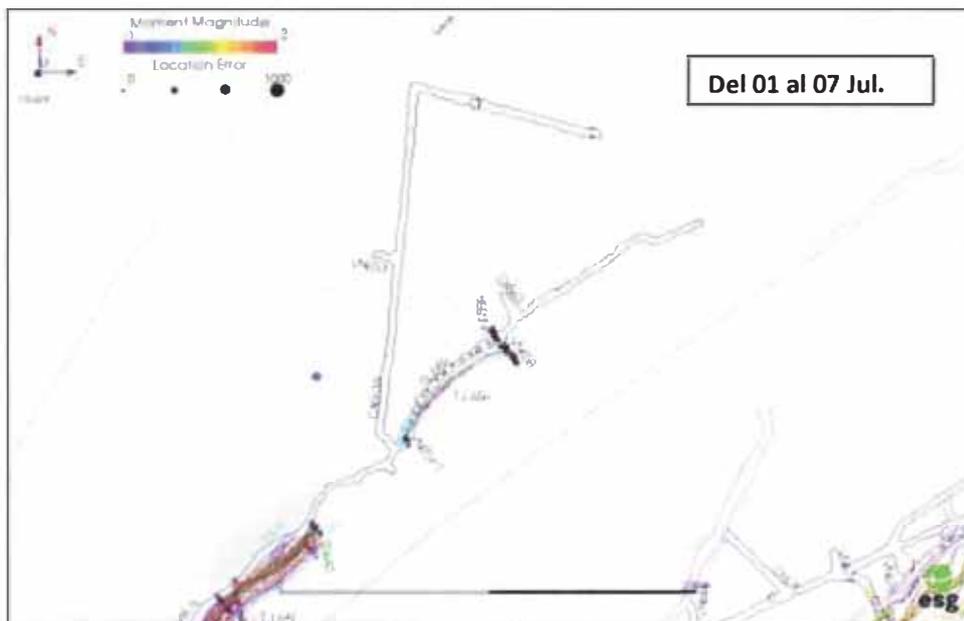
- Sabemos que el Peligro Sísmico varía espacialmente debido a la migración de las fuentes sísmicas.
- Nosotros podemos representarlo gráficamente para mejorar la realización del planeamiento de minado en forma segura y económica.
- Todo ello lo realizamos a partir de la data registrada de los eventos sísmicos.

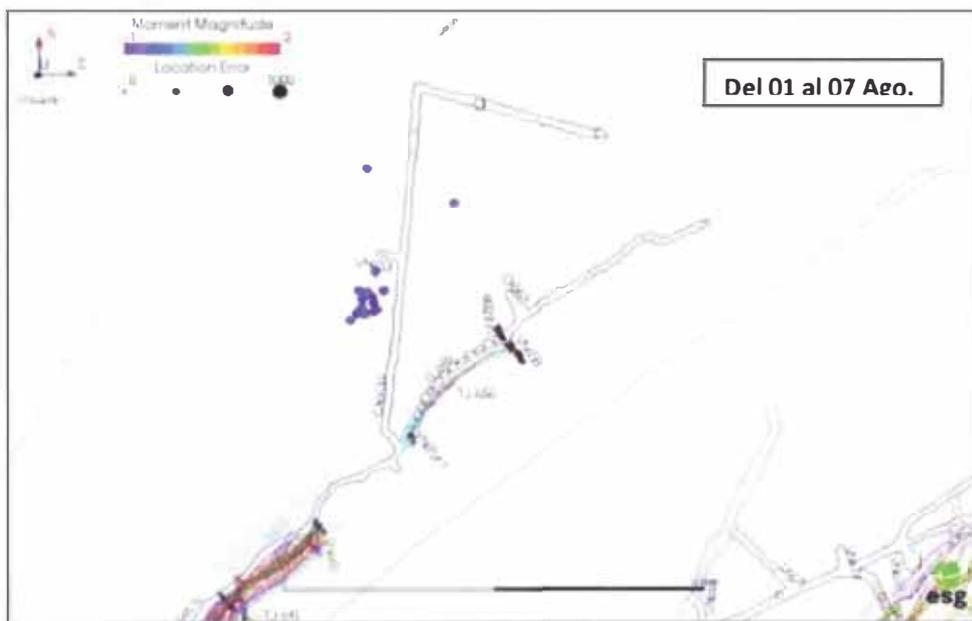
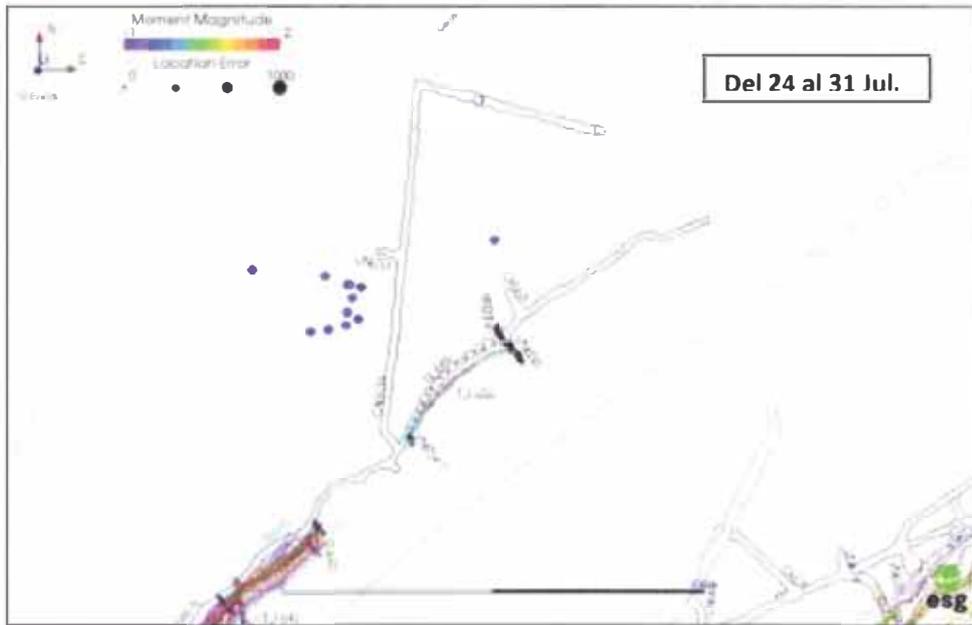
Morrison, Swan and Scholz (1993), hicieron una común observación:

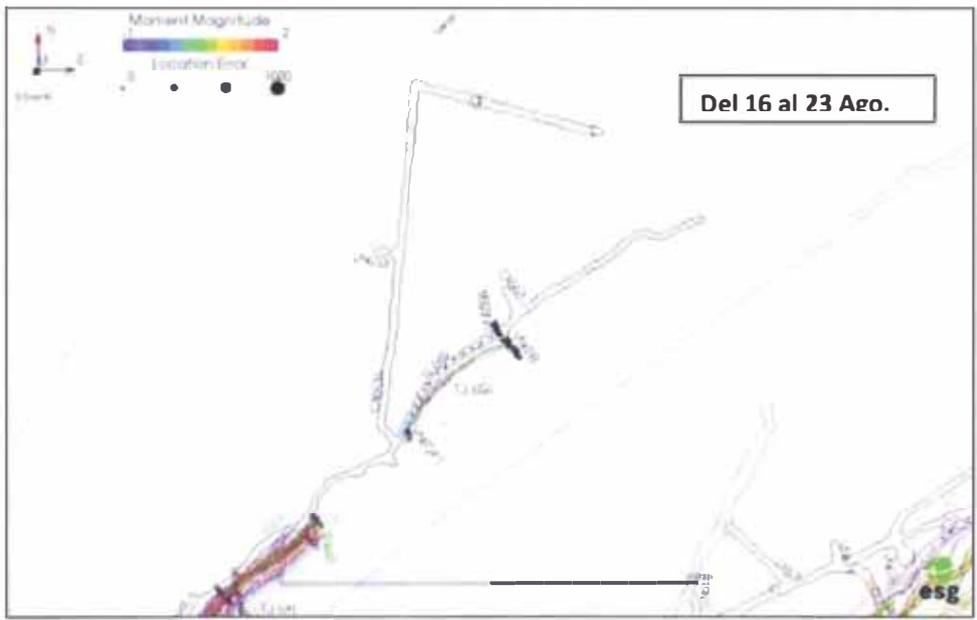
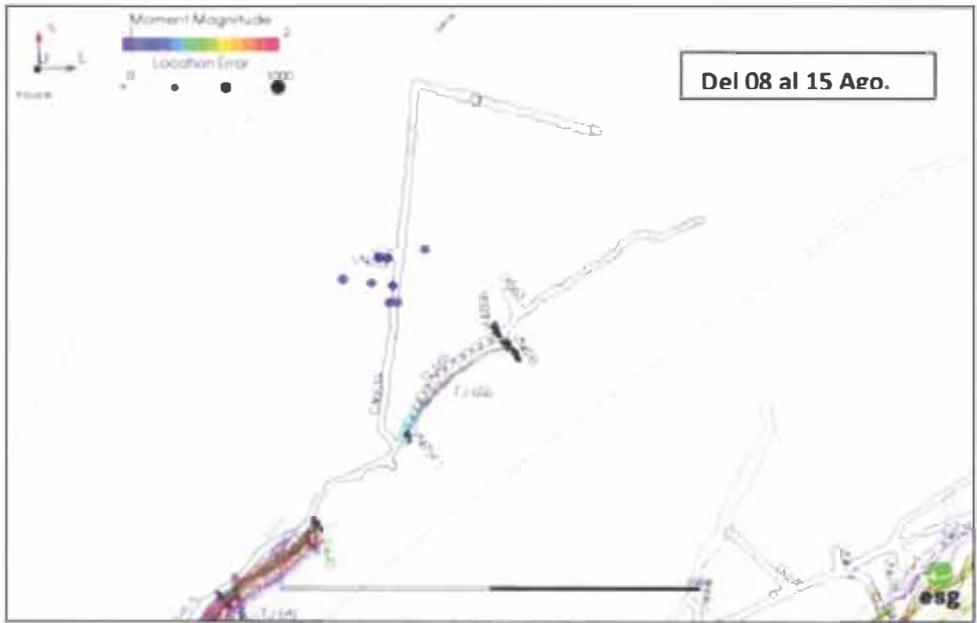
“Es reconocido que no todas las áreas de la mina son igualmente susceptible al daño y esta variación espacial ocurre en función de la severidad del evento sísmico. “Desde la perspectiva de una operación minera, la distribución espacial de un grande y potencial daño sísmico es de crucial importancia.”

