

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



PUCP

**GUÍA DE CRITERIOS GEOMECÁNICOS EN MINERÍA SUBTERRÁNEA
COMO HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES
FATALES POR CAÍDA DE ROCA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE MAGÍSTER
EN REGULACIÓN, GESTIÓN Y ECONOMÍA MINERA**

AUTOR

OSCAR LUIS CABELLO ROBLES

ASESOR

LUIS FERNANDO GALA SOLDEVILLA

Junio, 2018



Dedicado a:

Mi abuelo Lauro Robles Zambrano, trabajador minero fallecido en la década del 50 en un accidente de caída de roca en la mina Lourdes (Cerro de Pasco) y a todos los trabajadores mineros que desarrollan largas jornadas arriesgando muchas veces sus vidas para sacar adelante a su familia y a la vez aportar al desarrollo económico del Perú.

INDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. FACTORES INVOLUCRADOS EN LOS ACCIDENTES DE CAIDA DE ROCA no definido.	Error! Marcador
4.1 Estudios de Ingeniería	17
4.2 Macizo Rocososo	20
4.3 Diseño Geomecánico.....	24
4.4 Seguridad Minera	29
4.5 Organismos fiscalizadores de la seguridad y salud ocupacional.....	34
4.6 Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo	41
5. PROPUESTA DE GUÍA GEOMECÁNICA COMO HERRAMIENTA PARA REDUCIR LA TASA DE ACCIDENTES FATALES EN LA MINERÍA SUBTERRÁNEA PERUANA.....	49
6. CONCLUSIONES	56
7. REFERENCIAS	59

TABLAS

Tabla 1: Exportaciones del Perú (2006-2016)	3
Tabla 2: Fatalidades por industria en el Perú en los últimos 5 años.....	6
Tabla 3: Valor de la producción minera mundial en 2012 (F. Gala, 2016, Evaluación y desarrollo de proyectos mineros).....	8
Tabla 4: Accidentes fatales en minería en el Perú (2000-2016), elaboración propia utilizando la base de datos de accidentes fatales del MEM.....	12
Tabla 5: Comparación de cambios en temas de geomecánica entre el DS N° 024-EM-2016 y N° 023-EM-2017	38
Tabla 6: Pasos a seguir e instrumentos a utilizar para la implementación del modelo ISTECC.....	43
Tabla 7: Descripción de la sigla ISMEC.....	45

FIGURAS

Figura 1: Exportaciones mineras, PBI y pobreza.....	4
Figura 2: Escenario de demanda estimada de metales para baterías eléctricas al 2050.....	5
Figura 3: Accidentes fatales en la minería en el Perú. Periodo 1970-2016	7
Figura 4: Accidentes fatales en la minería en el Perú. Periodo 2000-2016	8
Figura 5: Víctimas fatales en minería en Perú, Chile y Australia. (Periodo 2000-2016).....	9
Figura 6: Accidentes fatales en minería en el Perú (2000-2016)	11
Figura 7: Accidentes fatales (2000-2016) y Reglamentos de seguridad y salud ocupacional en minería, accidentes desdoblados por caída de Roca/ problemas geomecánicos y otros.....	16
Figura 8: Nivel de Estudios de ingeniería y grado de confianza vs etapa del proyecto minero	20
Figura 9: Proceso de diseño geomecánico	21
Figura 10: Gráfico empírico de estabilidad de pilares.....	25
Figura 11: Modelo de Ingeniería de seguridad (SEM).....	29
Figura 12: Matriz básica de evaluación de riesgos.....	33
Figura 13: Cantidad anual de fatalidades e implementación de sistemas de gestión y salud en el trabajo	41



RESUMEN EJECUTIVO

Si bien es cierto que el número de accidentes fatales en la minería peruana se ha ido reduciendo en el periodo 2000-2016, aún se han mantenido los accidentes por caída de roca como causa número 1 de las fatalidades. El objetivo del presente trabajo es investigar las causas de los accidentes de caída de roca, que incluyen múltiples factores entre ellos: La Calidad del Macizo rocoso, El Método de minado, Daños causados por voladura, Estándares de la empresa, Sistemas de Gestión, Capacitación del personal y Normativa vigente.

Es necesario notar que es un problema que tiene múltiples aristas, hay aspectos no están siendo considerados en la normativa de seguridad minera, sin embargo, la regulación no siempre es la respuesta. Por ende, sin ánimo de caer en una sobre-regulación, se identificó que una guía de criterios geomecánicos es una herramienta que puede ayudar a reducir el número de accidentes fatales por caída de roca en minería subterránea, esta guía servirá como referente técnico para desarrollar un minado subterráneo seguro.

Para los resultados del presente trabajo de investigación ha sido necesario emplear el método histórico en el periodo (2000-2016) y el método de comparación de casos, evaluando los casos de países mineros como Chile y Australia, siendo notable este último, en el cual los australianos han logrado reducir a prácticamente a cero los accidentes fatales por caída de roca.

Como resultado de la presente investigación se describe el contenido mínimo que debería incluir una guía geomecánica, el enfoque y contenido principal de ésta. Se concluye que el reducir los accidentes por caída de rocas, es una labor interdisciplinaria. Una herramienta técnica para lograr este objetivo (sin caer en la sobre-regulación) es una guía de criterios geomecánicos para minería subterránea.

ABSTRACT

Although it is true that the number of fatal accidents in Peruvian mining has been reduced in the period 2000-2016, accidents due to rock fall have remained as the number one cause of fatalities. The objective of this work is to investigate the causes of rock fall accidents, which include multiple factors including: rock Mass, mining Method, damage caused by blasting, company standards, management systems, staff Training and current regulations.

It is necessary to notice that it is a problem that has multiple edges, there are aspects that are not being considered in the mining safety regulations, however, regulation is not always the answer. Therefore, without the intention of falling into an over-regulation, it was identified that Geomechanical Guide is a tool that can help reduce the number of fatal accidents due to rock fall in underground mining, this guide will serve as a technical reference to develop a safe undermining.

For the results of this research work it has been necessary to use the historical method in the period (2000-2016) and the case comparison method, evaluating the cases of mining countries such as Chile and Australia, the latter being notable, in which the Australians have managed to reduce fatal accidents caused by falling rock to practically zero.

As a result of this research we describe the minimum content that should include a geomechanical guide, its focus and content. It is concluded that reducing accidents due to rock fall is an interdisciplinary task. A technical tool to achieve this objective (without falling into over-regulation) is a Geomechanical Guide for underground mining.

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las industrias peruanas más importantes, las exportaciones mineras en el 2016 representaron el 64.91% de las exportaciones del Perú. De acuerdo con Dammert (2016, p.1) “Los recursos mineros pueden promover el desarrollo económico de un país. Siendo los principales impactos: Contribución al desarrollo económico, generación de divisas, capacidad de generación de ahorro, desarrollo industrial y estímulo al desarrollo regional”.

El Perú en el año 2004 tuvo un total de 7,124 millones de dólares en exportaciones mineras, mostrando un índice de 58.7% de pobreza y 66.695 millones de dólares de PBI; para el año 2011 el escenario fue de 27.361 millones de dólares en exportaciones mineras, un índice de 27.8% de pobreza y 170,564 millones de dólares de PBI; y para el año 2014 tuvo un total de 20,410 millones de dólares en exportaciones mineras, un índice de 22.7% de pobreza y 202,596 Millones de dólares de PBI; (ver figura 1) ésta relación demuestra que la minería es una industria importante para el Perú y que su continuidad representa un gran aporte al crecimiento económico.

Tabla 1: Exportaciones del Perú (2006-2016).

	Exportaciones (Millones US\$)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mineros metálicos	14735	17439	18101	16482	21903	27526	27467	23789	20545	18836	21652
Minerales no metálicos	135	165	176	148	252	492	722	722	664	698	640
Sidero metalúrgicos y joyería	829	906	909	571	949	1130	1301	1320	1149	1080	1084
Metal-mecánicos	164	220	328	369	393	476	545	544	581	525	442
Petróleo y gas natural	1818	2306	2681	1021	3088	4568	4996	5271	4562	2302	2210
Pesqueros	1768	1960	2419	2201	2528	3163	3329	2737	2886	2383	2174
Agrícolas y agropecuarios	1794	1972	2599	2462	3178	4525	4178	4230	5078	5093	5543
Textiles	1473	1736	2026	1495	1561	1990	2177	1928	1800	1329	1195
Maderas y papeles	333	362	428	336	359	402	438	427	416	352	321
Químicos	602	805	1041	838	1228	1655	1636	1510	1515	1402	1334
Otros	180	222	311	248	364	451	622	381	336	237	243
TOTAL EXPORTACIONES	23830	28094	31018	27071	35803	46376	47411	42861	39533	34236	36838
productos mineros	15863	18730	19513	17570	23497	29623	30035	26376	22939	21139	23817
% productos mineros	67%	67%	63%	65%	66%	64%	63%	62%	58%	62%	65%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Boletín Estadístico. Enero 2017

En efecto en el periodo analizado en la tabla 1, se muestra un crecimiento entre las exportaciones mineras y el PBI, además de una reducción del porcentaje de pobreza; es evidente que la

industria minera en el Perú tiene un claro efecto en el desempeño de la economía del país (ver figura 1)

Figura 1: Exportaciones mineras, PBI y pobreza

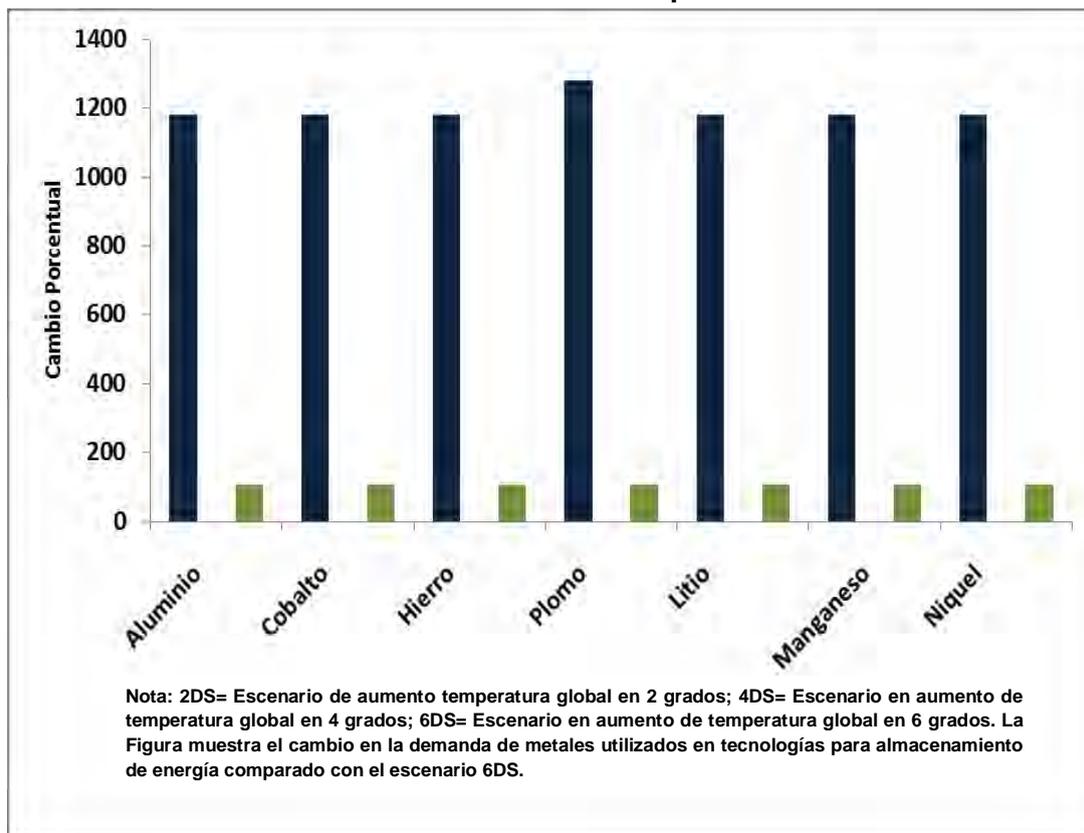


Fuente: F. Gala, 2016, Evaluación y desarrollo de Proyectos Mineros

El Perú cuenta con ventajas estratégicas en cuanto los nuevos yacimientos se encuentran relativamente a poca profundidad del subsuelo (comparado con otros países) y bajos costos de energía (F. Gala, 2016, Curso Evaluación y desarrollo de proyectos mineros).

De acuerdo con el Banco Mundial (2017) se espera que “el crecimiento en la demanda de metales hasta el año 2050 será de hasta 1000% en aquellos metales utilizados en las baterías eléctricas (aluminio, cobalto, hierro, plomo, litio, manganeso y níquel)”, ver figura siguiente.

Figura 2: Escenario de demanda estimada de metales para baterías eléctricas al 2050



Fuente: Banco Mundial, 2017

La mayor demanda de minerales ha llevado a la explotación de yacimientos ubicados a mayor profundidad, lo que se traduce en nuevos desafíos y problemas que pueden generar accidentes, especialmente en minería subterránea. En el caso peruano las minas subterráneas más profundas están ya alcanzando los 1 700 metros de profundidad (El Porvenir, Milpo) además, debido al avance de la tecnología y equipos mineros, es posible aumentar la producción siendo el caso de que la mina subterránea de mayor producción en el Perú (Cerro Lindo, Milpo) ya alcanza las 20 000 TMD (2017), cuando en el año 2007, la misma mina llegaba a las 5 000 TMD. A mayor producción de una unidad minera, la necesidad de realizar una mayor cantidad de excavaciones (tajeos) y/o de mayor dimensión, involucra la posibilidad de generar mayores riesgos de colapsos o caída de roca. El potencial minero del país, sumando a la inevitable mayor demanda de metales, conllevará a que el Perú, cuente con una mayor cantidad de unidades mineras y/o a la profundización de las existentes, lo que se traducirá en una mayor fuerza laboral que estará expuesta al riesgo de caída de roca.

El riesgo, entendido como la posibilidad de generar contingencias de trascendencia negativa, supone exposición al peligro, y desde este punto de vista ha sido necesario incorporarlo a la normativa legal, siendo así, la legislación peruana ha establecido en el Reglamento de Seguridad

y Salud Ocupacional en Minería, la definición de “Peligro” como aquella situación capaz de ocasionar daños a las personas, equipos, procesos y ambiente¹, y “Riesgo” como la probabilidad de la materialización de un peligro causando daños a las personas, equipos y ambiente.

En orden con lo señalado anteriormente, se tiene que el alto riesgo al cual se encuentran expuesto los trabajadores de minería subterránea, ha generado también un alto índice de accidentes de trabajo, los cuales se clasifican de acuerdo a su gravedad en: i) Accidente Leve, ii) Accidente incapacitante, que a su vez podría ser iia) Parcial temporal, iib) Total temporal, iic) Parcial permanente y iid) Total permanente y; iii) Accidente mortal o fatal, entendiéndose éste como la muerte del trabajador.

Si bien es cierto que la minería es una industria que tiene un gran aporte al crecimiento económico del Perú, también está considerada como una de las actividades extractivas de mayor riesgo en el país. La Minería ha encabezado la lista de fatalidades como sector en los últimos 5 años, seguido de otros sectores como construcción, pesca e industrias manufactureras (ver tabla siguiente)

Tabla 2: Fatalidades por industria en el Perú en los últimos 5 años

¹ Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por el Decreto Supremo N° 024-2016-EM.

Artículo 7°: Definiciones

(...)

Peligro

Situación o característica intrínseca de algo capaz de ocasionar daños a las personas, equipos, procesos y ambiente.

(...)