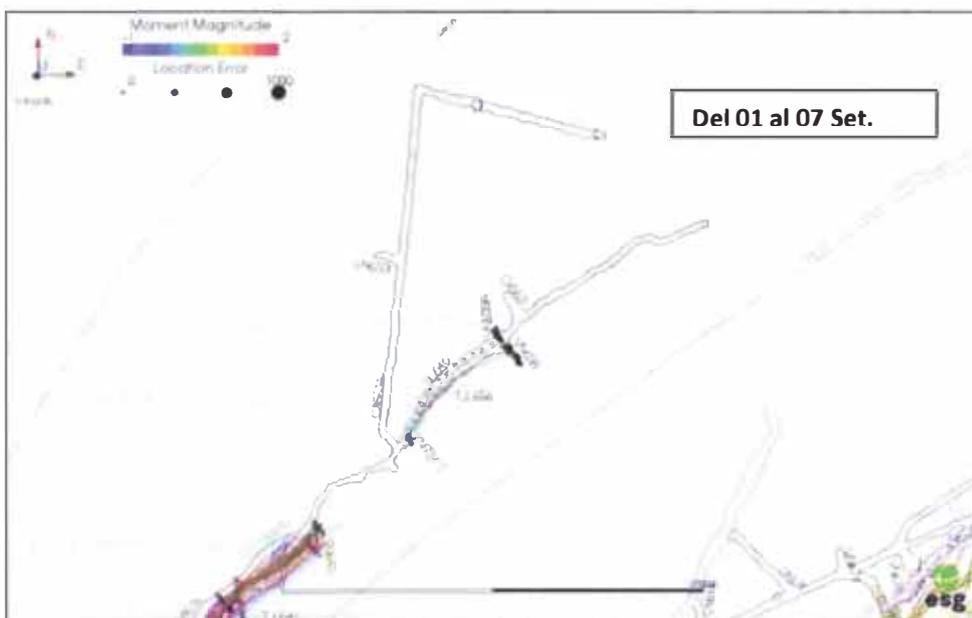
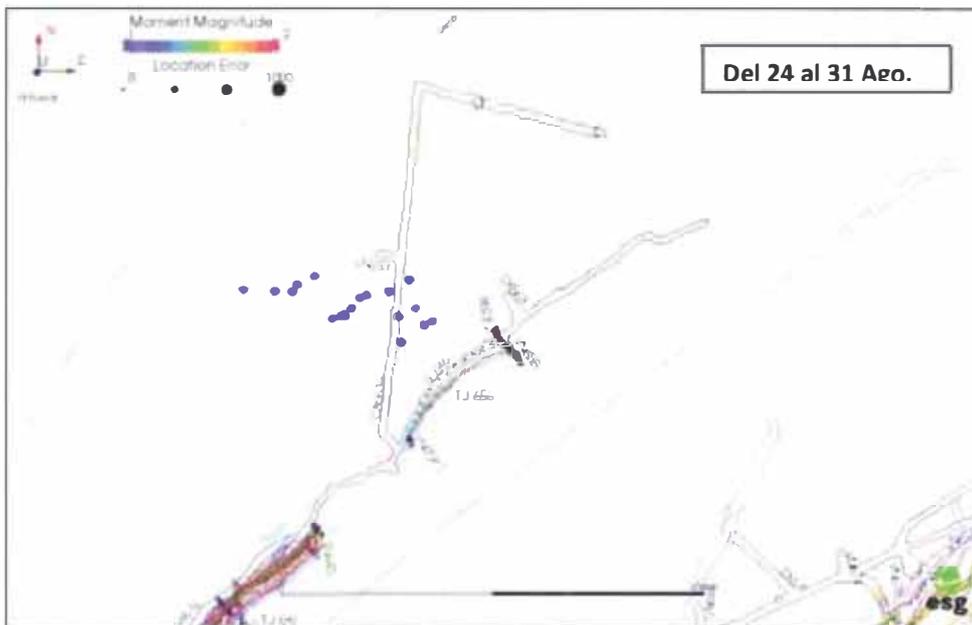
A continuación se presenta el Mapa de Peligro Sísmico en el Crucero 663A del Nv. 2100 de la Sección IV.

Figura N° 39. Secuencia de Eventos Sísmicos en Cx. 663 A Nv. 2100*









- Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sismico

VI.5.3 Equipos a Control Remoto:

En nuestra unidad están operando ahora 13 unidades Scooptram con RRC y se está trabajando para instalar nuevas unidades RRC en más cargadores Scooptram. El Radio Remote Control mejora la seguridad porque el operador puede estar en la galería en una posición segura bajo un área bien soportada y a la vista del Scooptram. El cargador puede avanzar hasta la pila de mineral y cargar desde el borde de la chimenea abierta, que puede ser inestable.

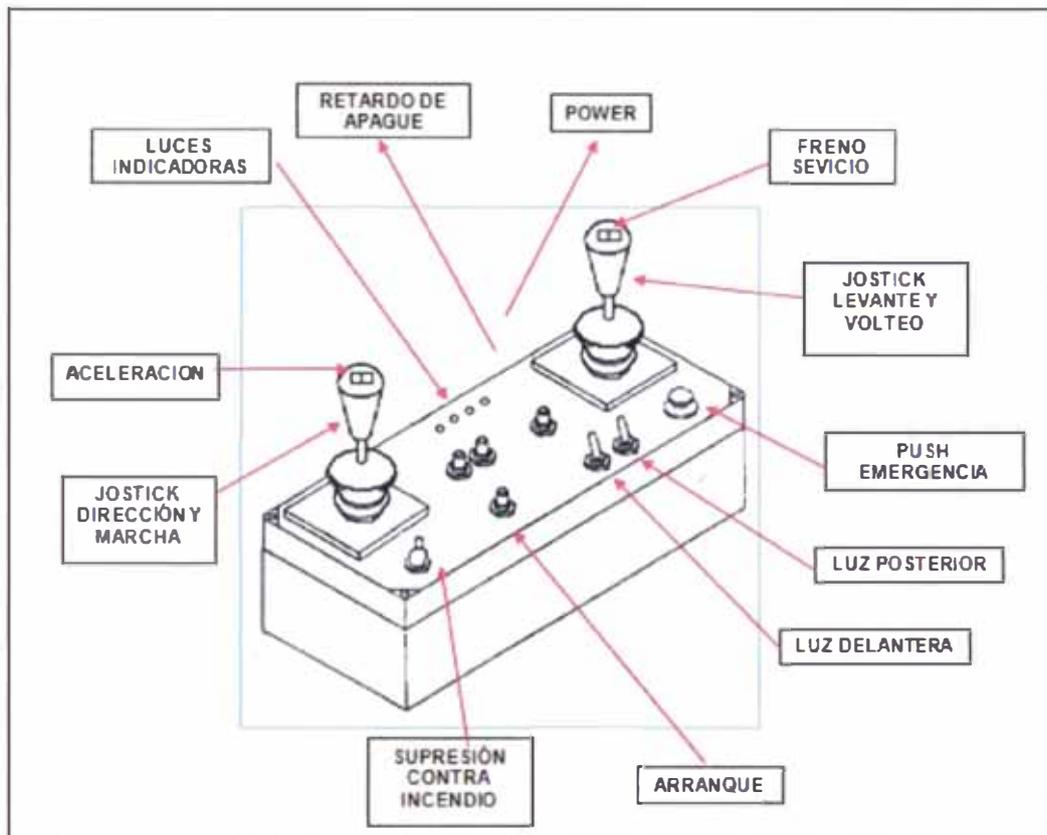
La unidad de control es mucho más pequeña y ligera que otros sistemas alternativos y los operadores aprecian especialmente el poco peso del transmisor y su simplicidad.

Los elementos de seguridad adicionales incluyen una función para evitar los movimientos involuntarios, un sensor de inclinación y una empuñadura de "hombre muerto" que se dispara en caso de que el operador deje caer el transmisor.

El sistema de control remoto consiste de:

- Un Radio Transmisor
- Un Radio Receptor
- Un circuito de Interface (Hidráulico – Eléctrico)

Figura N° 40 - Diagrama Pictórico Del Transmisor Del Control Remoto



CAPÍTULO VII: PROBABILIDAD SÍSMICA EN MINAS

SUBTERRÁNEAS

“Es una estimación de la principal probabilidad (sobre espacio y tiempo) de la ocurrencia de un evento sísmico con una cierta magnitud dentro de un intervalo de tiempo dado.” *Gibowicz and Kijko, 1994.*

Por lo tanto los desafíos se enmarcan dentro de:

- Probabilidad
- Espacio
- Tiempo
- Cierta Magnitud

De los cuatro ítems, el Periodo de Tiempo es crucial, y se clasifica dentro de tres categorías:

Largo Plazo – Probabilidad Sísmica: Relacionado estrechamente con Frecuencia – Magnitud.

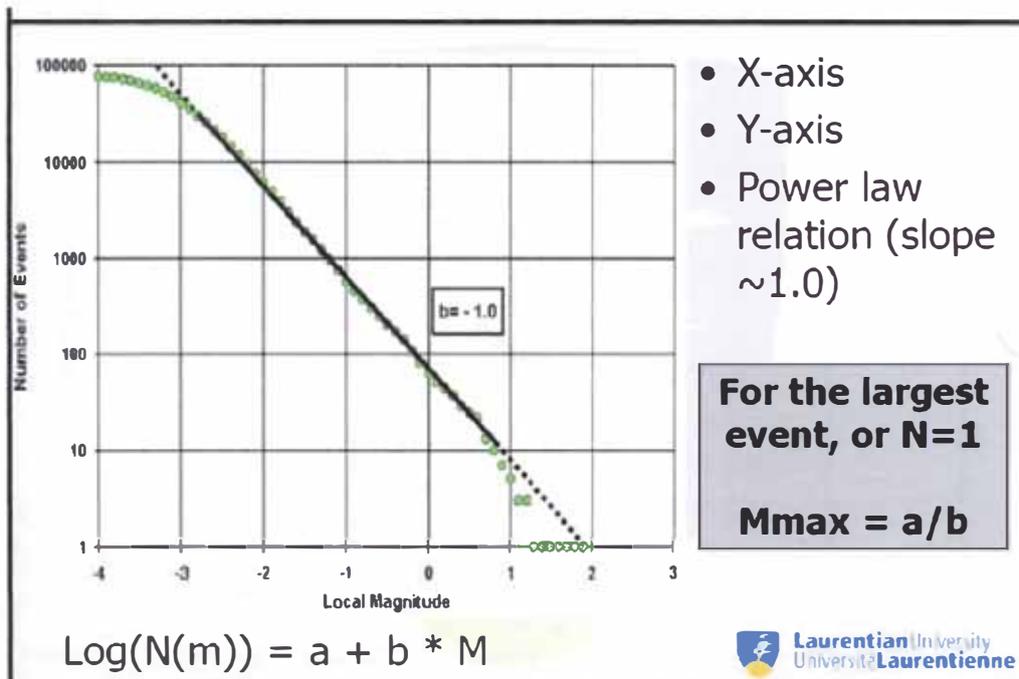
Mediano Plazo – Probabilidad Sísmica: Variaciones en magnitud y ubicación del Evento.