Riesgo

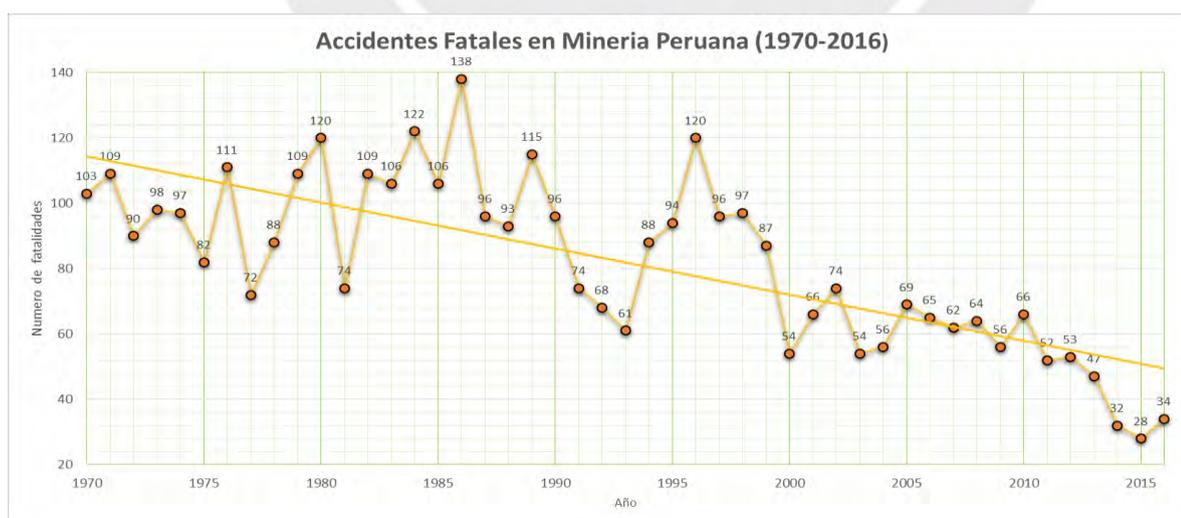
Probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a las personas, equipos y al ambiente.

INDUSTRIAS	2012	2013	2014	2015	2016
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	2	5	0	1	5
Pesca	1	0	0	2	2
Explotación de minas y canteras	56	52	26	27	31
Industrias manufactureras	30	19	16	29	20
Suministro de electricidad, gas y agua	11	13	10	6	7
Construcción	25	18	18	31	26
Comercio al por mayor y al por menor, rep. Vehíc. Autom.	8	10	13	10	9
Hoteles y restaurantes	0	1	1	2	1
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	17	18	11	27	19
Intermediación financiera	2	3	2	4	4
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	28	25	21	25	13
Administración pública y defensa	3	5	4	5	5
Serv. Comunitarios, sociales y personales	1	0	1	4	9
Otros	5	9	5	6	0

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (23 de noviembre de 2017). Anuario Estadístico. Obtenido de <http://www2.trabajo.gob.pe/estadisticas/anuarios-estadisticos/>

Analizando la base de datos disponible del Ministerio de Energía y Minas que data de 1970, en la figura siguiente observamos que existe una tendencia general en la reducción de accidentes fatales en minería. En el periodo 1970-2016, se registró un pico de 138 fatales en el año 1986 y una mínima de 28 fatales en el año 2015. Sin embargo, a pesar de esta reducción en el número total de fatalidades por año, persiste la constante de que la causa número 1 de las fatalidades en cada año son los accidentes por caída de roca, que es un tema íntimamente ligado a la geomecánica.

Figura 3: Accidentes fatales en la minería en el Perú. Periodo 1970-2016



Fuente: Elaboración propia, a partir de base de datos del Ministerio de Energía y Minas

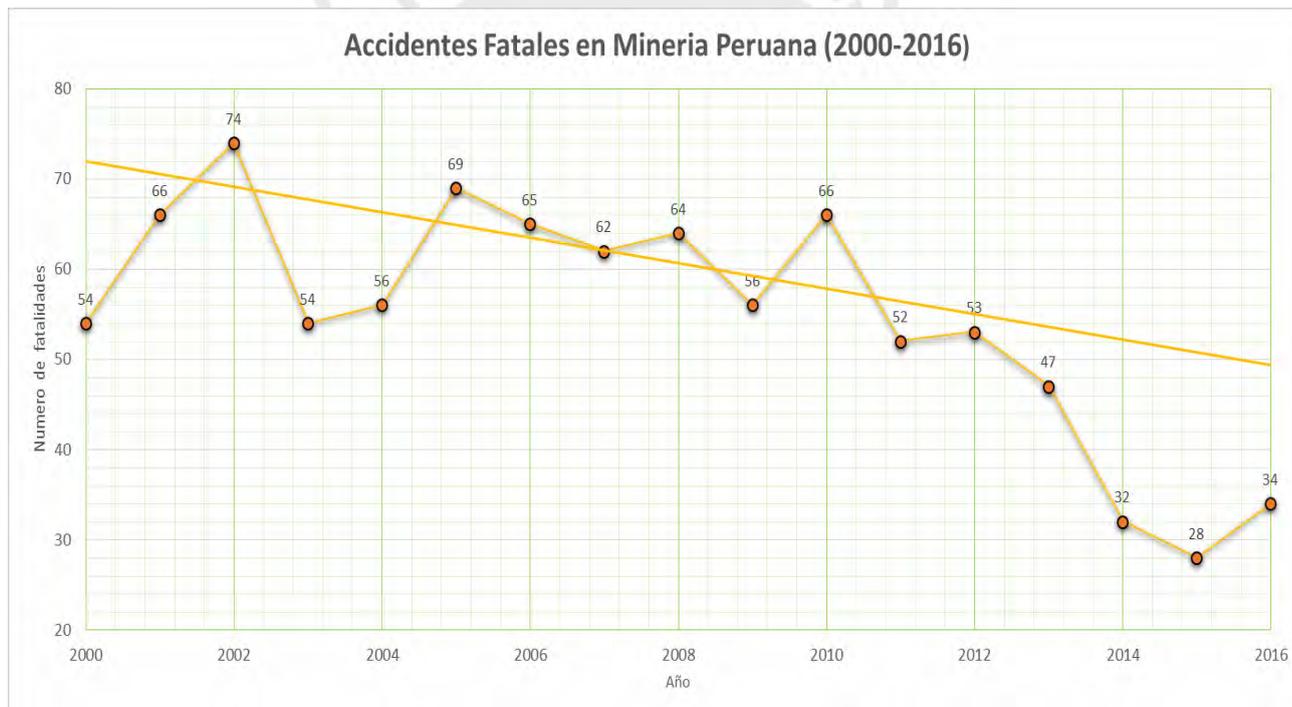
En el Perú el ente que regula y supervisa en cuestiones de seguridad es el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (en adelante, OSINERGMIN), creado en diciembre de 1996 y

desde 2007 asumió las competencias también para el subsector minería. Sin embargo, es importante precisar que el OSINERGMIN también tenía competencia en materia de Salud en el Trabajo, hasta la creación de la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (en adelante, SUNAFIL), creada en enero de 2013, a quien transfirió las citadas competencias, quedándose únicamente con la competencia en cuestión de seguridad.

A través del tiempo, también se ha involucrado gradualmente en el Perú diferentes sistemas de gestión de seguridad y normas internacionales (NOSA, ISTECS, DNV, DUPONT, OHSAS, creada en marzo 1997).

El periodo de estudio de este trabajo de investigación se centrará entre los años 2000-2016, para lo cual la evolución de accidentes fatales se muestra en la siguiente figura.

Figura 4: Accidentes fatales en la minería en el Perú. Periodo 2000-2016



Fuente: Elaboración propia, a partir de base de datos del Ministerio de Energía y Minas

Es importante tener una referencia del valor de la producción minera mundial, y quienes son los principales países productores (ver tabla siguiente)

Tabla 3: Valor de la producción minera mundial en 2012 (F. Gala, 2016, Evaluación y desarrollo de proyectos mineros)

**VALOR DE LA PRODUCCION MINERA MUNDIAL
2012**

	PAIS	US\$ billones	%
1	China	170.8	26%
2	Australia	77.7	12%
3	Chile	47.1	7%
4	Brasil	38.8	6%
5	Rusia	35.1	5%
6	USA	31.2	5%
7	Perú	27.0	4%
8	Sudáfrica	23.2	4%
9	India	23.1	4%
10	Canadá	22.7	3%
	Otros	157.3	24%
	TOTAL	654.0	100%

Si comparamos la frecuencia y la evolución de las víctimas fatales con otros países mineros como Australia y Chile en el periodo de estudio (2000-2016) como se detalla en la figura siguiente, observamos que el Perú aún mantiene una alta tasa de fatalidades en minería.

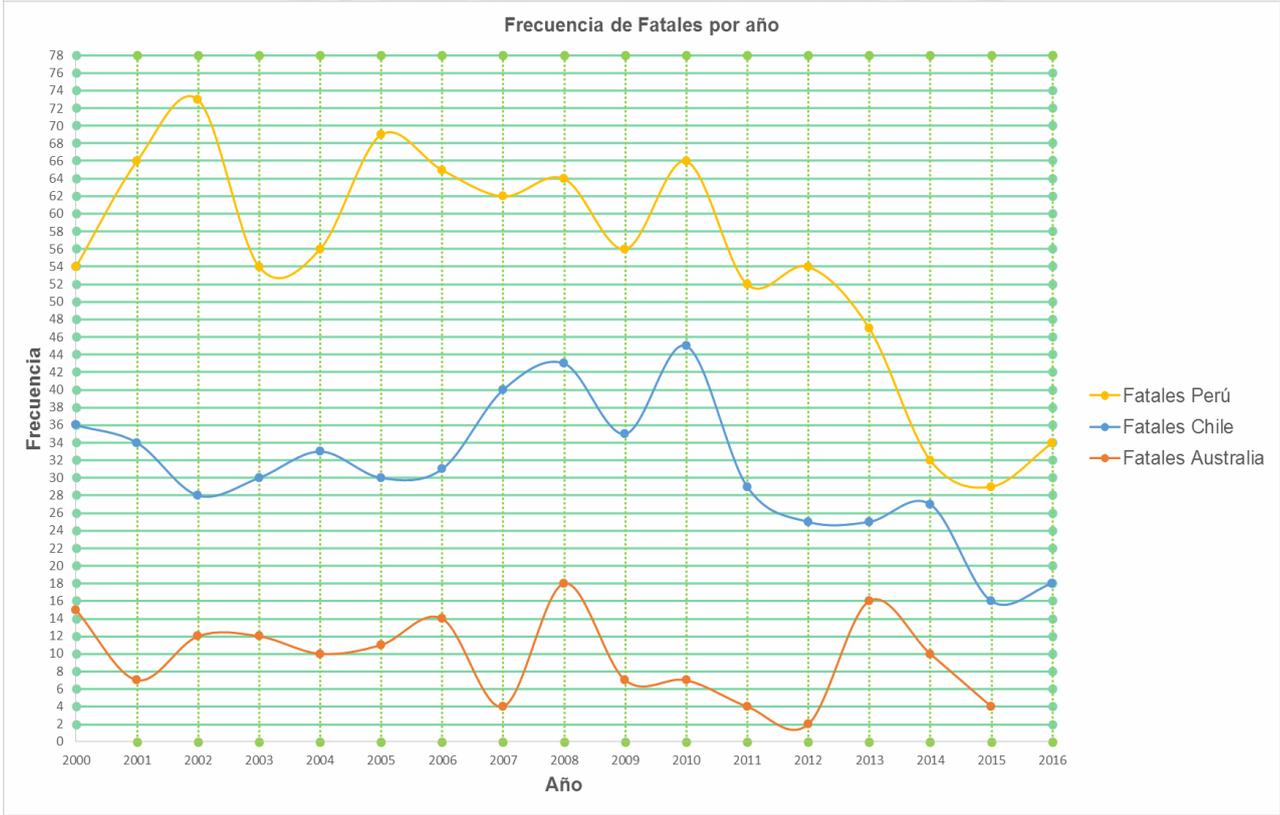


Figura 5: Víctimas fatales en minería en Perú, Chile y Australia. (Periodo 2000-2016)
Fuente: Elaboración propia con la base de datos del MEM, SERNAGEOMIN y AUSIMM

En el Perú, los dos principales tipos de accidentes causantes de fatalidades en la industria minera en el periodo 2000-2016, (ver Figura 6 y Tabla 3) son:

1. Accidentes por la caída de roca
2. Accidentes por tránsito de equipos.

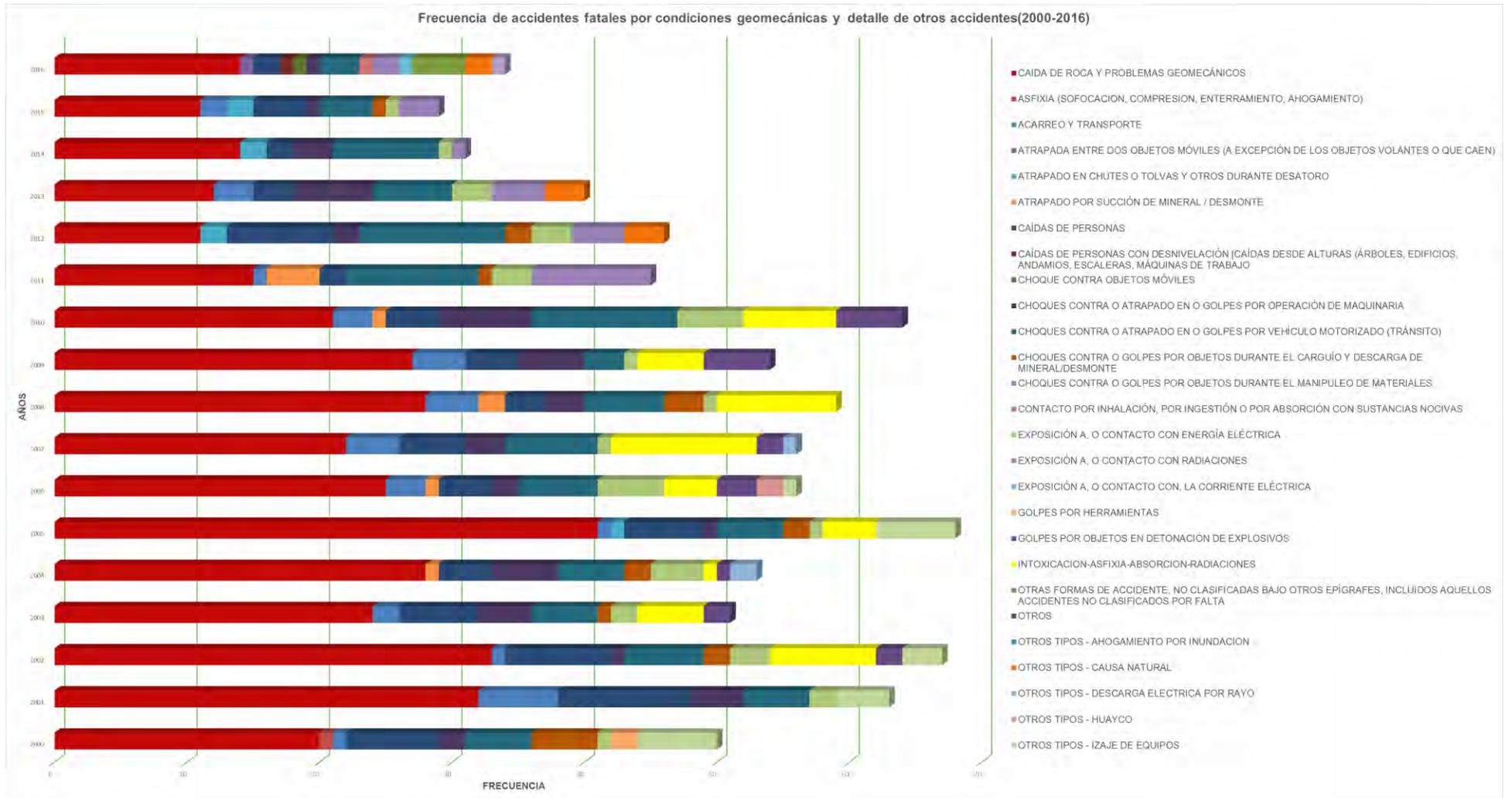
El Ministerio de Energía y Minas (MEM), en el año 2017 ha indicado que en el Perú los accidentes por caída de roca representan el 32% de los accidentes mortales ocurridos en los últimos 15 años, persistiendo como causa número 1 de accidentes fatales en la explotación de minas.

Es notable la cantidad de accidentes fatales por caída de roca, que supera ampliamente a los demás tipos de accidentes fatales, por ello el problema de nuestra investigación constituye la persistencia de la alta tasa de accidentes fatales por caída de roca en minería subterránea.

En el desarrollo del trabajo se analiza también los diferentes factores que podrían ocasionar accidentes fatales por caída de roca, entre ellos: i) La Calidad de macizo rocoso, ii) El Método de minado, iii) Daños causados por voladura, iv) Estándares de la empresa, v) Sistemas de Gestión, vi) Capacitación del personal, vii) Normativa vigente.

Esto ha conllevado a centrar nuestra investigación en la búsqueda de los tipos de herramientas, estrategias y marco normativo necesarios para reducir los accidentes fatales por caída de roca; por ello nuestro estudio se justifica en la necesidad de contar con una guía geomecánica que involucre pautas, modelos, requerimientos técnicos, diseños, guías de ingeniería, dicho de manera general herramientas que persigan realizar el minado subterráneo en un ambiente seguro, que permitan reducir la persistencia de los accidentes fatales por caída de roca como causa número 1 de las fatalidades en minería subterránea.

Figura 6: Accidentes fatales en minería en el Perú (2000-2016)



Fuente: Elaboración propia utilizando la base de datos de accidentes fatales del MEM

Tabla 4: Accidentes fatales en minería en el Perú (2000-2016), elaboración propia utilizando la base de datos de accidentes fatales del MEM

ACCIDENTES FATALES	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total general
ACARREO Y TRANSPORTE	1	6	1	2		1	3	4	4	4	3	1		3		2		35
ASFIXIA (SOFOCACION, COMPRESION, ENTERRAMIENTO, AHOGAMIENTO)	1																	1
ATRAPADA ENTRE DOS OBJETOS MÓVILES (A EXCEPCIÓN DE LOS OBJETOS VOLANTES O QUE CAEN)																	1	1
ATRAPADO EN CHUTES O TOLVAS Y OTROS DURANTE DESATORO						1							2		2	2		7
ATRAPADO POR SUCCIÓN DE MINERAL / DESMONTE					1		1		2		1	4						9
CAÍDAS DE PERSONAS	7	10	8	6	4	6	4	5	3	4	4	2	8	3	2	4	2	82
CAÍDAS DE PERSONAS CON DESNIVELACIÓN [CAÍDAS DESDE ALTURAS (ÁRBOLES, EDIFICIOS, ANDAMIOS, ESCALERAS, MÁQUINAS DE TRABAJO																	1	1
CHOQUE CONTRA OBJETOS MÓVILES																	1	1
CHOQUES CONTRA O ATRAPADO EN O GOLPES POR OPERACIÓN DE MAQUINARIA	2	4	1	4	5	1	2	3	3	5	7		2	6	3	1	1	50
CHOQUES CONTRA O ATRAPADO EN O GOLPES POR VEHÍCULO MOTORIZADO (TRÁNSITO)	5	5	6	5	5	5	6	7	6	3	11	10	11	6	8	4	3	106
CHOQUES CONTRA O GOLPES POR OBJETOS DURANTE EL CARGUÍO Y DESCARGA DE MINERAL/DESMONTE	5		2	1	2	2			3			1	2			1		19
CHOQUES CONTRA O GOLPES POR OBJETOS DURANTE EL MANIPULEO DE MATERIALES		2	3		1		1	3	1	1		3	2	2	1			20
CONTACTO POR INHALACIÓN, POR INGESTIÓN O POR ABSORCIÓN CON SUSTANCIAS NOCIVAS																	1	1
EXPOSICIÓN A, O CONTACTO CON ENERGÍA ELÉCTRICA	1	2	3	2	4	1	5	1	1	1	5	3	3	3	1	1		37
EXPOSICIÓN A, O CONTACTO CON RADIACIONES												9	4	4	1	3	2	23
EXPOSICIÓN A, O CONTACTO CON, LA CORRIENTE ELÉCTRICA																	1	1
GOLPES POR HERRAMIENTAS								1		1		1	3					6
GOLPES POR OBJETOS EN DETONACIÓN DE EXPLOSIVOS	6	1	3	3	2	1	5	2			2	3	2	4				34
INTOXICACION-ASFIXIA-ABSORCION-RADIACIONES			8	5	1	4	4	11	9	5	7							54
OTRAS FORMAS DE ACCIDENTE, NO CLASIFICADAS BAJO OTROS EPÍGRAFES, INCLUIDOS AQUELLOS ACCIDENTES NO CLASIFICADOS POR FALTA																	4	4
OTROS			2	2	1		3	2		5	5							20
OTROS TIPOS - AHOGAMIENTO POR INUNDACION							3		4				1	1				9
OTROS TIPOS - CAUSA NATURAL													3	3			2	8
OTROS TIPOS - DESCARGA ELECTRICA POR RAYO					2			1										3
OTROS TIPOS – HUAYCO							2											2
OTROS TIPOS - IZAJE DE EQUIPOS	6	4	3			6	1											20
PISADAS SOBRE, CHOQUES CONTRA, O GOLPES POR OBJETOS, A EXCEPCIÓN DE CAIDAS DE OBJETOS																	1	1
CAIDA DE ROCA Y PROBLEMAS GEOMECÁNICOS	20	32	33	24	28	41	25	22	28	27	21	15	11	12	14	11	14	378
Total general	54	66	73	54	56	69	65	62	64	56	66	52	54	47	32	29	34	933

Fuente: Elaboración propia utilizando la base de datos de accidentes fatales del MEM

La Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE, 2004) ha señalado que: “La caída de roca constituye uno de los mayores riesgos en el minado subterráneo”, por lo que es necesario identificar los problemas que causen inestabilidad en el macizo rocoso y que generan condiciones potenciales para la caída de rocas.

La prevención de caída de rocas en la industria minera es una problemática que tiene como partes interesadas al sector privado (empresas mineras, asociaciones mineras), Estado (a través de los entes supervisores y reguladores) y a los trabajadores mineros.

En el desarrollo de la operación minera durante la explotación del yacimiento, esta prevención se debe realizar entre las áreas de Planeamiento, Seguridad, Operaciones y Geomecánica, sin embargo, es el área de Geomecánica la que tiene una mayor responsabilidad en la evaluación de la estabilidad del macizo rocoso en la cual se desarrolla la actividad minera, para salvaguardar la integridad de los trabajadores.

De acuerdo con Cook (2016), “La Geomecánica es la ciencia que estudia cómo se comportan los suelos y rocas, en respuesta a cambios de esfuerzos, agua, temperatura y otros parámetros ambientales”, es decir estudia el comportamiento del macizo rocoso afectado por el minado, siendo éste estudio parte importante en la prevención de accidentes por caída de roca en minería subterránea.

En la misma línea, Hoek (1995) además señala que la geomecánica está más íntimamente relacionada a la mecánica de rocas, ya que el minado se desenvuelve en un medio rocoso. El Centro Australiano de Geomecánica (ACG, 2003) añade que una mina subterránea está circundada por el macizo rocoso, el cual puede ser un material muy complejo y variable, razón por la cual se debe realizar investigaciones para poder predecir su comportamiento, a diferencia de otros materiales como el concreto y el acero que son materiales hechos por el hombre de acuerdo a normas y estándares de calidad con características bien definidas que permiten una fácil predicción en su comportamiento. (ACG, 2003)

Dentro del alcance del estudio del comportamiento del macizo rocoso, la Geomecánica evalúa la estabilidad de las excavaciones en el macizo rocoso, una vez que se lleva a cabo la etapa de explotación de la mina, uno de los mayores riesgos a los que está expuesto el personal es la

caída de roca, siendo en el caso de la minería peruana la causa número 1 de fatalidades en el periodo 2000-2016.

El Centro de Control del Terreno de Australia Occidental (GCG, 2000) define como caída de roca al volumen de roca que cae del techo, los hastiales o frente de una excavación subterránea donde los trabajadores tienen acceso, las caídas de rocas pueden clasificarse como pequeñas (típicamente entre pernos de roca), cuñas (más grandes que el espacio entre pernos) o eventos de falla dinámicos como: estallidos de roca (relacionados a un tamaño, pero expulsados con una alta energía cinética).

En la misma línea la SNMPE (2004) refiere que el control de la estabilidad en minería subterránea abarca una serie de factores: dependerá del conocimiento de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso donde se lleva a cabo el minado, la identificación de los problemas del macizo, controles operacionales en el planeamiento de minado, la implementación de técnicas apropiadas de voladura, estándares adecuados de desate de roca, el buen uso de técnicas de sostenimiento y la implementación de instrumentación para el monitoreo de la estabilidad.

Es necesario establecer hitos importantes como los diferentes Reglamentos de seguridad que han sido aprobados para regular la actividad minera con la intención de hacerla más segura, de esta manera haciendo una revisión histórica, se tienen seis (6) Reglamentos de Seguridad que fueron aprobados por el Decreto Supremo N° 034-73-EM-DGM, Decreto Supremo N° 023-92-EM, Decreto Supremo N° 046-2001-EM, Decreto Supremo N° 055-2010-EM, Decreto Supremo N° 024-2016-EM y Decreto Supremo N° 023-2017-EM.

Para brindar mayor énfasis en el análisis de los Reglamentos de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, hemos escogido los tres (3) últimos y la modificatoria promulgados en los años 2001, 2010 y 2016 y, su modificatoria en el 2017 (DS023-2017-EM).

De la revisión y análisis de estos se ha advertido que los temas geomecánicos en aquellos reglamentos se han ido incorporando gradualmente, así como - de lo señalado anteriormente- la cantidad anual de accidentes fatales por caída de roca ha ido disminuyendo, no obstante, continúa presentando persistencia al ser la causa número 1 de ocurrencia de accidentes fatales en actividades mineras.

Ese escenario nos ha demostrado que la creación de los Reglamentos que persiguen objetivos preventivos en materia de seguridad, orientados a ser de obligatorio cumplimiento por las empresas mineras, ha generado la disminución de la cantidad total de accidentes, motivo por el cual hemos creído conveniente basar nuestra hipótesis en la creación una Guía de Criterios Geomecánicos para Minería Subterránea, que sirva de instructivo y de referente técnico para desarrollar un minado subterráneo seguro.

Por lo que la hipótesis del presente trabajo de investigación apunta a evidenciar temas que aún no han sido tocados en el marco regulatorio, y otros que han sido tocados ligeramente, “sin ánimo de caer en una sobre-regulación” (Martínez, 2015) sino en la búsqueda de herramientas por parte de los “Stakeholders” (partes interesadas: sector privado, Estado, trabajadores) que conlleven a continuar reduciendo la tasa de accidentes fatales por caída de roca.

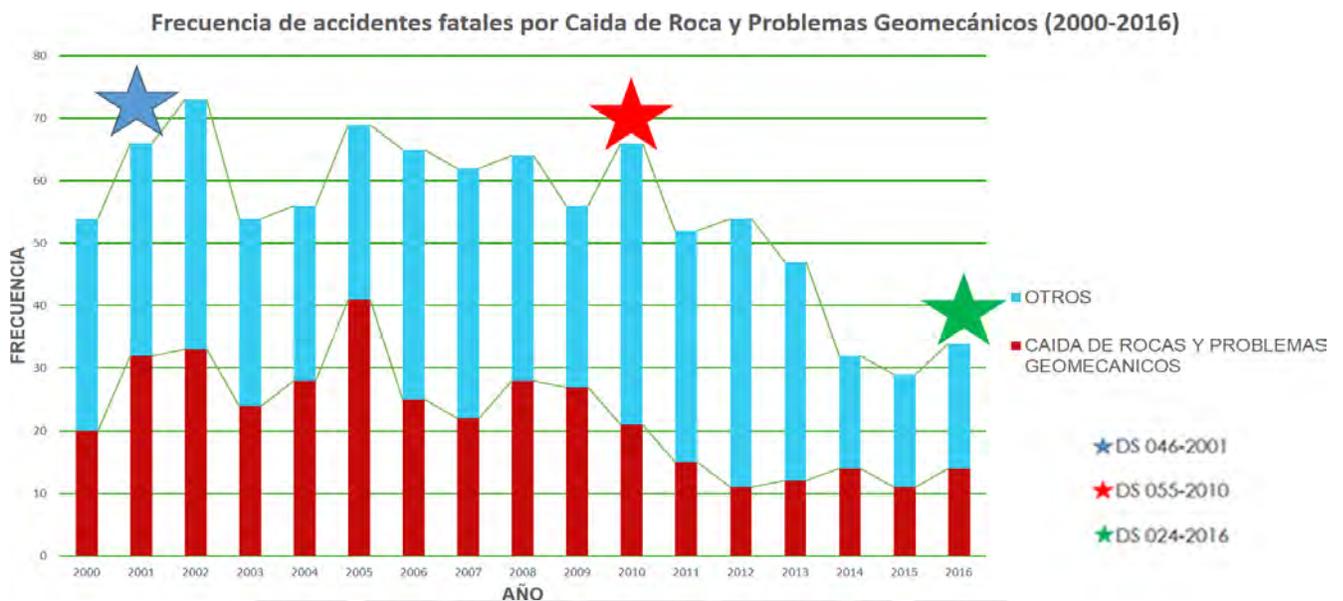
Para ello, hemos situado nuestro periodo de estudio de investigación entre los años 2000 al 2016, a partir del cual hemos recogido información sobre el total de accidentes fatales por caída de roca, la naturaleza del accidente, métodos de minado empleados, el tipo de roca, el factor humano, la normativa legal aplicable que se encontraba vigente en los casos a modo de comparación, entre otros; de lo cual se ha obtenido como resultado la importancia de contar con herramientas, que permitan divulgar y unificar criterios geomecánicos, los mismos que presentamos como una Propuesta de Contenido de Guía de Criterios Geomecánicos aplicables a Minería Subterránea.

Para los resultados del presente trabajo de investigación, ha sido necesario acudir a diferentes métodos de investigación, entre los cuales destacan: i) Método Histórico, que ha servido para recoger antecedentes y advertir el número de accidentes fatales por caída de roca en el tiempo (2000-2016) y su comportamiento durante los años posteriores así como, a manera de análisis, como ha ido evolucionando los distintos Reglamentos de seguridad y salud en el trabajo que ha amparado y regulado las actividades mineras y; ii) Método comparativo, en el cual nos hemos basado para comparar los distintos casos de accidentes fatales por caída de roca y los tipos de motivos que han ocurrido para que sobrevenga el hecho. También se comparó la frecuencia y la evolución de las víctimas fatales con otros países mineros como Australia y Chile en el periodo de estudio (2000-2016), con la finalidad de estudiar el caso

australiano que ha logrado reducir a prácticamente cero los accidentes fatales por caída de roca.

Asimismo, es necesario señalar que, al inicio de la presente investigación, no se contaba en el Perú con una guía geomecánica para minería subterránea.