Corto Plazo – Probabilidad Sísmica: Análogo a la predicción del acontecimiento, pero las técnicas de Análisis se diferencian dependiendo el período de interés.

A continuación desarrollaremos en detalle la Probabilidad Sísmica en términos de Largo – Plazo.

- Se requiere un largo periodo de monitoreo y registro de los mismos.
- Se utiliza la relación Frecuencia – Magnitud, de Gutenberg / Richter para este caso.

Figura N° 41. Relación Frecuencia – Magnitud (*Gutenberg – Richter*).



Relaciones de Frecuencia – Magnitud:

Esto se aplica a toda la Data registrada, pero cumpliendo ciertas condiciones.

- La Data debe ser bien filtrada.
- Suficiente Data registrada, por lo menos más de 8 meses.
- La relación debe ser lineal sobre ciertos tramos de Magnitud registrada.
- La pendiente (b valor) debe ser cerca de 1.
- Todos los eventos relacionados como Disparo deben ser removidos.

Figura Nº 42. Buena Recolección de Data Sísmica.

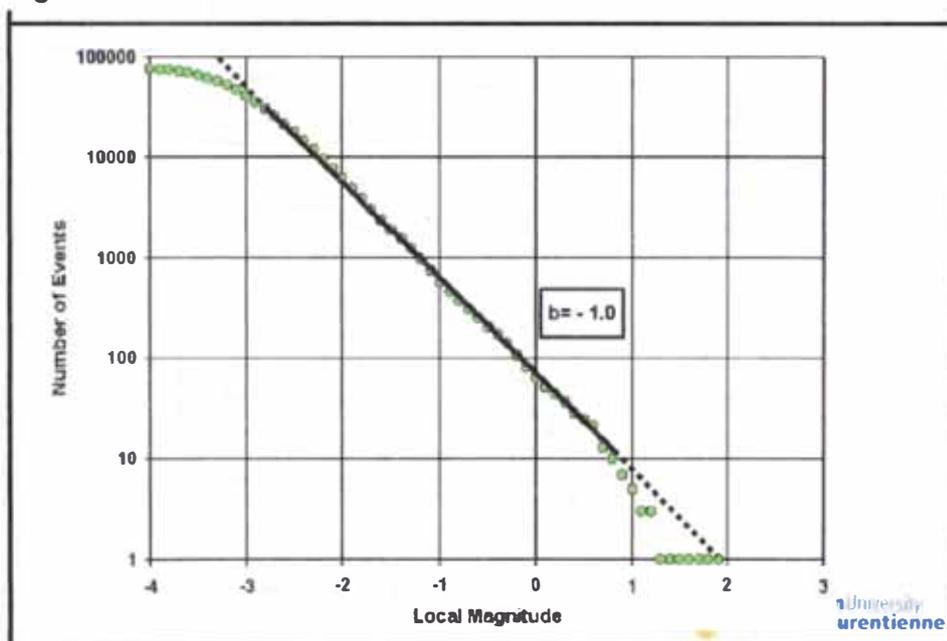


Figura N° 43. Mala Recolección de Data Sísmica.

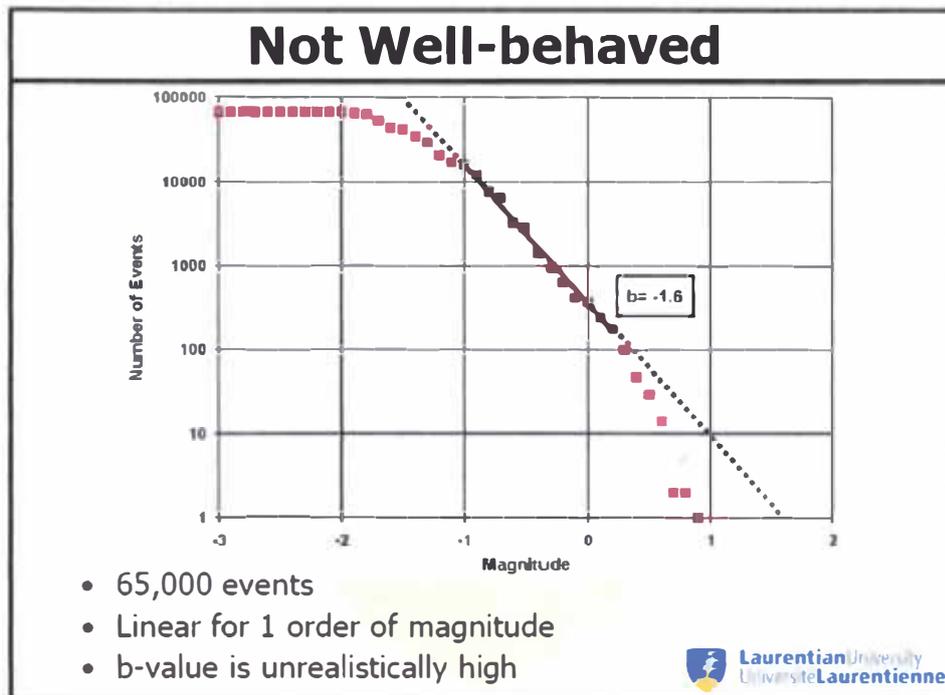
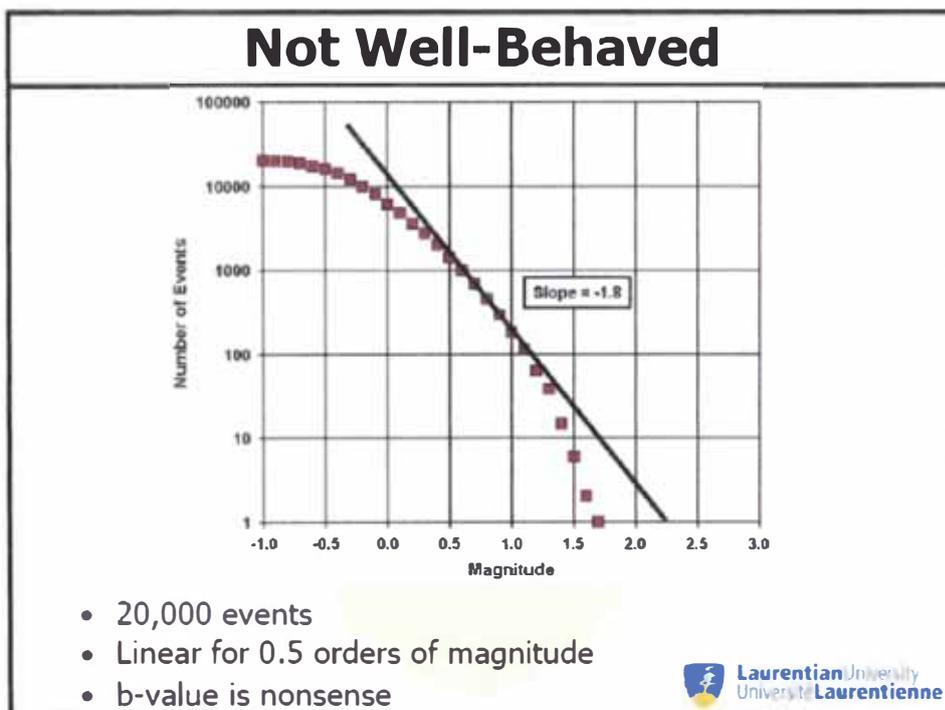


Figura N° 44. Mala Recolección de Data Sísmica.



Cuadro N° 16. Numero de Eventos y No Eventos Sísmicos en Yauliyacu

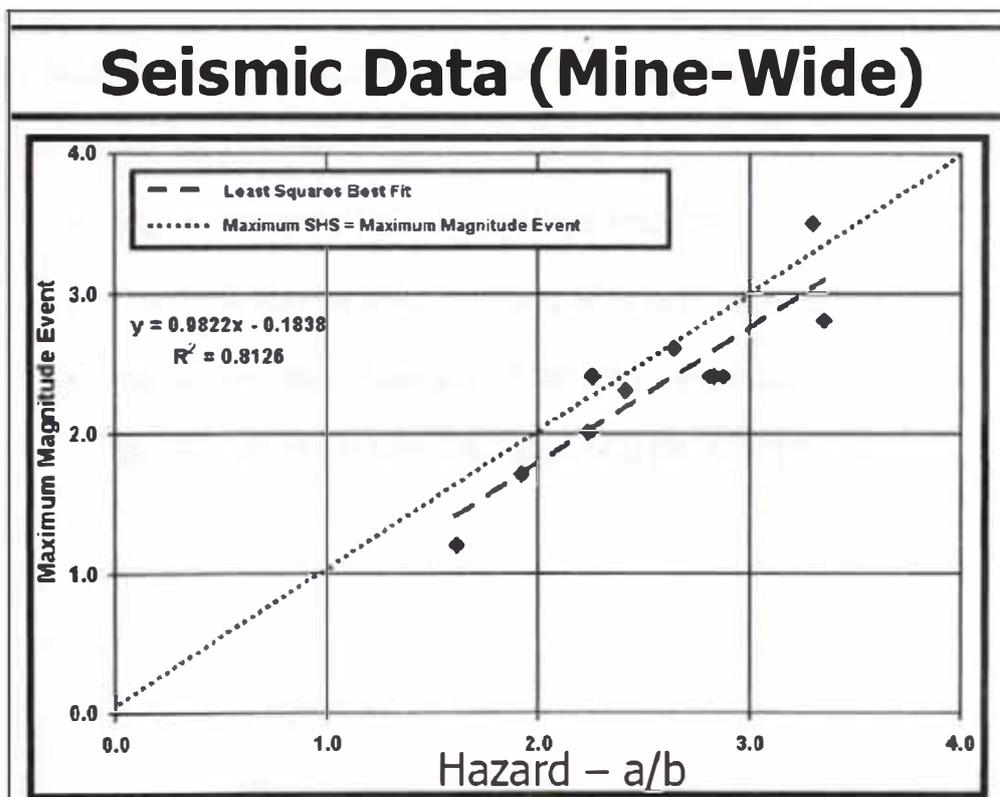
	# Eventos	# Eventos ≥ 0	# Eventos ≥ 1.0
Total Eventos Registrados Mayo – Diciembre 2010	9298	1856	23
No Eventos, Disparos	5512	927	5
Eventos	3786	929	18

Cuadro N° 17. Relación de las Constantes a/b Para Diferentes Minas.