Figura 7: Accidentes fatales (2000-2016) y Reglamentos de seguridad y salud ocupacional en minería, accidentes desdoblados por caída de Roca/ problemas geomecánicos y otros



Fuente: Elaboración propia, a partir de base de datos del MEM

De lo indicado anteriormente, el resultado del presente trabajo es una Propuesta de Contenido de la Guía de Criterios Geomecánicos para Minería Subterránea en el cual se ha considerado el análisis de los accidentes fatales por caída de roca en minería subterránea en el Perú durante el periodo 2010-2016, las experiencias de otros países con tradición minera como comparación (benchmarking), además de herramientas y criterios geomecánicos que no han tenido la adecuada difusión en el Perú.

FACTORES INVOLUCRADOS EN LOS ACCIDENTES DE CAIDA DE ROCA

El hecho que se mantenga como causa número 1 las fatalidades por caída de roca, justifica la necesidad de estudiar este problema. Este es un problema complejo que abarca diferentes tópicos, siendo los principales:

- Estudios de Ingeniería
- Macizo rocoso
- Diseño geomecánico
- Seguridad minera
- Organismos fiscalizadores de la seguridad y salud ocupacional
- Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo

Los conceptos básicos involucrados en cada uno de estos tópicos, se desarrollan a continuación:

4.1 Estudios de Ingeniería

La evaluación de un proyecto minero desde la exploración hasta la producción es un proceso largo y complicado. La viabilidad técnica y la viabilidad económica de cada proyecto requieren datos de ingeniería más detallados requeridos en escenario. Hay tres niveles de estudios de ingeniería que son comúnmente reconocidos por la industria minera, estos son:

- Conceptual
- Pre factibilidad
- Factibilidad

4.1.1 Estudio Conceptual

El estudio conceptual, referido comúnmente a como un estudio exploratorio (“scoping study”), es el estudio inicial y la evaluación preliminar de un proyecto minero. Los principales parámetros de un estudio conceptual son en su mayoría asumidos y/o proyectados. En consecuencia, el nivel de precisión es bajo, en el orden de un $\pm 50\%$

Aunque el nivel de perforación y muestreo debe ser suficiente para definir un recurso mineral, contrastan con el desarrollo del flujo del proyecto, la estimación de costos y la programación que a menudo están basados en datos limitados, ensayos y diseños similares de ingeniería. Los resultados que el estudio conceptual debería identificar son:

- Parámetros técnicos que requieren estudios adicionales y/o ensayos
- Características generales y parámetros del proyecto propuesto
- Magnitud del capital (CAPEX) y coste operativo (OPEX) estimados
- Nivel de esfuerzo para el desarrollo del proyecto

Un estudio conceptual es útil como herramienta para determinar si es razonable continuar e invertir en estudios más detallados. Sin embargo, no es válido para la toma de decisiones económicas y no es suficiente para el reporte de reservas.

4.1.2 Estudio de Pre factibilidad

El estudio de pre factibilidad representa un paso intermedio en el proceso de evaluación de un proyecto minero. El nivel de precisión es mayor que en el estudio conceptual y es de un $\pm 25\%$. Los objetivos de un estudio de ingeniería a nivel de pre factibilidad son determinar:

- Recursos / reservas
- Métodos de minado y molienda
- Tasas de extracción y molienda
- Problemas ambientales y permisos
- Tiempo de construcción de la mina y vida de la mina
- Ratios de recuperación
- Comercialización
- Estimación de la inversión (CAPEX)
- Estimación de costos operativos (OPEX)
- Análisis Económicos aplicando sensibilidad

En la etapa de estudio de pre factibilidad, la geología y la ingeniería de minas se juntan para definir recursos y reservas. En esta etapa ya se ha realizado una cantidad suficiente de

ensayos y trabajos de campo para poder desarrollar parámetros de procesamiento, selección de equipos, programas de desarrollo y producción.

Las estimaciones de gastos de capital (CAPEX) y costos de operación (OPEX) son asumidas con ayuda de cotizaciones de algunos proveedores.

El análisis económico de un estudio de pre factibilidad es de suficiente precisión para evaluar las opciones de desarrollo y viabilidad general del proyecto. Sin embargo, estas estimaciones y los parámetros de ingeniería son considerados de insuficiente precisión para toma de decisiones o financiación bancaria.

4.1.3 Estudio de Factibilidad

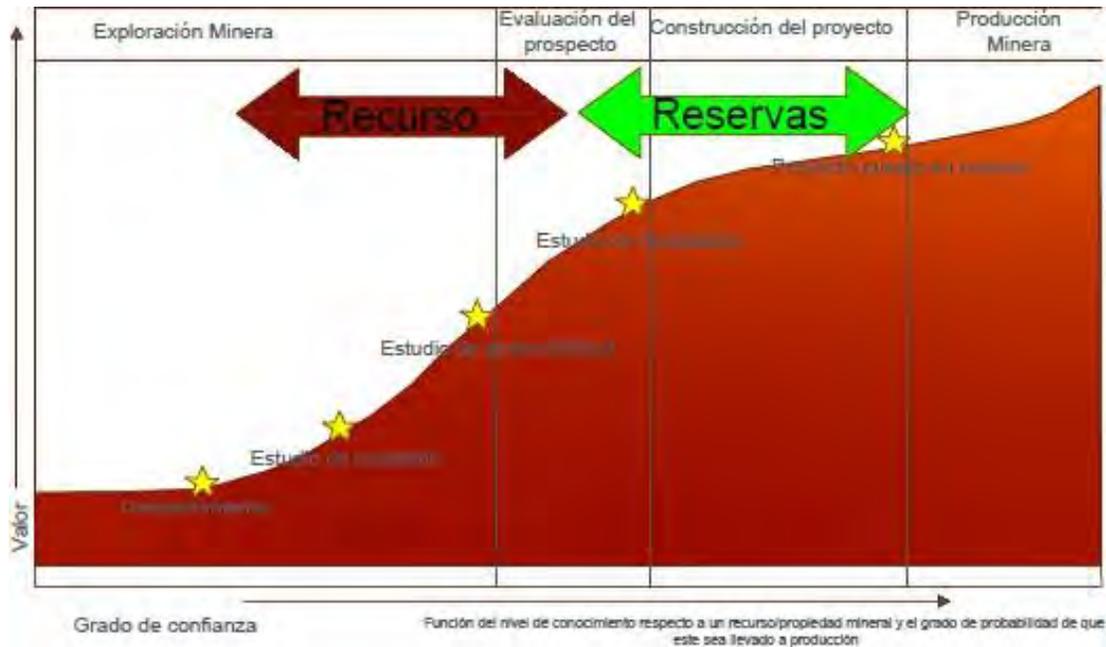
Un estudio de factibilidad es la última etapa en el proceso de evaluación de un proyecto minero para decidir "ir ó no ir" y con propósitos de financiamiento. La precisión es mayor que la pre factibilidad y es típicamente $\pm 15\%$. Los objetivos del estudio de factibilidad son los mismos que aquellos previamente enumerados para la pre factibilidad, pero el nivel de detalle y precisión para cada objetivo es más estricto. El nivel de detalle es típicamente dictado por si el proyecto debe ser financiado por la empresa o financiado por el banco. A menudo se usa el término "bancable" para describir un estudio de factibilidad.

El análisis económico con sensibilidades se basa en los cálculos anuales de flujo de la vida de la mina, como el nivel del estudio aumenta en complejidad, el nivel de detalle requerido aumenta.

Como puede apreciarse en la siguiente figura, a medida que se va avanzando en los estudios de ingeniería, la cantidad de información va incrementándose progresivamente en cada etapa, lo que permite tener un mayor grado de confianza en las diferentes variables del proyecto minero. Esto se aplica para las diferentes disciplinas involucradas; Geología, Geomecánica, Minería, Metalurgia, etc. Sin embargo, es necesario recalcar que, en la experiencia del autor de la presente investigación, en el Perú aún no se da el énfasis necesario en cuanto la cantidad de información y estudios de ingeniera relacionados a los estudios geomecánicos, estos se dejan de lado hasta cuando ya la mina está en etapa de operación. La poca información geomecánica e incertidumbre relacionada a esta disciplina en las operaciones mineras

subterráneas en el Perú, es un tema que debe ser abordado por los entes supervisores y fiscalizadores.

Figura 8: Nivel de Estudios de ingeniería y grado de confianza vs etapa del proyecto minero



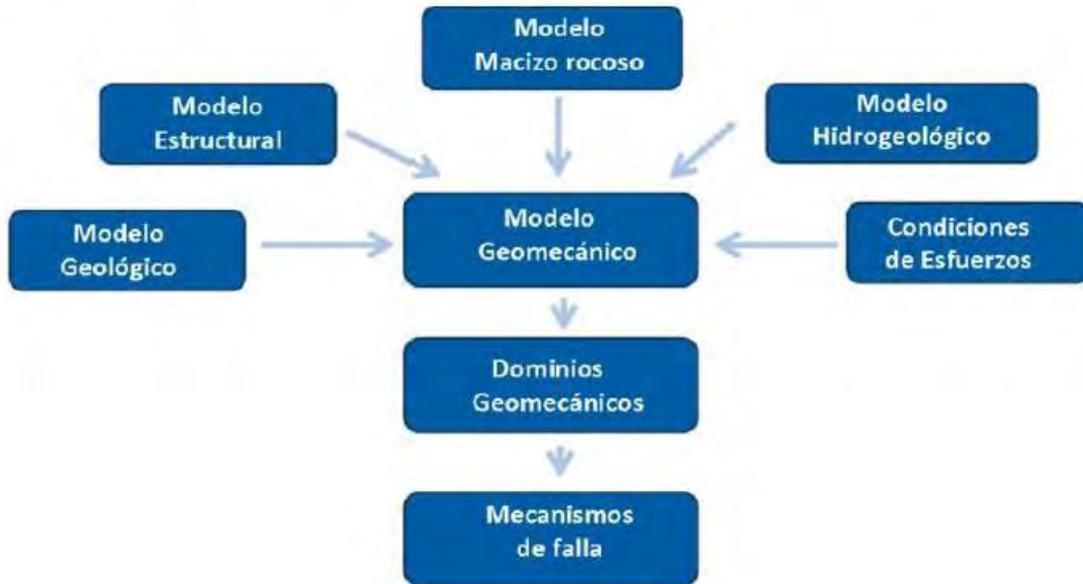
Fuente: F. Gala, 2016, Evaluación y desarrollo de Proyectos Mineros

4.2 Macizo Rocosó

El macizo rocoso es el medio en donde se lleva a cabo el minado de los metales económicos a extraer, como ya se señaló previamente, es necesario conocer las propiedades del macizo rocoso donde se llevará a cabo el minado, por ende, es necesario realizar investigaciones geomecánicas y recolectar información pertinente. La naturaleza del macizo rocoso, su resistencia y comportamiento ante el minado, es muy compleja y variada, la roca puede presentarse en diferentes estados, siendo los principales el estado elástico y plástico, sin dejar de tener presente propiedades físicas como; densidad, peso específico, contenido de humedad, porosidad, grado de saturación, etc.

Además, la geología es un factor preponderante en cuanto al tema litológico, el tamaño de los granos, cristales, la orientación de las discontinuidades, las alteraciones, y estructuras presentes en el macizo rocoso.

Figura 9: Proceso de diseño geomecánico



Fuente: Osinergmin, 2017

Lo anteriormente expuesto conlleva a la conceptualización y creación de un modelo geomecánico de la mina, en este contexto Osinergmin (2017) señala que: “La construcción de un modelo geomecánico es la base fundamental dentro del proceso de diseño de labores subterráneas (alternativas de métodos de minado, requerimientos de sostenimiento, dimensionamiento de excavaciones, etc.), dado que reúne en un solo concepto todos los aspectos geomecánicos que intervienen en describir el entorno donde se pretende realizar el diseño de una labor o estructura subterránea, se obtiene a partir de cinco componentes:

- Modelo geológico
- Modelo estructural
- Modelo de macizo rocoso
- Modelo hidrogeológico
- Modelo de esfuerzos

En esta misma línea, Avramov (2018, p967) señala en su investigación que “se debe usar un modelo geomecánico en tres dimensiones para estudiar y entender las condiciones del terreno antes de comenzar cualquier excavación minera”

Para poder desarrollar la etapa de explotación en minería subterránea, es necesario excavar galerías de acceso, comúnmente denominadas “labores de desarrollo”, las cuales se ejecutan en el macizo rocoso que rodea al yacimiento, por lo general estas labores además de la infraestructura subterránea se desarrollan en la caja piso del macizo rocoso.

Posteriormente se extrae el mineral mediante uno o más métodos de minados, el método de minado seleccionado podrá ser un método selectivo si se trata de un yacimiento en forma de vetas y/o de alta ley, o podrá ser un método masivo de baja selectividad (con alta dilución) si el yacimiento se presenta en forma de cuerpos masivos, además no solo dependerá de la geometría del yacimiento sino también de la variabilidad de las leyes, y de las propiedades geomecánicas del yacimiento y de la de roca encajonante. Es necesario recalcar que existen métodos de minado con mayor riesgo al personal, que son aquellos métodos en los que el personal entra al tajeo de explotación : corte y relleno ascendente (realce, breasting, shirinkage, etc.) y otros con menor riesgo ya que el personal no entra al tajeo de explotación (sublevel stoping, caving) sin embargo estos métodos de menor riesgo no se pueden aplicar en todos los yacimientos, ya que además se toman en cuenta otras variables para seleccionar el método de explotación.

Al respecto Osinergmin (2017) señala que “las principales características y condiciones naturales de un yacimiento mineral que se consideran en el diseño geomecánico de un método de explotación subterránea son las siguientes:

- Configuración geométrica (dimensiones y forma)
- Disposición y orientación (profundidad, buzamiento y rumbo)
- Tamaño (masivo, tabular o veta)
- Características geomecánicas (mineral y roca encajonante)
- Distribución de ley (uniforme, variable, irregular)
- Aspectos ambientales (efectos en la calidad de agua subterránea, cambios en la topografía, hundimiento, subsidencia, etc.)”

Se emplean diversas técnicas de investigación de campo para poder idealizar el comportamiento del macizo rocoso frente al proceso de minado, ya que la roca es un material anisotrópico y por lo general con una geología compleja.

Estas técnicas de investigación con fines geomecánicos deben ser ejecutadas desde el inicio de los estudios de viabilidad del proyecto, se puede utilizar los testigos de perforación diamantina ejecutados para el cálculo de recursos minerales, para realizar un logueo geomecánico, además del clásico logueo geológico normalmente efectuado.

En este logueo geomecánico se puede registrar parámetros que permitirán caracterizar el macizo rocoso (en función a descripciones de la resistencia mecánica de las diferentes litologías, la extensión y frecuencia de las discontinuidades, el tamaño de los bloques formados, las alteraciones, etc.) para posteriormente elegir un sistema de clasificación: Sistema RMR (Rock Mass Rating), Sistema Q ó GSI (Geological Strength Index).

Es recomendable que este logueo geomecánico sea llevado de manera paralela al logueo geológico, ya que, con el tiempo, luego de haber realizado el logueo geológico, los testigos pueden deteriorarse o perderse al utilizarse para realizar ensayos geológicos y metalúrgicos. En algunos casos se desarrollan rampas de exploración en un proyecto, sin embargo, no se aprovecha al máximo la información del macizo rocoso que pueden proveer estas rampas, ya que pueden mapearse geomecánicamente con la finalidad de ir recopilando información que podrá ser utilizada en estudios geomecánicos posteriores. Durante la explotación de la mina, el área de geomecánica puede ir recopilando información de manera sistemática, mediante el logueo y mapeo geomecánico además de técnicas de monitoreo del macizo rocoso (extensómetros, geófonos, celdas de presión, etc)

Además, en este contexto, Cordova (2017, p16) ha señalado que “el conocimiento profundo del macizo rocoso es un requisito indispensable para una operación minera segura” El sostenimiento tiene por función garantizar la seguridad del personal de mina y la estabilidad de las excavaciones, “el tipo de sostenimiento a emplear estará en función de los requerimientos de servicio de la excavación, las características del macizo rocoso, el equipo de construcción y los costos de instalación.” (Osinermin, 2017)

4.3 Diseño Geomecánico

Las funciones del departamento de geomecánica, en interacción con el área de planeamiento, de acuerdo a lo señalado por Cordova (2018) tiene las siguientes funciones:”

- Diseño de aberturas (excavaciones) mineras (y su sostenimiento).
- Diseño de esquemas y secuencias del avance de minado (en función de la evaluación de la estructura de la mina, para un programa de minado operacionalmente aceptable).
- Diseño de sistemas de extracción (Detalles de la configuración del tajeo y la recuperación del mineral del tajeo).”

4.3.1 Caracterización y Modelamiento Geomecánico

Este comienza con una revisión de la información y evaluación geológica, geomorfológica, geoestructural e hidrogeológica de la zona del proyecto, identificándose las principales unidades litológicas, estructurales y comportamiento geológico de las rocas: caja techo, caja piso y estructura mineralizada, como también del nivel freático presente en la zona del proyecto. Se identificarán los principales riesgos geológicos que afecten a los tajeos de explotación, prestando atención principalmente a la sobre-excavación de los tajeos, a la estabilidad de las labores de acceso, futuros pilares y puentes que pudieran ser afectados por agrietamientos y fallamientos ocasionados por efectos geológicos.

Se efectuará un análisis y evaluación de la información de los trabajos de investigación de campo y laboratorio, para luego proceder a hacer una caracterización geomecánica del macizo rocoso, definiendo los diferentes dominios estructurales sobre la base de los sistemas de clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR, Q y GSI), características estructurales, litología, agua subterránea y propiedades de resistencia del macizo rocoso.

Sobre la base de la información recopilada, se elaborará un modelo geológico-geomecánico de la caja piso, caja techo y zona mineralizada, delimitando los diferentes dominios estructurales del macizo rocoso que tengan comportamiento similar en un modelo de tres dimensiones, los mismos que intervendrán en la evaluación de esfuerzos y en el retro-análisis de estabilidad.

Toda esta información podrá servir a la operación para hacer optimizaciones de minado y definir las dimensiones máximas que podrían tener las aberturas en las futuras zonas de explotación.

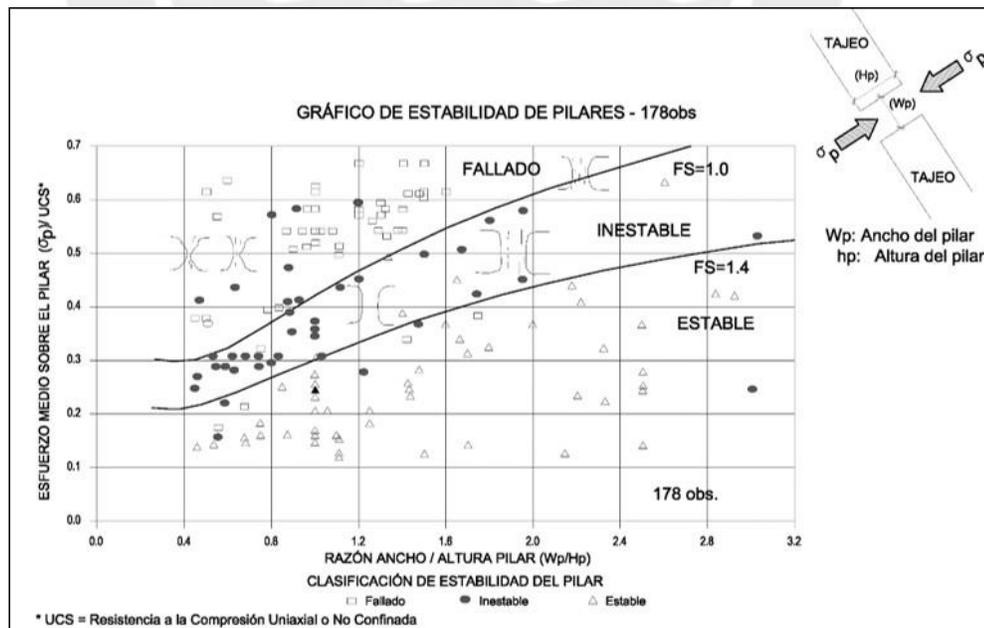
4.3.2 Diseño de Aberturas, Control de Dilución y Pilares

Utilizando criterios empíricos y de modelamiento numérico, se tendrá como objetivo determinar las aberturas permisibles de tajeos, tiempo de autosoporte, la dimensión de los pilares y puentes, así como el sostenimiento que se requerirá para la estabilización de las labores subterráneas temporales a desarrollarse durante el minado.

La evaluación de la estabilidad de las cámaras de los tajeos se puede realizar mediante el gráfico de Estabilidad de C. Maddesley y R. Trueman (2001) actualizado a partir del gráfico de Mathews (1980) y posteriormente modificado por Potvin (1988).

Para el dimensionamiento de los pilares que van entre las cámaras o tajeos de nivel a nivel es necesario dimensionar su ancho, se puede utilizar el método de Obert y Duvall y el método empírico de Lunder y Pakalnis (1997), este último método introduce el criterio de confinamiento del pilar. El método empírico que está basado en múltiples operaciones alrededor del mundo donde se han inspeccionado diferentes pilares, utiliza dos factores principales: el componente geométrico (forma del pilar) y el componente de resistencia que incluye los esfuerzos de la roca in situ y la carga pronosticada del pilar. (Ver figura siguiente)

Figura 10: Gráfico empírico de estabilidad de pilares



Fuente: Lunder y Pakalnis, 1997

Asimismo, esto se puede complementar con programas de cómputo que utilicen métodos numéricos tales como RS2, RS3, Examine2D, Examine3D (Rocscience Inc.), Map3D (Map3D International Ltd.), Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC, Itasca Consulting Group), etc., para poder estimar los factores de seguridad para las diferentes etapas de minado.

Si bien es cierto que en la gran mayoría de casos estos pilares contribuyen a la estabilidad de la mina, estos tienen un valor económico intrínseco, por lo que dichos pilares se podrían recuperar (minar) en algunos casos utilizando una metodología específica para cada caso particular tal como lo ha señalado Elorrieta, Carbajal y Pantaleón (2018). Es cierto que los métodos empíricos de pilares son efectivos para diseñar de manera segura estos, sin embargo, las dimensiones de estos pilares se pueden optimizar (reducir) empleando un análisis numérico en tres dimensiones tal como lo ha demostrado Samaniego, Góngora y Vergara (2018).

Para determinar las dimensiones del pilar puente (llamado pilar corona) que se debe mantener entre nivel de la mina y la superficie, se empleará el método de Carter “scaled crown pillar span” método empírico ampliamente usado en la industria minera canadiense.

Para la estimación de la dilución de las cajas de los tajeos se utilizará la metodología empírica del Equivalente Linear de Sobrerotura (“Equivalent Linear Overbreak Slough”, ELOS) desarrollado por L. Clark, que utiliza la información histórica de otras operaciones, para extrapolar el potencial de dilución en función a los parámetros geomecánicos y geometría del tajeo, el mismo que será corroborado con datos reales de la mina y ajustado a las condiciones de la operación.

4.3.3 Retro-análisis de los tajeos explotados

Con el inventario de información recopilada de tajeos explotados (geometría topográfica con scanner, condiciones geomecánicas y límite de explotación económica de la veta o cuerpo), se realizará con retro-análisis de estabilidad usando el método gráfico de Radio hidráulico, el Factor N y el valor de sobre-excavación ELOS, con la finalidad de establecer el nivel de estabilidad que existió en dichos tajeos.

4.3.4 Análisis y evaluación de esfuerzos para la explotación actual y futura de la mina

Sobre la base del modelo geomecánico de toda la mina, la geometría de las excavaciones, el estado actual de cavidades rellenas y las mediciones de esfuerzos, se debe formular un modelo numérico con programas de cómputo (Rocscience, Map3d u otros) de la zona de actual y futura explotación para realizar un análisis de esfuerzos y deformaciones, utilizando los métodos de elementos finitos y/o elementos de borde en las diferentes etapas de minado.

4.3.5 Aspectos Geomecánicos de relleno de mina

La evaluación del relleno considerará el relleno detrítico y en pasta, de tal manera que garanticen la estabilidad global y local de la mina, este análisis comprenderá el tipo de relleno y las resistencias para las diferentes áreas expuestas.

Se construirá las curvas de resistencia de relleno vs el contenido de cementos y escoria, así como las recomendaciones del contenido de cemento para las diferentes resistencias requeridas.

4.3.6 Modelo Numérico

Cuando se excava una abertura, el esfuerzo que estaba previamente presente en el macizo rocoso es redistribuido alrededor de la abertura recién creada. Los modelos numéricos pueden ser usados para calcular la redistribución de los esfuerzos en puntos específicos, tanto dentro del macizo rocoso como en los bordes de la excavación. Además, los modelos numéricos nos ayudan a estimar las deformaciones y los desplazamientos en las aberturas.

Con el modelo numérico, se podrán evaluar diferentes alternativas de secuencia de minado y se escogerán la que menor concentración de esfuerzos genere alrededor de la explotación para garantizar la estabilidad global de la mina. Asimismo, se podrán evaluar los esfuerzos y deformaciones alrededor de los tajeos de explotación a lo largo de la secuencia de minado (en tajeos primarios y secundarios).

En este contexto Avramov (2018,p972) señalo que “las zonas de fallas geológicas son menos estudiadas que las zonas mineralizadas y por ello pueden dar lugar a situaciones críticas” , por

ello en su investigación simuló diferentes escenarios y etapas en un modelo numérico a gran escala (empleando el software Map3D), para evaluar el comportamiento de una falla geológica entre dos cuerpos mineralizados, para verificar que no existan amenazas para el minado en las zonas cercanas a esta falla geológica.

4.3.7 Secuencia de minado

Validar la secuencia de minado desde el punto de vista geomecánico, es una parte esencial para garantizar la estabilidad global de la mina y garantizar el flujo económico del proyecto, evitando que pueda presentarse restricciones que puedan truncar la continuidad del proyecto minero.

Se evaluará la secuencia de minado considerando la explotación múltiple de estructuras paralelas horizontalmente y verticalmente, con la finalidad de garantizar la estabilidad del macizo rocoso alrededor de la mina. La secuencia de minado que menor concentración de esfuerzos genere y permita la explotación de todos los tajeos de forma segura finalmente será escogida como la mejor opción.

Si bien es cierto que “la geomecánica tradicionalmente ha sido considerada como un asunto ligado primordialmente a la seguridad. Actualmente, además de la seguridad hay un reconocimiento creciente sobre su impacto en los aspectos económicos de las operaciones mineras” (Cordova, 2017, p16)

Entre los impactos económicos positivos que puede generar una adecuada gestión geomecánica y son señalados por Cordova (2017, p17) son:

- “Reducción en los costos de rehabilitación de áreas inestables
- Ahorro potencial por la no interrupción de la producción a causa de los problemas de inestabilidad.
- Ganancia en la producción por la dedicación del personal a esta tarea, en lugar de dedicarse a la rehabilitación de áreas inestables
- Mayor recuperación del mineral por adecuados diseños geomecánicos.
- Reducción de costos por el minado masivo de grandes aberturas
- Ahorro en el consumo de cemento de los rellenos cementados.”

4.4 Seguridad Minera

En cuanto a la evolución acerca de las teorías de Seguridad, Salud Ocupacional y Regulación, estas empezaron con un estudio inicial de H.W. Heinrich (1931) que se conoce como la Teoría de Domino de Heinrich, en la que se identifica una cadena de circunstancias y eventos que llevan a lesiones y daños, estos son:

- Factores ambientales
- Culpa del individuo
- Actos o condiciones inseguras
- Accidentes y
- Lesiones

De acuerdo con esto, Heinrich analizó una gran cantidad de accidentes industriales y determinó que el 88% procedía de actos inseguros y solo 10% de condiciones inseguras. Sus hallazgos han sido la base para muchas teorías subsecuentes acerca de la gestión de seguridad y salud ocupacional. De manera similar otro modelo conocido como el “Modelo de Ingeniería de seguridad” (SEM) tuvo hallazgos similares, en el cual los actos inseguros eran el 85% y las condiciones inseguras eran el 15%.

Con lo que concluyen que los actos inseguros se previenen a través de educación y la aplicación/cumplimiento (*enforcement*), mientras que las condiciones inseguras se previenen a través de mejores prácticas de ingeniería y cumplimiento de estas prácticas.

Figura 11: Modelo de Ingeniería de seguridad (SEM)



Fuente: “The Management of Occupational Health and Safety in the Australian Mining Industry” David Cliff – International Mining for Development Centre, 2012

Es importante señalar definiciones en base al Subcapítulo de Definición de Términos² del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería - DS 024-2016-EM (ya que estas no han sido modificadas por el DS 023-2017-EM) y a los Artículos del DS 024-2016-EM concernientes a cada concepto. En el caso que, algún artículo usado haya sido modificado por el DS 023-2017-EM, se especificará de manera explícita su procedencia.

4.4.1 Procedimiento estándar de trabajo seguro (PETS)

El DS 024-2016-EM, lo define como “aquel documento que contiene la descripción específica de la forma cómo llevar a cabo o desarrollar una tarea de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de pasos consecutivos o sistemáticos, de modo que resuelva la pregunta: ¿Cómo hacer el trabajo/tarea de manera correcta y segura?” Asimismo, el artículo 98 de dicho reglamento establece la obligación del titular minero para elaborar, actualizar e implementar, con participación de los trabajadores, los PETS. El titular minero, además, deberá incluir en sus respectivos manuales, instruir a sus trabajadores para su uso obligatorio y distribuir los PETS, colocándolos en sus respectivas labores y áreas de trabajo.

Finalmente, el Anexo 10 del reglamento proporciona el formato obligatorio para la elaboración de PETS. Según este modelo, un PETS deberá especificar el nombre del procedimiento que cubre el PETS; el personal encargado de dicho procedimiento; los equipos de protección personal necesarios; las herramientas y materiales requeridos; el procedimiento a seguir, paso a paso; y las restricciones que puedan aplicar. Asimismo, el PETS deberá ser firmado por el autor del documento, el gerente del área a la que corresponde la ejecución del procedimiento, el gerente de seguridad y salud ocupacional y el gerente de operaciones mina.

4.4.2 Permiso escrito de trabajo de alto riesgo (PETAR)

De acuerdo con el DS 024-2016-EM, el PETAR es un documento mediante el cual se autoriza a efectuar trabajos en zonas o ubicaciones que son peligrosas y consideradas de alto riesgo, que debe ser firmado para cada turno por el ingeniero supervisor y jefe de área en donde se

² Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería - DS N° 024-2017-EM; Título Primero-Gestión Del Sub - Sector

Minería, Capítulo I - Disposiciones Generales, Subcapítulo II – Definición de Términos. Artículo 7.

realizará el trabajo. Asimismo, el Artículo 129 del reglamento establece a las siguientes actividades como trabajos de alto riesgo:

1. Trabajos en espacios confinados.
2. Trabajos en caliente.
3. Excavaciones mayores o iguales de 1.50 metros.
4. Trabajos en altura.
5. Trabajos eléctricos en alta tensión.
6. Trabajos de instalación, operación, manejo de equipos y materiales radiactivos.
7. Otros trabajos valorados como de alto riesgo en los IPERC.

Finalmente, el Anexo 18 del reglamento proporciona el formato obligatorio para la elaboración del PETAR. Según este formato, un PETAR debe contener el área, lugar y fecha de realización del trabajo; la descripción del mismo; las personas responsables; los EPPs requeridos; las herramientas y materiales necesarios; el procedimiento; y las firmas del supervisor del trabajo y jefe del área respectiva.