Mina	Periodo Monitoreo (Años)	# Eventos Registrados	b-Valor	Magnitud del Mayor Evento Registrado	a/b
1	2,3	3000	0,9	2,4	2,3
2	2,8	7000	1,1	2	2,2
3	4,9	11000	1,2	2,6	2,6
4	1,9	8000	1,2	2,4	2,8
5	0,9	15000	1,3	2,8	3,3
6	1,8	4000	0,9	1,7	1,9
Yauliyacu	0,8	3786	1,1	1,6	1,9
8	4	31000	1,3	2,4	2,8
9	4,4	2000	0,8	3,5	3,3
10	4,3	400	0,8	2,3	2,4
11	1,8	6200	0,9	1,2	1,6
12	2,4	17000	1,1	2,4	2,9

Fuente: Managing Seismic Risk in Mines - Dr. Marty Hudyma

Figura N° 46. Grafico a/b Vs Máxima Magnitud Sísmica



Fuente: Managing Seismic Risk in Mines - Dr. Marty Hudyma

De la Grafica anterior, se concluye:

- a/b está razonablemente bien relacionada con el evento de mayor magnitud registrada.
- Pero esto es únicamente un valor académico.
- Nosotros no podemos aplicar controles en base a esto, pero es una referencia.
- Nosotros necesitamos mucha más información.
- Nosotros sabemos que la Probabilidad Sísmica varía considerablemente en el espacio y tiempo.
- Nosotros necesitamos realizar una investigación sobre las Fuentes Sísmicas.

Y para realizar un Estudio sobre las Fuentes Sísmicas se debe considerar los siguientes pasos:

- Mecanismos de Falla en la Masa Rocosa.
- Combinación de esfuerzo, estructuras e influencia del minado.
- Identificar las Fuentes Sísmicas espacialmente con algunas técnicas como polígonas, racimos o densidad de eventos.

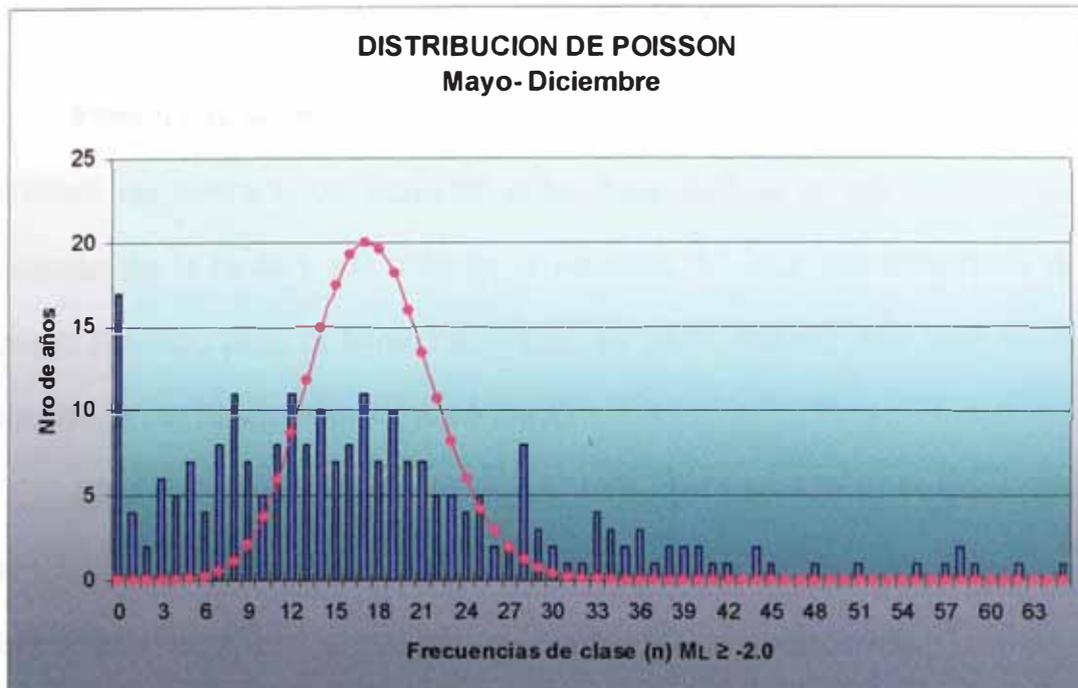
CAPÍTULO VIII: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA PROBABILIDAD SÍSMICA EN MINA YAULIYACU

VIII.1 APLICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE POISSON Y CAMPANA DE GAUSS PARA LA VALIDACIÓN DE LA DATA

Para la comprobación de una data confiable, se emplea la distribución de Poisson y la Campana de Gauss. Esto nos determina si la data es correcta, de lo contrario, se debe re filtrar toda la data. Para validar la data se debe comprobar que la Campana de Gauss se ajuste a la distribución de Poisson de nuestros eventos.

El siguiente cuadro nos muestra la Campana de Gauss con la distribución de Poisson de la Mina Yauliyacu. Según el grafico, la data empleada es confiable.

Figura N° 47. Distribución de Poisson y Campana de Gauss (Data de los meses de Mayo – Diciembre 2010).



Los criterios que se utilizaron para el filtrado son los siguientes:

1.- Coordenadas: Se utilizaron los límites adecuados para poder tener la data adecuada para nuestra zona de interés.

2.- Periodicidad: los eventos lejanos a nuestros niveles de interés fueron filtrados.

Magnitud: los eventos menores a -2.0 ML fueron filtrados, no se incluyen eventos mayores a 2.0 Mw.

Error: la distribución está ajustada a errores menores a 15, algunos eventos fuera de este rango fueron filtrados.

VIII.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA HALLAR LA RECTA DE FRECUENCIA – MAGNITUD

Para hallar la recta Frecuencia – Magnitud, debemos contabilizar la cantidad de eventos de acuerdo a su magnitud, a la vez calcular la ecuación de la recta y así obtener la variable “b”, que nos determina el Riesgo Sísmico para la Mina Yauliyacu; es decir, cuanto más bajo es el valor de “b”, el riesgo sísmico será mayor.

Para la ecuación de la recta solo se usara los eventos de magnitudes positivas (sombreadas de amarillo) que son las que debemos darle mayor atención, ya que son las causantes de mayor daño.

Cuadro Nº 18. Tablas de Frecuencia – Magnitud.

FRECUENCIA-MAGNITUD		FRECUENCIA-MAGNITUD					
Magnitud	Nº Sismos	P	Magnitud (x)	Nº Sismos	logN (y)	x ²	xy
-1	9	1	-1.0	9	0.954	1.00	-0.954
-0.9	37	2	-0.9	37	1.568	0.81	-1.411
-0.8	105	3	-0.8	105	2.021	0.64	-1.617
-0.7	159	4	-0.7	159	2.201	0.49	-1.541
-0.6	260	5	-0.6	260	2.415	0.36	-1.449
-0.5	371	6	-0.5	371	2.569	0.25	-1.285
-0.4	480	7	-0.4	480	2.681	0.16	-1.072
-0.3	473	8	-0.3	473	2.675	0.09	-0.802
-0.2	470	9	-0.2	470	2.672	0.04	-0.534
-0.1	429	10	-0.1	429	2.632	0.01	-0.263
0	356	11	0.0	356	2.551	0.00	0.000
0.1	295	12	0.1	295	2.470	0.01	0.247
0.2	193	13	0.2	193	2.286	0.04	0.457
0.3	131	14	0.3	131	2.117	0.09	0.635
0.4	101	15	0.4	101	2.004	0.16	0.802
0.5	98	16	0.5	98	1.991	0.25	0.996
0.6	79	17	0.6	79	1.898	0.36	1.139
0.7	69	18	0.7	69	1.839	0.49	1.287
0.8	48	19	0.8	48	1.681	0.64	1.345
0.9	34	20	0.9	34	1.531	0.81	1.378
1	23	21	1.0	23	1.362	1.00	1.362
1.1	9	22	1.1	9	0.954	1.21	1.050
1.2	9	23	1.2	9	0.954	1.44	1.145
1.3	4	24	1.3	4	0.602	1.69	0.783
1.4	2	25	1.4	2	0.301	1.96	0.421
1.5	1	26	1.5	1	0.000	2.25	0.000
1.6	2	27	1.6	2	0.301	2.56	0.482
1.7	0						
1.8	0						
1.9	0						
2	0						
	4247	Sumatoria	13.6	1454	24.843	14.96	13.528

Nº Sismos2

$$y = a + bx$$

$$a = 2.2257$$

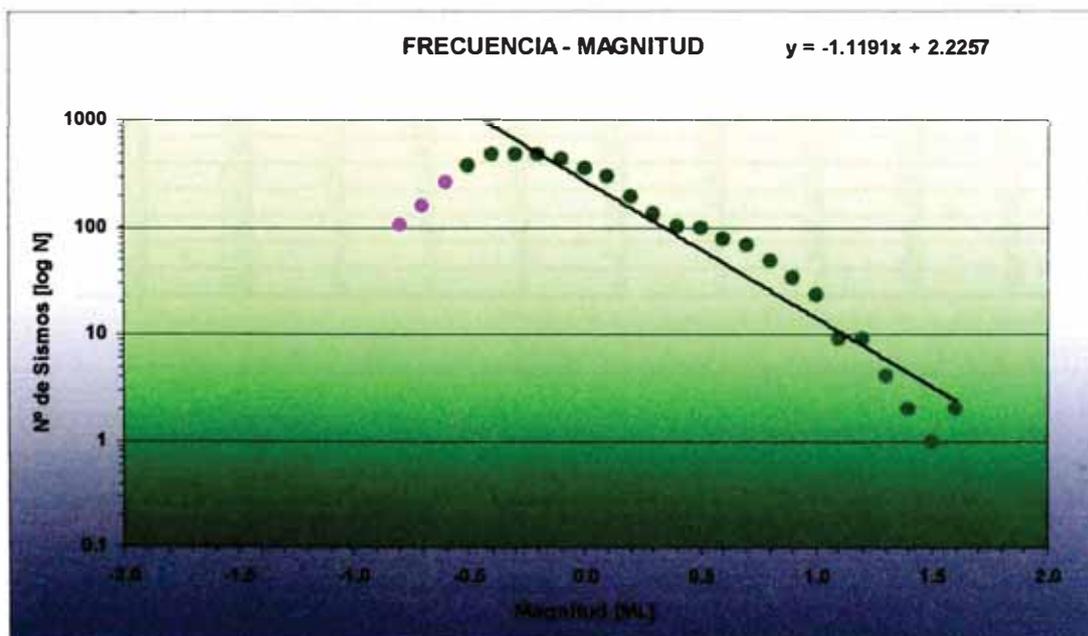
$$b = -1.1191$$

Para hallar los parámetros "a" y "b" se utilizó el método de Mínimos Cuadrados; cuya ecuación es la ecuación de la recta.

$$y = a + bx \quad \text{ó} \quad y = bx + a$$

Donde "b" es la pendiente de la recta; en este caso el valor de "b" sería negativo; por una forma práctica se toma un valor positivo. **Entre menor sea el valor de "b" mayor será el Riesgo Sísmico.**

Figura N° 48. Relación Frecuencia-Magnitud y parámetros "a" y "b"
(Data Mayo – Diciembre de 2010)



De acuerdo a la recta observamos una susceptibilidad de -0.5 Mw; esto quiere decir que el método de Mínimos Cuadrados consideró valores iguales o mayores a -0.5 Mw.