4.4.3 Análisis de trabajo seguro (ATS)

Está definida por el DS 024-2016-EM como “una herramienta de gestión de seguridad y salud ocupacional que permite determinar el procedimiento de trabajo seguro, mediante la determinación de los riesgos potenciales y definición de sus controles para la realización de las tareas.” El Artículo 99 del reglamento establece que el titular minero deberá implementar un ATS para realizar actividades no rutinarias, no identificadas en el IPERC de Línea Base y que no cuenten con un PETS. Asimismo, el Anexo 11 presenta el formato para la elaboración de ATS, según el cual, el ATS deberá contener los pasos de la tarea a ejecutar, los peligros y riesgos potenciales identificados para cada paso, las medidas preventivas a ejecutar para atenuar dichos riesgos y la persona responsable de dichas medidas.

4.4.4 Identificación de peligros, evaluación y control de riesgos (IPERC).

El DS 024-2016-EM lo define como el “proceso sistemático utilizado para identificar los peligros, evaluar los riesgos y sus impactos e implementar los controles adecuados, con el propósito de reducir los riesgos a niveles establecidos según las normas legales vigentes.”

Asimismo, establece diferentes aplicaciones para el IPERC:

- IPERC de línea base: elaborado al inicio de la implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional de la empresa. Se controlan todos peligros y sus riesgos asociados en todos los procesos de la empresa minera. Asimismo, el Artículo 97, modificado por el DS 023-2017-EM³, establece que este deberá ser actualizado anualmente y en los casos en que: se realicen cambios en los equipos, procesos, materiales insumos herramientas y ambientes de trabajo, que afecten a la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores, ocurran incidentes peligrosos o se dicten cambios en la legislación. Asimismo, establece la obligación del titular minero de mantener una copia del IPERC de línea base actualizado de las tareas a realizar en las labores mineras correspondientes y de asegurarse de que estas tareas se realicen una vez que hayan sido implementados los controles descritos en el IPERC de línea base.
- IPERC continuo: elaborado por los trabajadores antes de iniciar los trabajos que diariamente les son asignados.

Le evaluación de los riesgos en un IPERC se realiza en función a la severidad y frecuencia del riesgo, en base a una matriz de evaluación de riesgos. La matriz establece qué combinaciones de severidad y frecuencia corresponden a niveles de riesgos bajos, medios y altos (ver Figura 13). Una vez evaluado el riesgo, se procede a identificar medidas correctivas para mitigarlo. Estas medidas se determinarán en base a la jerarquía de controles, definida también en el reglamento, priorizando la implementación de controles de mayor jerarquía posible:

1. Eliminación: Eliminar el peligro al cambiar el procedimiento de trabajo asociado al riesgo, dejar de realizar dicho trabajo, eliminar el elemento asociado al riesgo, etc.
2. Sustitución: Sustituir el peligro por otro más seguro o diferente que implique un menor riesgo para los trabajadores

³ Modificación de diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DS N°024-

2017-EM, aprobado por DS N°023-2017-EM. Artículo 97.

3. Controles de ingeniería: Uso de tecnología, diseño de infraestructura, selección de equipos, aislamientos, entre otros.
4. Señalización, alertas y/o controles administrativos: Procedimientos, capacitaciones, entre otros.
5. Equipos de protección personal (EPP): Uso de EPP adecuado para la actividad a desarrollar.

Una vez definidos los controles, se evalúa el riesgo residual, asegurándose de que los controles hayan disminuido el nivel de riesgo y se designa al responsable de la implementación de los controles.

Figura 12: Matriz básica de evaluación de riesgos

SEVERIDAD	Catastrófico	1	1	2	4	7	11	NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	PLAZO DE MEDIDA CORRECTIVA
	Mortalidad	2	3	5	8	12	16			
	Permanente	3	6	9	13	17	20	MEDIO	Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata	0-72HORAS
	Temporal	4	10	14	18	21	23	BAJO	Este riesgo puede ser tolerable.	1 MES
	Menor	5	15	19	22	24	25			
				A	B	C	D	E		
			Común	Ha sucedido	Podría suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda			
			FRECUENCIA							

Fuente: Anexo 7 DS No 024-2016-EM

4.4.5 Índices de seguridad

El DS 024-2016-EM, en su Artículo 171, establece la obligación del titular minero de presentar mensualmente a la Dirección General de Minería el cuadro de estadísticas de seguridad de la empresa minera. Este cuadro de estadística de seguridad debe incluir el cálculo de los índices de frecuencia, severidad y accidentabilidad del mes y el acumulado de dicho año. Estos índices son definidos por el reglamento de la siguiente manera:

- Índice de frecuencia de accidentes (IF)

Es el número de accidentes mortales e incapacitantes por cada millón de horas trabajadas:

$$IF = \frac{N^{\circ} \text{ de accidentes} * 1'000'000}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

- Índice de severidad de accidentes (IS)

Es el número de días perdidos o cargados debido a los accidentes ocurridos, por cada millón de horas - hombre trabajadas. Asimismo, el Anexo 33 del DS 024-2016-EM establece el número de días a cargarse para el cálculo del índice de severidad, de acuerdo con el tipo de accidente ocurrido.

$$IS = \frac{N^{\circ} \text{ de días perdidos o cargados } \times 1'000'000}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

- Índice de accidentabilidad (IA)

Se trata de un indicador que combina el índice de frecuencia de accidentes con tiempo perdido (IF) y el índice de severidad de lesiones (IS).

$$IA = \frac{IF * IS}{1'000}$$

4.5 Organismos fiscalizadores de la seguridad y salud ocupacional

4.5.1 Organismo Fiscalizador de la Inversión en Minería y Energía (OSINERGMIN)

Creada en 1996, mediante la Ley N° 26734⁴, como el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG) para ejercer la supervisión y fiscalización de las actividades desarrolladas por las empresas en los subsectores de electricidad e hidrocarburos. Posteriormente, en el año 2007, mediante la Ley N° 28964⁵, se le transfirió las competencias de supervisión y fiscalización mineras, creando el OSINERGMIN.

Actualmente, OSINERGMIN cumple las siguientes funciones:

- Inspecciones preventivas y especializadas en materia de su competencia.
- Supervisión del cumplimiento de obligaciones legales en materia de su competencia.

⁴ Ley N° 26734 - Ley del Organismo Supervisor de Inversión en Energía – OSINERG

⁵ Ley N° 28964 - Ley Que Transfiere Competencias De Supervisión Y Fiscalización De Las Actividades Mineras Al Osinerg

- Investigación de accidentes mortales.
- Aplicación de sanciones por incumplimiento de obligaciones legales.
- Elaboración de reglamentos que regulan los procedimientos a su cargo.
- Solución de reclamos y controversias.

El OSINERGMIN tiene competencia supervisora sobre la gran y mediana minería en los siguientes aspectos⁶:

- Ventilación en minería subterránea
- Geomecánica
- Plantas de Beneficio, fundiciones, refinerías, depósitos de concentrado de mineral y plantas de relleno hidráulico.
- Transporte, maquinarias e instalaciones auxiliares
- Depósito de relaves, pilas de lixiviación, depósitos de desmonte y tajo abierto.

4.5.2 Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL)

Es el organismo técnico especializado, adscrito al Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, responsable de cumplir el rol de autoridad central y ente rector del Sistema de Inspección del Trabajo. Fue creado en el 2014, mediante la Ley N° 29981, la cual, además, establece sus funciones⁷:

- Supervisar el cumplimiento de la normativa socio laboral, ejecutando las funciones de fiscalización dentro del ámbito de su competencia.
- Aprobar las políticas institucionales en materia de inspección del trabajo, en concordancia con las políticas nacionales y sectoriales.
- Formular y proponer las disposiciones normativas de su competencia.

⁶ Conforme al Reglamento de Supervisión y Fiscalización de las Actividades Energéticas y Mineras aprobado por Resolución N° 171-2013-OS/CD. Artículo 12.- Actividades de Supervisión y Fiscalización en el Sector Minero.

⁷ Ley N° 29981 - Ley que crea la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL). Capítulo I. Artículo 4. Funciones generales de la Sunafil

- Vigilar y exigir el cumplimiento de las normas legales, reglamentarias, convencionales y las condiciones contractuales, en el orden socio laboral.
- Imponer las sanciones legalmente establecidas por el incumplimiento de las normas socio laborales, en el ámbito de su competencia
- Fomentar y brindar apoyo para la realización de actividades de promoción de las normas socio laboral.
- Prestar orientación y asistencia técnica especializada dentro de su ámbito de competencia.
- Ejercer la facultad de ejecución coactiva, respecto de las sanciones impuestas en el ejercicio de sus competencias.
- Vigilar y exigir el cumplimiento de las normas legales, reglamentarias, convencionales y las condiciones contractuales en el régimen laboral privado, en el orden sociolaboral.
- Suscribir convenios de gestión con los gobiernos regionales en materia de su competencia.

4.5.3 Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE)

Es el órgano del Estado Peruano encargado de lidiar con temas laborales a nivel nacional. Se desempeña como ente rector del Sistema Nacional de Inspección del Trabajo. Como tal, posee numerosas funciones, las cuales son clasificadas en⁸: funciones rectoras, funciones técnico-normativas, funciones exclusivas del MTPE y funciones compartidas con los gobiernos regionales y/o locales. Entre estas, destacaremos las siguientes:

- “Formular, planificar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar las políticas nacionales y sectoriales en materias socio laborales, derechos fundamentales en el ámbito laboral, seguridad y salud en el trabajo, y difusión de normativa laboral” (Inciso 1, Artículo 5, Ley N° 29381)
- “Realizar seguimiento respecto del desempeño y logros de la gestión en materia laboral, alcanzados a nivel nacional, regional y local, y tomar las medidas correspondientes.” (Inciso 3, Artículo 5, Ley N° 29381)

⁸ Basado en el Reglamento De Organización Y Funciones Del Ministerio De Trabajo Y Promoción Del Empleo, Título I.

Artículo 3.- De las Funciones del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo

- “Coordinar con los Gobiernos Regionales y Locales la implementación de las políticas nacionales y sectoriales, y evaluar su cumplimiento”. (Inciso 5, Artículo 18, Ley N° 29381)
- “Dictar normas y lineamientos técnicos para la adecuada ejecución y supervisión de las políticas nacionales, la gestión de los recursos del sector, así como para el otorgamiento y reconocimiento de derechos, la sanción, fiscalización y ejecución coactiva en las materias de su competencia.” (Inciso 2, Artículo 5, Ley N° 29381)
- “Promover el empleo digno y productivo y la inserción en el mercado de trabajo en un marco de igualdad de oportunidades, especialmente para los grupos vulnerables de la población, mediante la definición de planes, estrategias, programas y proyectos nacionales.” (Inciso 1, Artículo 8, Ley N° 29381)

En el caso de Australia y Norteamérica, la forma en que elaboraron las primeras regulaciones en cuanto a temas de seguridad puede caracterizarse como altamente prescriptiva, con un énfasis en especificaciones técnicas y estándares detallados, el cumplimiento de estas reglas era supervisado por inspectores independientes facultados y que contaban con amplios poderes de inspección, siendo estos inspectores pagados por el Estado.

Las ventajas de este enfoque es que aquellos administrados que son supervisados y fiscalizados, sabían exactamente cuáles son los requerimientos y la legislación era relativamente fácil de aplicar. De acuerdo con este enfoque regulatorio, un lugar de trabajo era seguro si cumplían con estas regulaciones.

Sin embargo, este enfoque rígido tiene como principal debilidad que al existir un gran número de reglas técnicas largas y detalladas son difíciles de entender y también presentan desafíos para mantenerlas actualizadas.

En este sentido en Australia tomaron un modelo en el cual la legislación señala los requerimientos de los estudios y planes de gestión, pero es responsabilidad de la mina detallar estos estudios y planes de gestión de acuerdo a cada mina en particular, sin embargo, la legislación refiere a Guías que complementan a lo señalados en los códigos o reglamentos de seguridad, estas Guías señalan requerimientos mínimos para estos estudios y planes de gestión. Este modelo de regulación que posee menos regulaciones específicas y se

complementa con guías de ingeniería, permite que se incorporen cambios debidos a desarrollos tecnológicos, de una manera más rápida.

En este contexto acontecido en Australia, donde desarrollan actividades de extracción las principales empresas mineras a nivel mundial, (Gunningham, 2007) señala que: “La industria minera a nivel global cuenta una alta incidencia de enfermedades, accidentes y fatalidades relacionados con el ambiente de trabajo. También se enfrenta a desafíos relacionados con Seguridad y Salud en el Trabajo que superan a otras a los desafíos enfrentados por otras industrias. Aunque la regulación nunca es la respuesta completa y definitiva, una correcta regulación llevará a aquellas empresas rezagadas a cumplir con un mínimo legal y por otro lado también alentará a las empresas líderes a ir más allá de la regulación vigente. En contraste una mala regulación no disuade a las malas empresas e impide que buenas empresas tomen la iniciativa de mejorar en los temas relacionados con Seguridad y Salud en el trabajo”

Es necesario remarcar que en el periodo de estudio (2000-2016) se promulgaron 3 reglamentos de Seguridad y Salud ocupacional en minería, (DS N° 046-2001-EM, DS N° 055-2010-EM, DS N° 024-2016-EM), con un incremento en artículos y anexos en cada reglamento.

Asimismo, en la última modificatoria DS No 023-2017-EM, se realizaron cambios importantes en cuanto a artículos relacionados con geomecánica, siendo estos los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 5: Comparación de cambios en temas de geomecánica entre el DS N° 024-EM-2016 y N° 023-EM-2017

DS 024-EM-2016	DS 023-EM-2017
<p>Artículo 75.- La capacitación debe incluir, además de los aspectos considerados en el Anexo N° 6 y en lo que corresponda, lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prevención de caída de rocas 2. <i>El uso de las tablas geomecánicas preparadas y actualizadas por el especialista en geomecánica.</i> 3. La ejecución de los trabajos de desate y sostenimiento en techos y paredes de labores mineras, de acuerdo a estándares establecidos. (...) 	<p>Artículo 75.- La capacitación debe incluir, además de los aspectos considerados en el Anexo 6 y en lo que corresponda, <i>de acuerdo a la determinación que realice el titular de actividad minera tomando en consideración el puesto de trabajo y la IPERC</i>, lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prevención de caída de rocas 2. Ejecución de los trabajos de desate y sostenimiento en techos y paredes de labores mineras, de acuerdo a estándares establecidos. (...)