VIII.3 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

La probabilidad de ocurrencia, nos indica la probabilidad en porcentajes (%) de que ocurra un microsismo de determinada magnitud (Mw) en un determinado tiempo (Días).

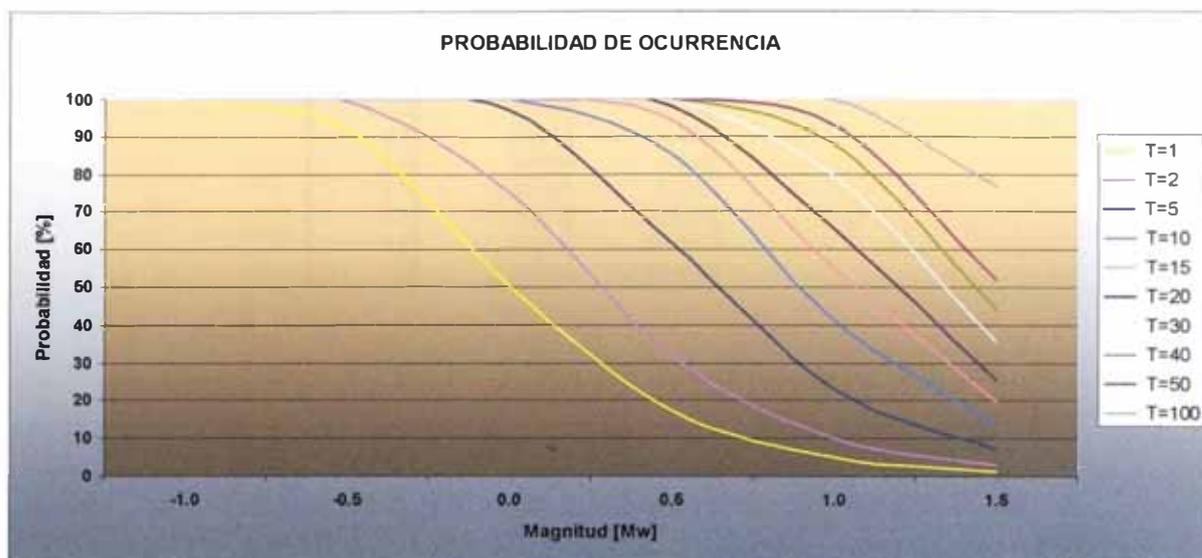
A partir de un 80% de probabilidad, podemos decir que es un dato confiable.

Cuadro N° 19. Tablas de Probabilidad de Ocurrencia.

Corrección
 $a_1 = -0.1563$

		T=1	T=2	T=5	T=10	T=15	T=20	T=30	T=40	T=50	T=100
Magn	y_1	%P_r(M)_{T=1}	%P_r(M)_{T=2}	%P_r(M)_{T=5}	%P_r(M)_{T=10}	%P_r(M)_{T=15}	%P_r(M)_{T=20}	%P_r(M)_{T=30}	%P_r(M)_{T=40}	%P_r(M)_{T=50}	%P_r(M)_{T=100}
M=-1.5	-1.5	33.30	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M=-1.0	-1.0	9.18	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M=-0.5	-0.5	2.53	92	99	100	100	100	100	100	100	100
M=0.0	0.0	0.70	50	75	97	100	100	100	100	100	100
M=0.5	0.5	0.19	18	32	62	85	94	98	100	100	100
M=1.0	1.0	0.05	5	10	23	41	55	65	80	88	93
M=1.5	1.5	0.01	1	3	7	14	20	25	36	44	52
M=2.0	2.0	0.00	0	1	2	4	6	8	11	15	18

Figura N° 49. Probabilidad de Ocurrencia de un Microsismo en un periodo determinado con Magnitud Mw (Data Mayo-Diciembre 2010).



De la Figura N° 49; podemos decir, que para un microsismo de 1.5 Mw tenemos casi un 20% de probabilidad de que ocurra, en un periodo de 15 días (línea naranja). Sin embargo para un periodo de tiempo de 40 días y para una magnitud de 1.0 Mw tenemos un 90% de Probabilidad que ocurra.

VIII.4 PERIODO DE RETORNO

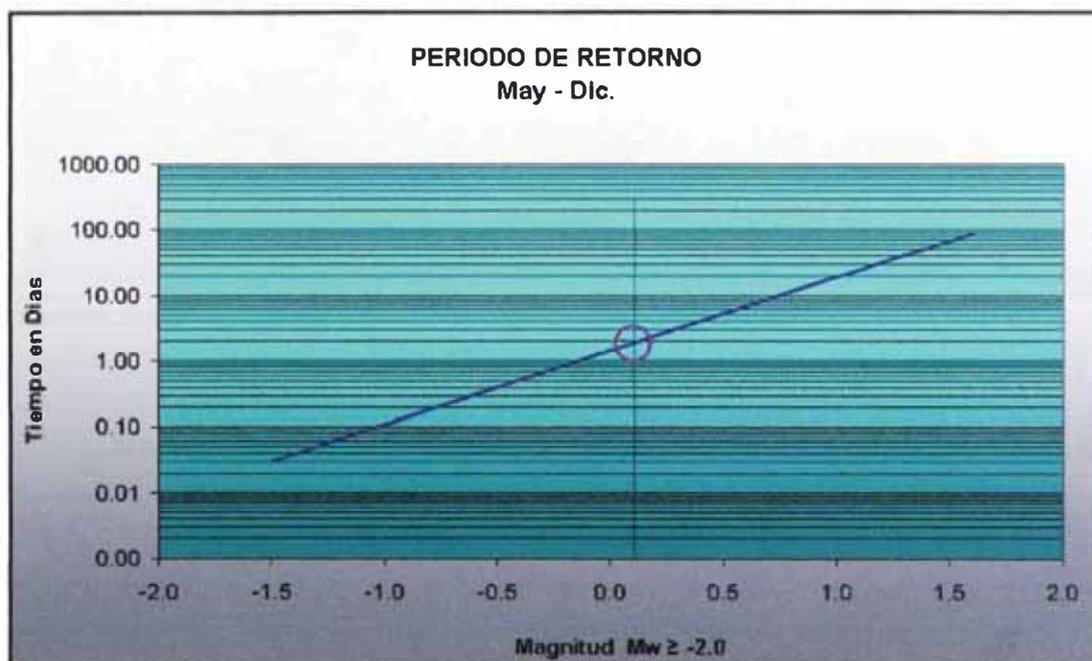
El Periodo de Retorno, nos indica el tiempo (Días) que tardaría un evento micro sísmico de una determinada magnitud (Mw) en volver a ocurrir, desde el momento de ocurrido el evento.

La Data empleada para el cálculo de Periodo de retorno en la Mina Yauliyacu, es la siguiente:

3.904404342

Magn	Y1	1/Y1
-1.5	33.296	0.030
-1.0	9.180	0.109
-0.5	2.531	0.395
0.0	0.698	1.433
0.5	0.192	5.198
1.0	0.053	18.854
1.5	0.015	68.385
1.6	0.011	88.485

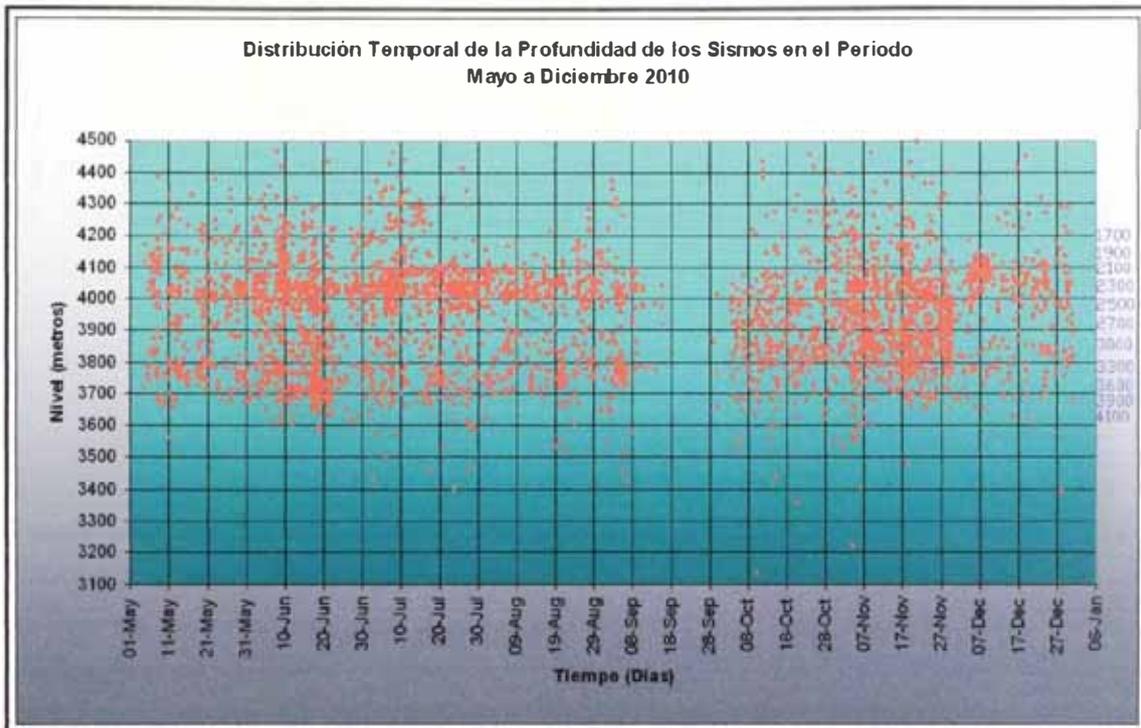
Figura N° 50. Periodo de Retorno de un Microsismo con Magnitud Mw (Data Mayo-Diciembre 2010).



De la Figura N° 50, podemos decir que si ocurriera hoy un microsismo de 0.1 Mw, tenemos 2 días para que vuelva a ocurrir otro evento con la misma magnitud.

VIII.5 CUADROS ESTADÍSTICOS

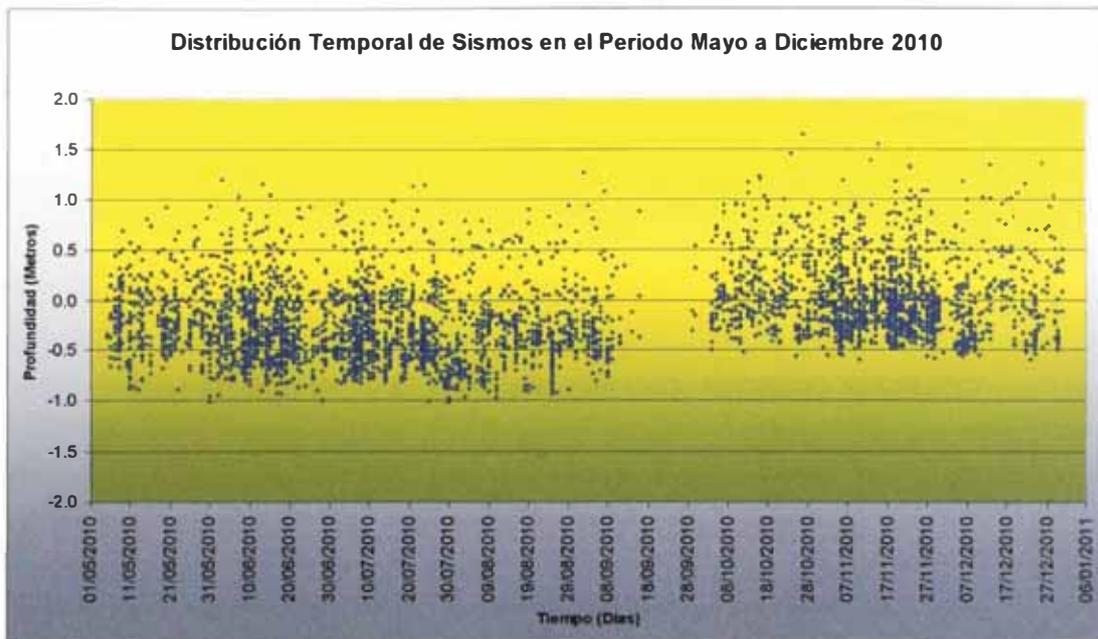
Figura N° 51. Distribución Temporal de la Profundidad de los Eventos Sísmicos en el Periodo Mayo a Diciembre 2010



Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sísmico

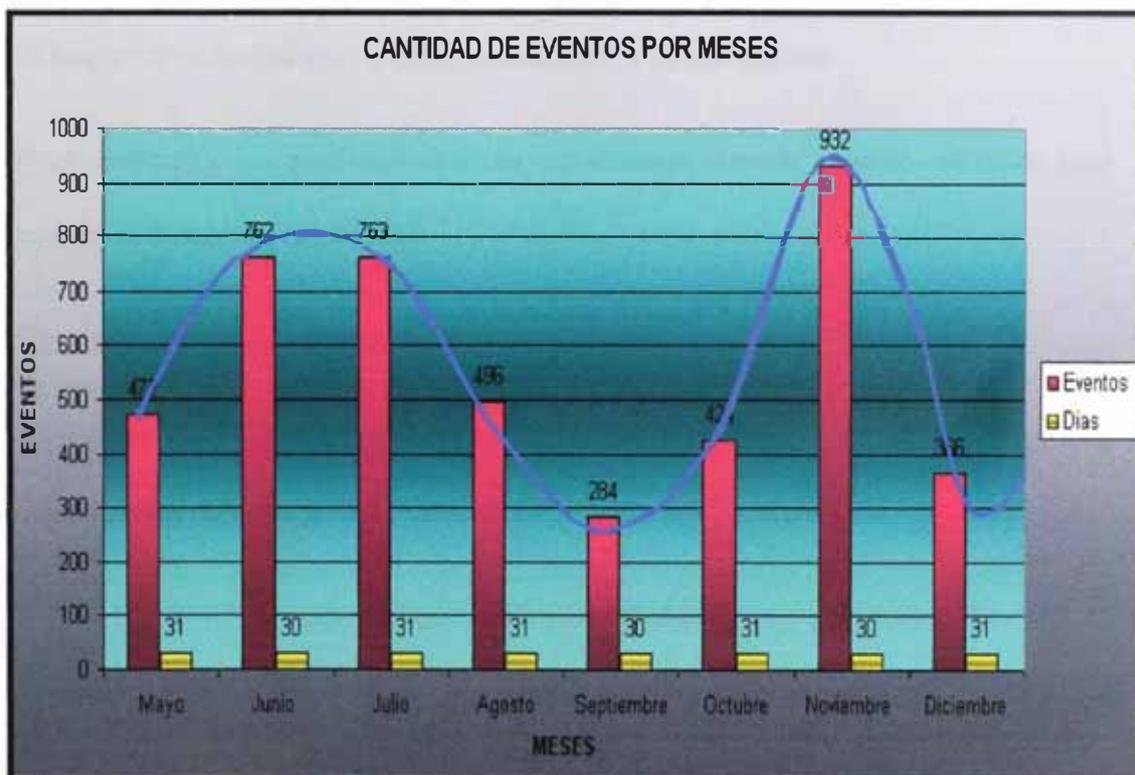
En la Figura N° 51, podemos observar la distribución de los eventos micro sísmicos en función de Fecha Vs Niveles; observando que la mayoría de los hipocentros en el periodo de Mayo – Diciembre de 2010, se presentaron entre las profundidades 4000 – 4100 pertenecientes a los niveles 2100 – 2500.

Figura N° 52. Distribución de la Magnitud de los Eventos Sismos en el Periodo Mayo a Diciembre 2010



Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sismico

Figura N° 53. Distribución de Eventos Re-filtrados - Periodo Mayo a Diciembre 2010



Fuente: Software SeisVis – Sistema de Monitoreo Micro Sismico

CAPITULO IX: VALORIZACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

IX.1 TABLAS PARA VALORIZAR EL RIESGO SISMICO

Como lo habíamos mencionado anteriormente, el Riesgo Sísmico se expresa de la siguiente manera:

Riesgo= Probabilidad x Consecuencia x Exposición

Probabilidad= La probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico que puede resultar en pérdidas.

Consecuencia= La gravedad de los daños

Exposición= La exposición de la mano de obra, equipos y activos frente a los eventos sísmicos.

Es factible obtener un valor cuantitativo para el riesgo sísmico de cualquier mina subterránea. Para ello el riesgo viene a ser el producto de tres variables (Probabilidad, Consecuencia y Exposición).

Para nuestro caso utilizaremos las siguientes Tablas para cada variable anteriormente mencionada.

Cuadro N° 20. Tabla de Evaluación del Riesgo

Probabilidad	DESCRIPCION	NUMERO DE OCURRENCIAS EN SU AREA
32	MUY PROBABLE	Evento Común o muy Probable a ocurrir
16	FRECUENTE	Probablemente ocurrirá o ha ocurrido
8	PROBABLE	Puede ocurrir
4	ESPORÁDICO	Improbable o nunca se ha oído
2	IMPROBABLE	Prácticamente Imposible
Consecuencia	DESCRIPCION	NATURALEZA DEL INCIDENTE
64	CATASTROFICO	Fatalidad y/o Cierre de las Operaciones.
32	CRITICO	Críticas pérdidas en el Proceso / Incapacidad Total Permanente.
16	SERIO	Incapacidad Parcial Permanente / Uno o más incidentes serios.
8	MODERADO	Incapacidad Total Temporal / Lesiones leves
4	LEVE	Tratamiento de primeros auxilios
Exposicion	DESCRIPCION	FRECUENCIA DE EXPOSICION
5	MUY EXTENSA	Encima del 80% de la jornada de trabajo
4	INTENSA	Diariamente
3	PREDOMINANTE	Semanalmente
2	LIMITADA	Mensualmente
1	RARA O ESCASA	Anualmente

CLASE	VALOR DEL	CLASIFICACION DEL RIESGO	NIVEL DE EFICACIA ESPERADO DEL CONTROL OPERACIONAL
A	$R \geq 1000$	Critico, Significativo	90%
B	$700 \leq R < 1000$	Alto	78%
C	$300 \leq R < 700$	Medio	50%
D	$R < 300$	Bajo	25%

Fuente: Area de Mecanica de Rocas – Yauliyacu

Cuadro N° 21. Tabla de Herramientas de Control del Riesgo Sísmico.

NIVEL DEL RIESGO		TABLA DE HERRAMIENTAS DE CONTROL				
% EFICACIA DEL C.O.		Sistemas de Bloqueo / Sostentamiento	Equipos/ Tecnología	Monitoreo / Mantenimiento	Entrenamiento / Capacitación del personal	Estándares
90%	CRITICO $R \geq 1000$	Exclusión a Áreas Críticas Diseño del Sostentamiento Dinámico adecuado Cambio de Accesos	Uso de Equipos a Control Remoto	Ampliación del Monitoreo Micro Sísmico Análisis e Interpretación de la Data por especialistas	Capacitación del Personal Mina a todo Nivel Generación de Reportes Diariamente	Protocolos de Re- ingreso Estándares de Sostentamiento Estándares del Método de Minado Cambios en el Diseño de Mina
75%	ALTO $700 \leq R \leq 999$	Exclusión a Áreas Críticas Diseño del Sostentamiento Dinámico adecuado	Uso de Equipos a Control Remoto	Ampliación del Monitoreo Micro Sísmico Análisis e Interpretación de la Data	Capacitación del Personal Mina Generación de Reportes Diariamente	Protocolos de Re- ingreso Cambios en el Desarrollo de la Mina
50%	MEDIO $300 \leq R \leq 699$	Señalización adecuada Diseño del Sostentamiento Dinámico adecuado		Análisis e Interpretación de la Data	Generación de Reportes Diariamente	Cambio en Prácticas Mineras
25%	BAJO $R < 299$	Sostentamiento Estándar		Análisis e Interpretación de la Data	Capacitación del Personal Mina	