DS 024-EM-2016	DS 023-EM-2017
<p>Artículo 214.- En las etapas de exploración y explotación -incluida la preparación y desarrollo de la mina-, el titular de actividad minera deberá tener en cuenta:</p> <p>(...)</p> <p>b) Registrar <i>trimestralmente</i> los ensayos y pruebas de control de calidad, <i>no menor del veinte por ciento (20%)</i> del sostenimiento aplicado. (...)</p> <p>d) Los PETS relativos a temas geomecánicos deberán incluir los materiales y estándares de acuerdo al trabajo realizado y deberán ser actualizados <i>trimestralmente</i>, como máximo, por el área de Geomecánica.</p>	<p>Artículo 214.- En las etapas de exploración y explotación -incluida la preparación y desarrollo de la mina-, el titular de actividad minera deberá tener en cuenta:</p> <p>(...)</p> <p>b) Registrar <i>mensualmente</i> los ensayos y pruebas de control de calidad, <i>respecto de no menos del uno (1 %)</i> del sostenimiento aplicado en dicho periodo. (...)</p> <p>d) Los PETS relativos a temas geomecánicos deben incluir los materiales y estándares de acuerdo al trabajo realizado y deben ser actualizados por el área de Geomecánica <i>de acuerdo al cambio de las condiciones geomecánicas de las labores.</i> (...)</p> <p>k) <i>Para la ejecución de las operaciones mineras subterráneas y superficiales, el titular de la actividad minera debe acreditar que cuenta con la asesoría de un profesional ingeniero, especializado y con experiencia en geomecánica, para cada Unidad Minera o Unidad de Producción.</i></p>
<p>Artículo 224.- Siendo el desprendimiento de rocas la principal causa de accidentes en las minas, se instruirá y obligará a los trabajadores a seguir las siguientes reglas de trabajo al ingresar a las labores:</p> <p>a) Inspeccionar las labores, taludes y botaderos, con el fin de verificar las condiciones del terreno antes de entrar en la zona <i>no sostenida.</i> (...)</p> <p>e) En los frentes <i>de desarrollo y preparación como son cortadas, cruceros, galerías, rampas, subniveles,</i> la instalación de los elementos de sostenimiento o fortificación deberá ser realizado hasta el tope de los frentes; evitando la exposición de los trabajadores a la caída de rocas en áreas no fortificadas. <i>Igual procedimiento se aplicará en las labores de explotación, donde sea necesario su fortificación o sostenimiento.</i> (...)</p>	<p>Artículo 224.- Como medida de prevención para evitar accidentes por el desprendimiento de rocas, se instruye y obliga a los trabajadores a seguir las siguientes reglas de trabajo al ingresar a las labores:</p> <p>a) Inspeccionar las labores, taludes y botaderos, con el fin de verificar las condiciones del terreno antes de entrar en la <i>zona de trabajo.</i> (...)</p> <p>e) En los frentes <i>donde se realicen las actividades de exploración, explotación (desarrollo y preparación),</i> la instalación de los elementos de sostenimiento o fortificación debe ser realizada hasta el tope de los frentes; evitando la exposición de los trabajadores a la caída de rocas en áreas no fortificadas, <i>cuando dicha labor minera no cuenta con una roca competente.</i> (...)</p>

DS 024-EM-2016	DS 023-EM-2017
<p>Artículo 230.- Cuando el techo de la labor es mayor de <i>cinco</i> metros (<i>5 m</i>), se utilizará obligatoriamente desatadores mecánicos. Igualmente, es de aplicación lo establecido en el sub capítulo II del presente capítulo, en lo que corresponda.</p>	<p>Artículo 230.- Cuando el techo de la labor es mayor de <i>cuatro</i> metros (<i>4 m</i>), se utilizará obligatoriamente desatadores mecánicos. Igualmente, es de aplicación lo establecido en el sub capítulo II del presente capítulo, en lo que corresponda.</p>
<p>Artículo 262.- En las etapas de exploración y explotación, incluyendo la preparación y desarrollo de la mina, los titulares de actividad minera deberán cumplir con: (...) c) Construir rampas o vías amplias de no menos tres (3) veces el ancho del vehículo más grande de la mina, en vías de doble sentido y no menos de dos (2) veces de ancho en vías de un solo sentido. <i>Si la mecánica de rocas presenta terrenos incompetentes</i>, el titular de actividad minera determinará realizar vías del ancho de la maquinaria más grande de la mina, más veinte por ciento (20%) de espacio para la cuneta.</p>	<p>Artículo 262.- En las etapas de exploración y explotación, incluyendo la preparación y desarrollo de la mina, los titulares de actividad minera deberán cumplir con: c) Construir rampas o vías amplias de no menos tres (3) veces el ancho del vehículo más grande de la mina en vías de doble sentido y no menos de dos (2) veces de ancho en vías de un solo sentido. <i>Si la evaluación de mecánica de rocas determina terrenos incompetentes</i>, el titular de actividad minera debe construir vías del ancho de la maquinaria más grande de la mina, más veinte por ciento (20 %) de espacio para la cuneta.</p>
<p>Artículo 394.- Los talleres de mantenimiento de equipo <i>diésel</i> en subsuelo deberán ser construidos en áreas de roca competente con sus elementos de sostenimiento, iluminación y ventilación adecuados. (...)</p>	<p>Artículo 394.- Los talleres de mantenimiento de equipos <i>petroleros</i> en subsuelo deben ser construidos en áreas de roca competente con sus elementos de sostenimiento <i>de acuerdo a la evaluación y análisis que realice el departamento de Geomecánica</i>, (...).</p>

Fuente: Presentación “D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM”, Ing. Felix Guerra Rivas. Elaboración: Propia.

De acuerdo a Martínez (2015)” Se ha generado una corriente de sobre-regulación en todos los aspectos” en la que “procesos técnicos complejos se han visto sometidos al detallado escrutinio estatal”

Ante esta situación Martínez propone la desregulación varios puntos entre los cuales “se debe privilegiar el cumplimiento y la prevención antes que la sanción.”

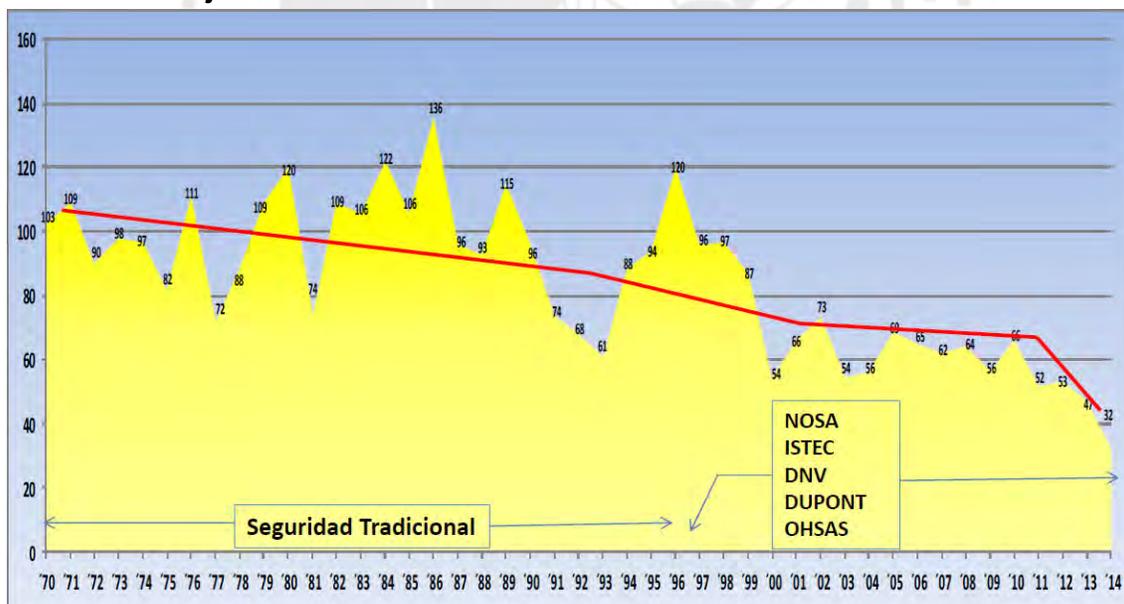
“La desregulación propuesta no tiene nada que ver con limitar la responsabilidad de las empresas, que seguirán siendo las únicas responsables de lo que hagan o no en sus proyectos, lo cual se determinará en la fiscalización a sus actividades” (Martínez, 2015)

Debido a la situación expuesta de este problema, se justifica el estudio de la alta tasa de accidentes fatales por caída de roca, con la finalidad de identificar las variables que intervienen en este problema, evaluar el impacto de la regulación minera en temas geomecánicos y evidenciar la importancia de una guía geomecánica como herramienta para la prevención de accidentes fatales por caída de roca.

4.6 Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

Los sistemas de gestión abarcan una serie de políticas y procedimiento que deben ser adoptadas por las empresas, “el cual debe ser auditado periódicamente para comprobar su aplicación y eficacia en la prevención de riesgos laborales y seguridad y salud de los trabajadores” (Artículo 1, DS016-2009-EM). En el Perú, a partir de 1996, coincidiendo con el inicio de la fiscalización de la seguridad de las actividades mineras en el Perú, las empresas mineras comenzaron a adoptar sistemas de gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). De ese modo, la adopción de dichos sistemas de gestión en conjunto con las nuevas políticas de fiscalización laboral del Estado, lograron disminuir de manera sistemática las estadísticas anuales accidentes mortales en el sector minero, como muestra la figura siguiente

Figura 13: Cantidad anual de fatalidades e implementación de sistemas de gestión y salud en el trabajo



Fuente: Presentación “La Experiencia Nacional: Seguridad Minera en el Perú”, Ing. Félix Guerra Rivas.

Entre los principales sistemas de gestión de SST adoptados por empresas mineras en el Perú, se encuentran:

4.6.1 Asociación nacional de seguridad en el trabajo (NOSA)

La Asociación Nacional de Seguridad en el Trabajo (NOSA, por sus siglas en inglés) fue formada en 1951 por el gobierno de Sudáfrica con el objetivo de reducir el alto número de lesiones y fatalidades en el trabajo dentro del país. Posteriormente éste fue adquirido y reestructurado por Micromega Holdings Limited en 2005, con un fuerte enfoque en la creación de un proveedor nacional de servicios que satisfaga la creciente demanda de servicios de salud y seguridad ocupacional. Actualmente, NOSA ofrece gran variedad de cursos de capacitación en seguridad, salud, medio ambiente y calidad; así como auditorías en seguridad y certificación de su sistema de gestión NOSA 5 Estrellas.

El sistema NOSA permite administrar los riesgos a los que se encuentran expuestos las personas, instalaciones y equipos de una empresa. Este sistema está estructurado en 72 elementos divididos en 5 secciones, según (NOSA, 2017) siendo estas:

- Compromiso y política de gestión de seguridad, salud y medio ambiente.
- Planificación del sistema de gestión NOSA.
- Implementación y operación del sistema de gestión
- Evaluación del sistema de gestión y acción correctiva.
- Revisión del sistema de gestión.

La implementación del sistema se lleva a cabo a partir de programas incorporados a las tareas diarias de cada trabajador y se evalúa dentro de cinco secciones principales en la empresa (NOSA, 2017)

- Infraestructura y limpieza
- Protección mecánica, eléctrica y personal
- Protección y prevención contra incendios
- Registro y controles de incidentes
- Gestión organizacional

Finalmente, el sistema de gestión es auditado por NOSA, evaluando los peligros identificados y riesgos evaluados; los estándares y procedimientos del lugar de trabajo; el grado de cumplimiento de los sistemas, normas y requisitos de procedimiento anteriores; y la efectividad general del sistema de gestión.

4.6.2 Compañía internacional de tecnologías de seguridad (ISTEC)

La International Safety Technology Co. Ltda. (ISTEC, por sus siglas en inglés) desarrolla un plan de auditorías que tiene como concepto la implementación de un sistema de gestión, el cual considera como propósito la supervisión del cumplimiento y auditoría de los estándares de la Gestión de Riesgos. Este concepto se enfoca en la salud y seguridad ocupacional y control ambiental.

ISTEC como modelo de gestión ha desarrollado los mapas de riesgo, los cuales ayudan a organizar y reducir el riesgo en las operaciones. El programa posee 36 elementos básicos, 45 sub-elementos, 82 elementos en total, aproximadamente 350 requerimientos mínimos, 1260 estándares y 2200 estándares detallados, estas se encuentran organizadas en seis secciones, de acuerdo a lo que menciona Castro Vela (2014):

- “1. Sistema de gestión e integración
2. Seguridad laboral y resguardo físico
3. Salud laboral, higiene y medicina
4. Procesos de seguridad
5. Prevención y protección contra Incendios
6. Protección ambiental”

Asimismo, para lograr éxito con el modelo de proceso ISTEC se propone los siguientes pasos a seguir:

Tabla 6: Pasos a seguir e instrumentos a utilizar para la implementación del modelo ISTEC.

Concepto	Detalle	Instrumentos
Identificación	Identificación de todas las exposiciones a riesgo.	Estudios de fiabilidad, Revisión inicial, Análisis GAP.
Evaluación	Evaluación de riesgos en cada exposición.	Estudios técnicos, Análisis de necesidades.
Desarrollo	Desarrollo de planes de control y tratamiento de riesgos.	Políticas, normas y procedimientos.
Implementación	Implementación de los planes de control, Políticas y normas.	Programas, fases.

Concepto	Detalle	Instrumentos
Medición/monitoreo	Monitoreo de los programas, normas y sistemas.	Auditorías, revisiones
Mejora continua	Mejora continua de los procesos.	Comunicación, entrenamiento y concientización.

Fuente: Tesis “Sistema De Gestión De Riesgos Ocupacionales “SISGRO” Para Operaciones de perforación de pozos petroleros en superficie”, Cesar Castro Vela y Luis Chenet Gutierrez. Universidad Nacional de Ingeniería.2014

De esta forma el Sistema ISTEK apoya a los trabajadores tanto administrativos como operarios en el cumplimiento de sus objetivos, lo cual forma parte importante de la gestión de un negocio.

4.6.3 Det Norske Veritas (DNV)

Det Norske Veritas (DNV) es una fundación autónoma e independiente de ámbito mundial con sede en Noruega, fundada en 1864, cuyo propósito como empresa es “Salvaguardar la vida, la propiedad y el medio ambiente”. (DNV, 2017)

“La metodología de DNV – LCM (Loss Control Management) es consistente con la filosofía de aseguramiento de la calidad. La aplicación sistemática de las habilidades profesionales de LCM produce un mejoramiento medible de desempeño. Esta metodología considera que la mayoría de las pérdidas resultan principalmente de la deficiencia administrativa y no del comportamiento inseguro o dañino del empleado. De modo que DNV propone un modelo de causalidad de pérdidas bajo el cual todos los accidentes tienden a tener las mismas causas básicas (en fallas administrativas) y propone las acciones necesarias para controlar esas causas. El modelo DNV divide a todas las organizaciones en cuatro subsistemas: gente, equipos, maquinarias y ambiente, y considera que cuando estos subsistemas interactúan pueden llegar a ser fuente de pérdidas. De este modo, establece que la efectividad de cualquier subsistema es interdependiente con la efectividad de los otros, y los fracasos en un área frecuentemente tienen consecuencias en las otras.” (Castro Vela, 2014)

Asimismo, el modelo DNV propone cinco etapas de manera progresiva que llevan el control de cualquier actividad de la administración, estas cinco etapas se resumen en la sigla ISMEC y se describen en la tabla siguiente:

Tabla 7: Descripción de la sigla ISMEC.

Sigla	Concepto	Detalle
I	Identificación del trabajo	Especificar los elementos y actividades del programa para obtener los resultados deseados.
S	Estándares.	Establecer estándares de desempeño (criterios por los cuales serán evaluados los métodos y resultados).
M	Medición	Medir, registrar y reportar el trabajo en proceso y el trabajo terminado.
E	Evaluación	Medir el desempeño y compararlo contra los estándares establecidos, evaluar resultados.
C	Corrección y motivación	Regular y mejorar los métodos y resultados mediante el elogio al desempeño deseado y corregir constructivamente el desempeño subestándar.

Fuente: Tesis "Sistema De Gestión De Riesgos Ocupacionales "SISGRO" Para Operaciones De Perforación De Pozos Petroleros En Superficie", Cesar Castro Vela y Luis Chenet Gutierrez. Universidad Nacional de Ingeniería.2014

4.6.4 Sistema Dupont (DUPONT)

DuPont es una empresa multinacional de más de 200 años de antigüedad dedicada principalmente a ramas industriales de la química, pero que además brinda servicios de consultoría en temas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y ha creado el modelo DuPont de SST. Este SST fue implementado por primera vez en sus fábricas, para después ser ofrecido por la compañía como un servicio a otras empresas desde 1973. El modelo DuPont se fundamenta en que todo accidente se puede prevenir, si ocurre un accidente fue debido a que hubo una falla en la gestión. Así, se concluye que, si no es posible realizar un proceso de forma segura, este proceso no debe ser implementado. El modelo DuPont de SST se basa en 10 principios, de acuerdo con CGE (2008, página 2) estos principios son:

- "Todos los accidentes y todas las enfermedades ocupacionales se pueden evitar.
- La seguridad es responsabilidad de la Dirección. Cada nivel de mando es responsable de la seguridad dentro de sus funciones. Cada elemento de la línea es responsable frente a su superior inmediato.