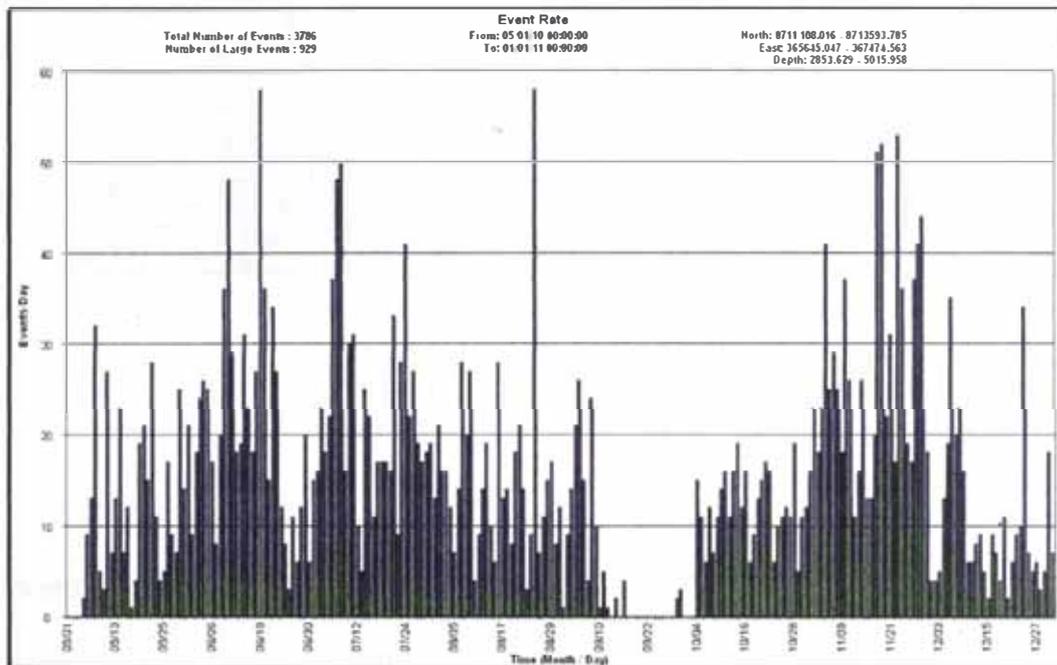
Fuente: Área de Mecánica de Rocas – Yauliyacu

CONCLUSIONES

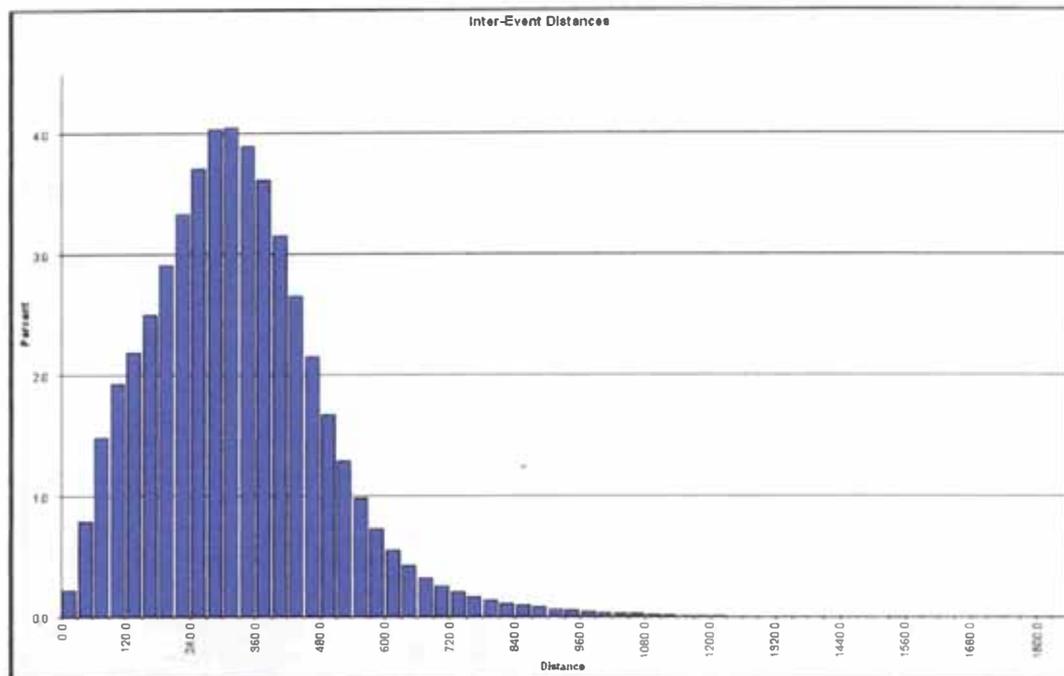
En Mina Yauliyacu se demuestra que existen las condiciones suficientes para la ocurrencia de Eventos Mico Sísmicos:

- Presencia de rocas con alta resistencia compresiva y altos módulos de deformación (dentro de la formación Capas Rojas y Conglomerado Carmen).
- Una Geología Estructural compleja; pues la zona fue afectada por diversas fases del ciclo de la Tectogénesis Andina, sufriendo intensos movimientos estructurales y a la vez produciendo plegamientos (de rumbo NW-SE) y fallas principales.
- Las labores se encuentran en una cota de 4210 m.s.n.m. con un encampane de por lo menos 700 m a más; con una densidad de tajos en explotación en Sub Level Stopping que genera una voladura masiva y posteriores espacios vacios; creando una sismicidad inducida en Mina Yauliyacu.

Una vez en funcionamiento el Sistema de Monitoreo Micro Sísmico en Mina Yauliyacu, se ha registrado desde Mayo a Diciembre de 2010; 3786 eventos y 5512 no eventos (Ver Cruado N° 16). Del cual se concluye lo siguiente, **considerando solamente los eventos:**



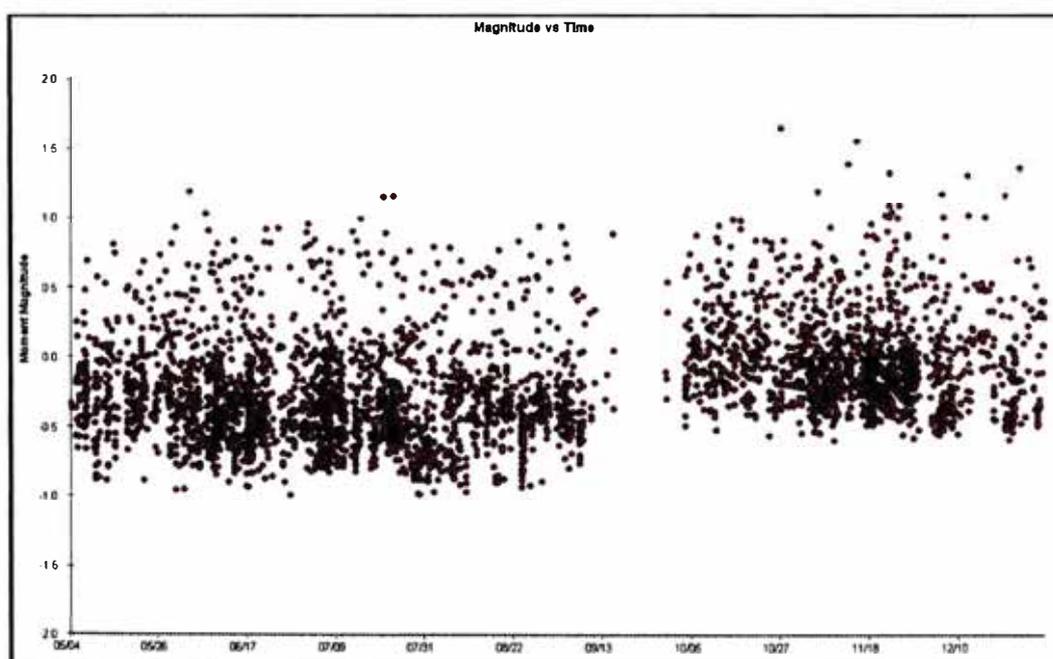
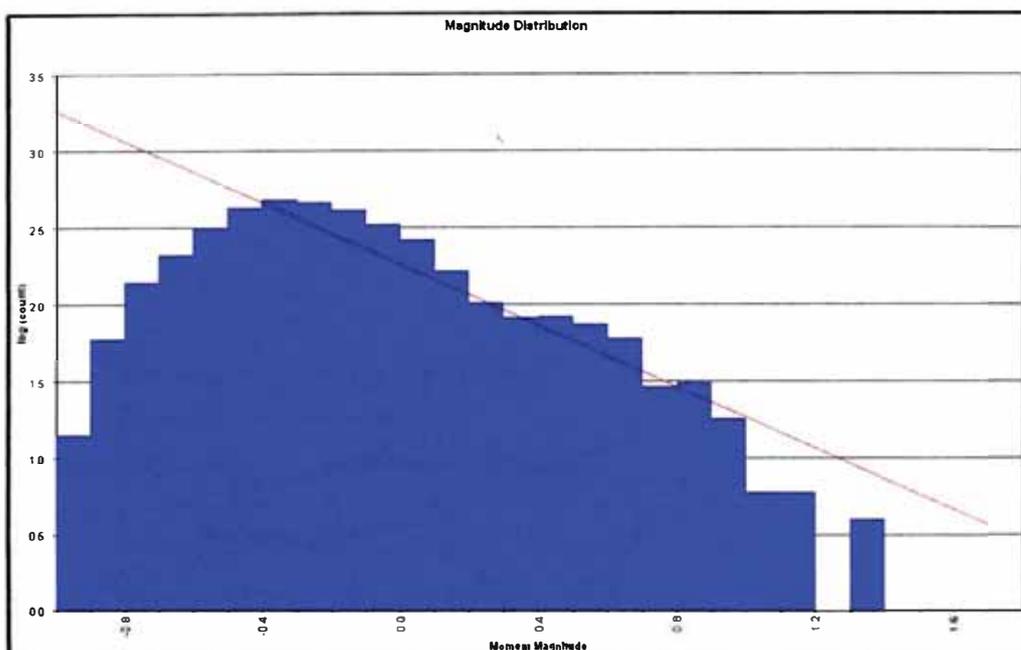
Del gráfico "Tasa de Eventos", se observa un aumento de eventos en los meses de Junio, Julio y Noviembre; tal como también se observa en el Cuadro N° 52. Con el aumento de eventos; también la cantidad de eventos con Magnitud Positiva ($M_w > 0$, barras de color verde) es mayor. Registrándose 20 eventos por día como promedio; y alcanzando picos de hasta más de 50 eventos por día.



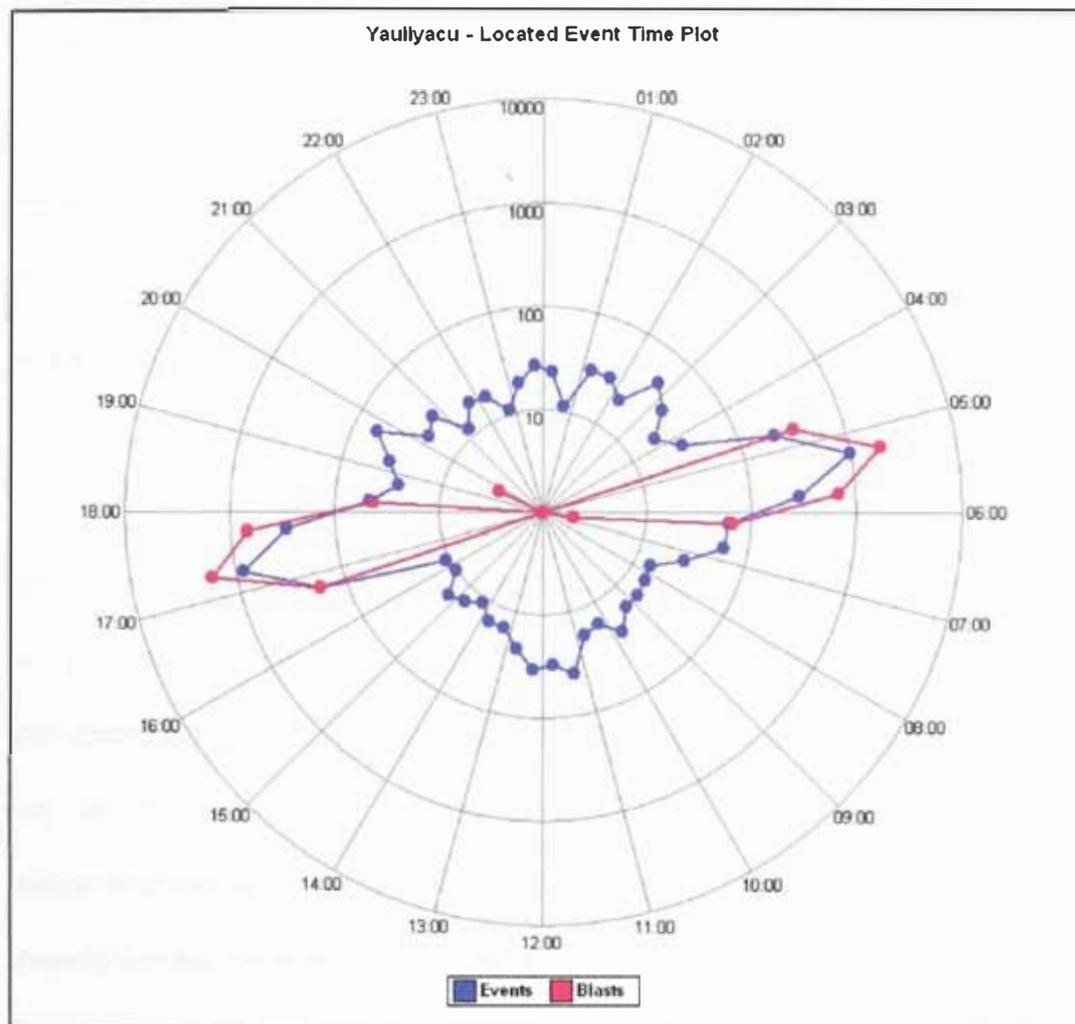
La gráfica “Distancia entre Eventos”, muestra la proporción de distancia entre todos los eventos. Se observa una gran cantidad de eventos ocurriendo a cortas distancias, lo que supone que existe una aglomeración de estos en ciertas zonas debido quizás a la presencia de reactivación de fallas principales o continuas voladuras en Tajos o res lineales; incluso por presencia de tajos vacíos. Lo que genera de Peligro Sísmico (Ver Figura N° 38).

“Distribución de la Magnitud”, muestra el número de eventos en una escala logarítmica como una función del Momento sísmico; la línea roja representa la relación Gutenberg – Richter, que la frecuencia de eventos debe decrecer con el

aumento de la magnitud y su pendiente debe ser próximo a -1. Entonces, se observa que para el registro de eventos en Mina Yauliyacu se cumple dicha condición. Para mayor referencia ver Figura N° 48, en donde se ha realizado un detallado filtro de datos, obteniéndose un valor de $b = -1.1191$ para Mina Yauliyacu.



La gráfica "Magnitud Vs Tiempo", muestra como la magnitud de todos los eventos han variado en el tiempo. Para el caso de Mina Yauliyacu; se aprecia que las magnitudes se ubican entre -1.0 a 1.0, observándose en algunos casos magnitudes mayores a uno.



La gráfica "Evento localizado en el Tiempo", grafica la tasa de eventos (número de eventos por hora sobre un eje radial basado en una escala logarítmica) alrededor de un horario de 24 horas.

ocurrió el evento. Esta gráfica es importante

para revelar una tendencia temporal sísmica. Para este caso de Mina Yauliyacu, se observa cómo se incrementa el número de eventos en los horarios de disparo; y luego decrece después de los disparos; es decir, la energía tiende a liberarse conforme pasa el tiempo.

Se sabe que el Riesgo Sísmico es el producto de tres factores (Probabilidad, Consecuencias y Exposición); operacionalmente es muy factible reducir el Riesgo, reduciendo la Consecuencia y la Exposición (Ver Cuadro N° 10). Mientras que la Probabilidad depende del Espacio – Tiempo; por ello, es un factor no muy controlable.

Durante el Periodo Mayo – Diciembre de 2010, se realizó un filtro de los eventos micro sísmicos registrados, obteniéndose 4247 eventos en total (incluyendo a Minera Casapalca) con un error de menos 15 m de ubicación; y la magnitud máxima registrada fue de 1.6 Mw. De ello, se realizó la gráfica Gutenberg – Richter (Ver Figura N° 48) obteniéndose la ecuación de la recta $y = -1.1191 + 2.2257(x)$, **bajo condiciones normales se debe cumplir que la frecuencia de eventos disminuye conforme aumenta la magnitud; y con una recta con pendiente cerca a -1.** Para el caso de Mina Yauliyacu, se cumple dicho enunciado; lo que significa que se está realizando un análisis e interpretación de la sismicidad, bajo la correcta data de eventos filtrados (Revisar el Capítulo VII).

En base a la Sismicidad que han manejado y manejan diferentes minas en el Mundo; se ha desarrollado una relación entre los valores “a” y “b” de la ecuación de la recta - Gráfica Frecuencia Vs Magnitud (Ver Figura N° 48), para hallar el mayor evento esperado para una mina. Para el caso de Mina Yauliyacu el máximo evento esperado estaría entre **1.9 a 2.0 Mw**. (También Ver Cuadro N° 17 y Figura N° 46). Siendo uno de los temas importantes la adecuada instalación de los elementos de sostenimiento, que sean capaces de absorber la energía liberada por un evento sísmico. En su mayoría será necesario trabajar con una combinación de ellos.

En base al Sistema de Monitoreo Micro Sísmico; es posible registrar la cantidad de energía liberada (en Joules) por un evento micro sísmico; e incluso también para un disparo; a continuación se presenta los máximos y mínimos valores esperados en Mina Yauliyacu; en base al historial de data registrada.

	Magnitud Momento (Mw)	Energía (J)
Para Máximo Evento Registrado	1.65	1, 400 000
Para Mínimo Evento Registrado	-0.99	19
Para Disparos (Sub Level Stopping)	0.5 - 0.7	25,000 - 60,000

Toda la implementación de un sistema de Monitoreo Sísmico termina con la adecuada implementación de controles eficaces y estándares en la minimización del impacto de un estallido de roca; siendo la partida de nacimiento el adecuado registro de data y posterior filtrado, manejo y análisis. Para Mina Yauliyacu se considera una valorización del Riesgo Sísmico que va desde menos de 299 (Bajo) hasta más de 1000 (Alto); esperándose controles eficaces de minimizarlo de 25% a 90% respectivamente (Ver Cuadros N° 20 y 21).

RECOMENDACIONES

Cabe señalar que cada Paladín puede registrar señales para 6 canales; es decir, para 6 geófonos uniaxiales. Actualmente, en Mina Yauliyacu se está utilizando las 2/3 de la capacidad porque cada Paladín tiene instalado solamente 4 geófonos uniaxiales. Si se utilizaría el 100% de la capacidad del Sistema de Monitoreo Micro Sísmico será posible obtener mayor cantidad de Data y mejorar la calidad de la ubicación de los posibles futuros eventos micro sísmicos.

Actualmente, se viene realizando el registro, filtrado e interpretación de los eventos micro sísmicos, con un margen de error de ubicación de +/- 20 m. Pero a la vez es importante realizar el mismo tratamiento para cada evento catalogado como un disparo; de esta forma se podría realizar una mejor correlación entre eventos y disparos; comprobando aún más el comportamiento de una sismicidad inducida como producto de los disparos. También llevando una correlación y
ios entre la escala de producción Vs eventos.

Cada geófono instalado a ciertas distancias y con ángulo de Azimut; en conjunto son capaces de identificar la geometría de falla que provocó el evento; o más comúnmente conocido como El Estudio de Mecanismo Focal. Con la instalación de Paladines y geófonos uniaxiales en Mina Yauliyacu, con un moderado costo de inversión; se ha garantizado la ubicación de los eventos con su respectiva magnitud. Sin embargo esto representa el inicio de la puesta en marcha de un Sistema de Monitoreo Micro Sísmico. A futuro se deberá considerar la implementación de geófonos triaxiales que conjuntamente con un Software de Mecanismo Focal; se podrá realizar un mejor estudio sobre este campo de cuál fue el tipo de falla que generó el evento (implosión, explosión o cortante).

En las Figuras N° 28 al N° 33; se observa el consumo mensual de los elementos de sostenimiento en Mina Yauliyacu. Advirtiéndose el mayor consumo de pernos Split Set de 5 ft; se conoce que en Mina Yauliyacu con labores de 3.5 x 3.5 m y 4 x 3.5 m, es necesario también incrementar el número de Split Set de 7ft. Que por razones estructurales y mayor capacidad de resistencia hacen necesaria esta aplicación.

BIBLIOGRAFIA

R1._David Regalado Palomino – CIA de Minas Buenaventura

Geotecnia: Micro Sismicidad Asociada a Estallidos de Roca - "El Ingeniero de Minas N° 59".

R2._DCR Ingenieros SR LTDA.

Evaluación Geotécnica De Minado De Las Zonas De Los Horizontes y Profundización – Mina Yauliyacu, Mayo, 2008.

R3._Dpto. de Geología - UM Yauliyacu

Informe Anual de Reservas y Recursos en Mina Yauliyacu, Junio 2010.

R4._Hugo Zuñiga - Christian Escalante

El Fenómeno De Estallido De Rocas: Importancia Del Monitoreo Sísmico En Minas Subterráneas.

Marty Hudyma – Assistant Professor Of Laurentina University.

Risk In Mines.

R6._Mike Yao & Reddy Chinnasane

Mitigation Plans For Mining In Highly Burst – Prone Ground Conditions At Vale's Copper Cliff Hurth Mine, June 1, 2010.

R7._José Antonio Rodríguez Losada - Dpto. de Edafología y Geología
Universidad de La Laguna.

Mecanismo Focal de un Terremoto.