- Trabajar con seguridad es condición para el empleo. Cada empleo debe asumir su parte de responsabilidad en la seguridad.
- La formación y el adiestramiento constituyen un elemento esencial para la existencia de puestos de trabajo seguros.
- Deben realizarse auditorías de seguridad.
- Todas las exposiciones pueden ser controladas y todas las deficiencias pueden ser evitadas
- Es esencial investigar todas las operaciones inseguras y todos los incidentes capaces de producir lesiones, así como todos los accidentes con lesión.
- La seguridad fuera del trabajo es tan importante como la seguridad en el trabajo.
- Un buen nivel de seguridad es económicamente rentable.
- Las personas son el elemento clave para el éxito de un programa de Prevención de Riesgos Laborales.”

Asimismo, estos principios se complementan con los 12 elementos que el modelo DuPont considera necesarios, que según CGE (2008, página 3) son:

- “La dirección debe estar fuertemente comprometida y ser modélica en sus actuaciones.
- La seguridad debe estar integrada en toda la organización.
- Deben definirse responsabilidades en toda la línea organizativa.
- Es necesario que funcione una filosofía de seguridad.
- Los objetivos y las metas en seguridad deben ser agresivos.
- Se debe disponer de elevados estándares de actuación.
- Deben existir especialistas en seguridad de soporte.
- Motivación progresiva.
- Comunicación bidireccional efectiva.
- Formación continua.
- Investigación minuciosa de accidentes e incidentes.
- Auditorías, evaluaciones y análisis efectivos.”

4.6.5 Salud ocupacional y series de evaluación (OHSAS) 18001

El sistema de gestión OHSAS 18001 comprende una serie de especificaciones en materia de salud y seguridad en el trabajo, elaboradas en 1998 por British Standards Institution (BSI), que

es un organismo colaborador de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Este sistema de gestión nació a partir de la masiva aceptación de la ISO 9001 (gestión de calidad) y de ISO 14001 (gestión medioambiental). Actualmente, se encuentra en desarrollo la nueva norma ISO 45001:2018, que sustituirá al OHSAS 18001 en 2021.

En el Perú, la acreditación y certificación del sistema de gestión OHSAS 18001 puede ser llevada a cabo mediante empresas como SGS, Gitek, entre otras.

La norma OHSAS 18001 comparte principios con las normas ISO 9001 e ISO 14001, siendo estos, según ISOtools (2015, Página 5):

- “Compromiso de toda la organización.
- Cumplimiento de la normativa legal.
- Fundamento en la metodología de la mejora continua y el ciclo PDCA (Plan– Do– Check–Act), conformado por las siguientes etapas:
 - Plan (Planificar): Establecer los objetivos y procesos necesarios para obtener el resultado acorde a la política de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) de la organización.
 - Do (Hacer): Ejecutar el plan.
 - Check (Verificar): Efectuar un seguimiento y la medición de lo realizado, ver hasta qué punto y en qué medida ha conseguido la Dirección cumplir con su deber de garantizar la SST.
 - Act (Actuar): Llevar a cabo las acciones para la mejora del SGSST. Es la etapa que cierra el ciclo dando paso a uno nuevo y que supone la implantación real del concepto de la mejora continua.”

Finalmente, los requisitos para para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo OHSAS 18001, de acuerdo a ISOtools (2015, Página 9), se muestran a continuación:

- a) “Requisitos generales
- b) Política de SST
- c) Planificación
 - Identificación de peligros, evaluación y control de riesgos
 - Requisitos legales y otros requisitos

- Objetivos y Programas
- d) Implementación y operación
 - Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad
 - Competencia, formación y toma de conciencia
 - Comunicación, participación y consulta
 - Comunicación
 - Participación
- e) Verificación
 - Seguimiento y medición del desempeño
 - Evaluación del cumplimiento legal
 - Investigación de incidentes, no conformidades y acción correctiva y preventiva
 - Investigación de incidentes
 - No conformidades y acción correctiva y preventiva
 - Control de registros
 - Auditoría Interna
- f) Revisión por la Dirección”

En el contexto de esta investigación y en lo específico a sistemas de gestión, es recomendable que el Área de Geomecánica, elabore un Plan de Gestión de Control del Macizo rocoso (“Ground Control Management Plan”) tal como lo ha señalado (Susanibar y Murphy, 2016) : “ es una forma de hacer más sencillos los procesos de auditorías geomecánicas para todos los involucrados” , este plan de gestión de control del macizo rocoso es un “documento que recoge toda la información necesaria para controlar y entender adecuadamente el comportamiento del macizo rocoso” (Susanibar y Murphy, 2016)

PROPUESTA DE GUÍA GEOMECÁNICA COMO HERRAMIENTA PARA REDUCIR LA TASA DE ACCIDENTES FATALES EN LA MINERÍA SUBTERRÁNEA PERUANA

La necesidad de una guía de criterios geomecánicos, ha sido identificado en otros países mineros, como es el caso de Australia, el Consejo de Minerales de Australia (MCA) observó que era necesario una guía nacional geomecánica orientada a prevenir los accidentes fatales por caída de roca, como una herramienta para asistir al personal relevante, siendo el desarrollo de esta guía un punto prioritario. Es así como en el año 2003 publican “Industry Guidelines for Rockfall Risk Management” (ACG,2003) de manera conjunta con el Centro Australiano para Geomecánica, esta guía fue acompañada del Manual de Referencia “Management of Rockfall Risk in Underground Metalliferous Mines” (ACG, 2003)

De manera similar en el Perú, la Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (SNMPE) identificó esta situación y publicó el Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea (2004), sin embargo, a diferencia de la guía y el manual de referencia australiano que brinda recomendaciones específicas y puntuales, el manual publicado por la SNMPE ha sido enfocado en llamar la atención sobre los temas que deberían ser abordados por la operación minera de manera más general y básica.

Por otro lado, ciertos aspectos puntuales y específicos relacionados a la Geomecánica han sido incorporados progresivamente en los Reglamentos de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (DS N° 046-2001-EM, DS N° 055-2010-EM, DS N° 024-2016-EM). Ante esta situación, es necesario contar con una Guía específica en Geomecánica que complemente, especifique y de respaldo a lo estipulado por el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, de manera que pueda ser aplicado tanto por los operadores mineros y sirva de referencia al ente competente de la supervisión y fiscalización en temas de seguridad de la infraestructura, instalaciones y la gestión de operaciones en las actividades mineras (Osinergmin).

El autor de la presente investigación en base a la bibliografía estudiada y a la experiencia profesional presenta como resultado una propuesta del contenido esencial que debería contener una guía geomecánica para la realidad peruana y una breve descripción de los contenidos de cada capítulo, para ser incluidos en esta guía.

El contenido recomendado por el autor de la presente investigación es:

Cap. 1. Investigaciones geomecánicas de campo

Cap. 2. Caracterización y Clasificación del macizo rocoso.

Cap. 3. Modelo Geomecánico

Cap. 4. Planeamiento y diseño de mina

Cap. 5. Diseño geomecánico

Cap. 6. Voladura

Cap. 7. Desate de roca

Cap. 8. Sostenimiento de excavaciones

Cap. 9. Relleno de mina

Cap. 10. Instrumentación

Cap. 11. Formación y competencias

Siendo los puntos importantes que señalar por cada capítulo;

Cap.1. Investigaciones geomecánicas de campo.

El macizo rocoso es un material altamente complejo, es importante enfatizar que, al realizar un proyecto de exploración y perforar taladros, no solo se puede aprovechar los testigos de roca obtenidos para fines de cubicar el yacimiento, sino una vez que el proyecto es bancable, deben utilizarse los testigos para obtener información de la calidad de roca presente en el yacimiento. Una vez que se pueda acceder a excavaciones, se pueden realizar diferentes técnicas de mapeo geomecánico, con la finalidad de actualizar constantemente el modelo geomecánico de la mina.

Es de vital importancia que en la etapa de factibilidad se realicen dos tipos de investigaciones geomecánicas:

- a) Taladros orientados. Esto, con la finalidad de identificar claramente las familias de discontinuidades en la etapa de factibilidad y no tener vacíos de información durante la construcción de la mina.
- b) Ensayos de esfuerzos in situ. Estos ensayos deben realizarse idealmente en la etapa de factibilidad, antes de la construcción de la mina. Estos no han sido realizados por la gran mayoría de unidades mineras en el Perú, por lo que cualquier modelo numérico posterior, es de baja confiabilidad debido a la escasa información. La naturaleza de

estos de ensayos demanda como mínimo en 5 diferentes ubicaciones a diferentes profundidades y zonas de la mina, el tipo de ensayo que ha tenido mayor éxito internacionalmente es el ensayo overcoring, empleando la celda triaxial Hollow Inclusion Digital (H1D) desarrollado por CSIRO.

Cap.2. Caracterización y Clasificación del macizo rocoso.

Se debe identificar las propiedades de la roca intacta y además del macizo rocoso. Teniendo en cuenta que existen diferentes sistemas de clasificación (RMR, Q, GSI). La elección de que sistema de clasificación usar dependerá del uso que se les dará posteriormente a estos valores con fines de diseño. Por lo que se recomienda usar los sistemas RMR76, RMR89, Q, GSI, por la gran cantidad de autores que han desarrollado teorías de diseño que tienen como input estos sistemas. No siendo el caso del RMR14.

Cap.3. Modelo Geomecánico

Se basa en 4 modelos previos:

- Modelo geológico. La ubicación y extensión de las diferentes litologías del yacimiento.
- Modelo estructural. La importancia de las discontinuidades tanto a pequeña y gran escala es determinante para la estabilidad de las excavaciones.
- Modelo de macizo rocoso. Se debe conocer la resistencia de los diversos dominios geomecánicos.
- Modelo hidrogeológico. La presencia de agua y flujo de esta puede incidir en la estabilidad de las excavaciones.
- Modelo de esfuerzos. Se debe conocer la orientación y magnitud de los esfuerzos in situ, y como varían estos a medida que se va construyendo y operando la mina.

La suma de estos 4 modelos permite tener un modelo geomecánico para identificar el mecanismo de falla del macizo rocoso que podría ser por un tema estructural, por un tema de esfuerzos o por un tema de calidad de roca.

Cap.4. Planeamiento y diseño de mina

Si bien es cierto que el planeamiento y diseño de mina obedece a un criterio económico con la finalidad de obtener el mayor beneficio, debe evidenciarse que hay métodos de minado donde el personal está expuesto a un mayor riesgo durante la operación de la mina, que con otros métodos. Debe considerarse la importancia de la estabilidad global de la mina, para la integridad de los trabajadores, así como para asegurar la operación sin eventos catastróficos.

Cap5. Diseño geomecánico.

Se debe tener en cuenta que el utilizar los métodos empíricos permiten cálculos de manera rápida y están basados en experiencias previas, en cuanto a métodos numéricos, hay que tener en cuenta los diferentes códigos dos o tres dimensiones, sin considerar que para estos programas den resultados fiables, se debe contar con ensayos de esfuerzos in situ, además de una considerable cantidad de ensayos de laboratorio y mapeos geomecánico para poder representar el macizo rocoso adecuadamente.

Otro tema importante es la secuencia de explotación, pues a escala global, la estabilidad dependerá de la secuencia y de la ubicación y cantidad de pilares que se dejan, o pilares que se planean recuperar. Se debe justificar con una sólida ingeniería (modelos numéricos en tres dimensiones, ensayos de laboratorio de mecánica de rocas y una extensa caracterización geomecánica) la optimización (reducción de dimensiones) o recuperación de estos pilares.

Cap6. Voladura

Hay que tener en cuenta el efecto de la perforación y voladura en la estabilidad de las excavaciones, llevando un control de la precisión de la perforación, pues muchas veces la desviación de esta originará daños en la roca encajonante, así como no excederse en cuanto al factor de carga adecuado para diferentes tipos de roca, y un control en los retardos de los detonadores para evitar daños por vibraciones. Se debe implementar el monitoreo de vibraciones en campo cercano.

Cap7. Desate de roca

El desate de roca ha sido uno de los principales puntos influyentes en la cantidad de fatalidades, principalmente a partir de qué altura es necesario el uso de desatadores mecánicos, en la actualidad el DS N° 023-2017-EM, indica que para más de 4 metros de altura de la excavación se debe usar desatadores mecánicos. La experiencia en países líderes en control de caída de roca (Australia, y otros) señala una altura máxima de 3.5m para el desatado manual.

Para poder diseñar correctamente el sostenimiento necesario, se debe tener un modelo geomecánico previo de toda la mina. Existen diversos tipos de sostenimiento, siendo los más usados en el Perú: pernos, shotcrete, mallas, cuadros. Sin embargo, de acuerdo a la experiencia del autor, en el Perú se debe difundir el uso de cable bolting como sostenimiento, pues mucho de los colapsos en excavaciones de luces considerables o intersecciones, se han dado por no emplear un sostenimiento con la longitud necesaria.

Otro tema muy importante es el control de la calidad de la instalación del sostenimiento, para ellos es necesario tener un control adecuado de las brocas usadas en la perforación y el adecuado uso de pasta de cemento para el caso de los pernos cementados, así como pruebas de tenacidad (absorción de energía) y compresión simple para el shotcrete.

Cap. 8. Relleno de mina

El relleno de mina puede contribuir a reducir el tamaño de los depósitos de relaves en superficie, así como brindar estabilidad global a la mina; debe analizarse las características del relleno utilizado (porcentaje de cemento y la composición química del relleno para asegurar la resistencia a largo plazo) con la finalidad de facilitar una estabilidad global.

Cap. 9. Instrumentación.

Debe considerarse sobre todo para minas que utilicen métodos de minado tipo sublevel stoping y sus variantes, debido a que este método si bien es cierto es, por lo general, más rentable que otros (tipo corte y relleno), puede llegar a tener múltiples excavaciones de grandes dimensiones. Es adecuado instrumentar la operación con la finalidad de monitorear movimientos en la roca para poder prevenir y evacuar en caso de peligro.

Considerando que para las minas que cuenten con problemas de esfuerzos, es recomendable instalar un sistema de monitoreo micro-sísmico.

Cap. 10. Formación y competencias

En las universidades del Perú no existen facultades que dicten geomecánica, la gran mayoría de ingenieros que se desempeñan como ingenieros geomecánicos, provienen de las facultades de ingeniería de minas o geología, debiendo llevar cursos a nivel de diplomados o maestrías. Debido a la cantidad de competencias que debe cumplir el ingeniero geomecánico, es recomendable de manera referencial, los siguientes cargos, que podrían variar de acuerdo a la necesidad y tamaño de la operación minera:

- Ingeniero geomecánico junior
Nivel de responsabilidad: 1
- Asistente de geomecánica
Nivel de responsabilidad: 1
- Ingeniero geomecánico
Nivel de responsabilidad: 2
- Jefe de geomecánica
Nivel de responsabilidad: 3
- Ingeniero geomecánico senior
Nivel de responsabilidad: 4
- Superintendente de geomecánica
Nivel de responsabilidad: 5
- Geomecánico corporativo principal
Nivel de responsabilidad: 6

Si bien es cierto que cada vez la normativa señala más puntos a cumplir, se observa que las empresas mineras mantienen la misma cantidad de ingenieros geomecánicos que hace 10 años, lo que de acuerdo a la experiencia del autor, influye negativamente en la gestión geomecánica de la mina por no contar con la cantidad de personal suficiente. Además es necesario señalar, que cada año las minas peruanas continúan profundizándose, lo que conlleva a que los ingenieros que desempeñan funciones de ingeniero geomecánico, tengan una alta formación y especialización. Respecto a este

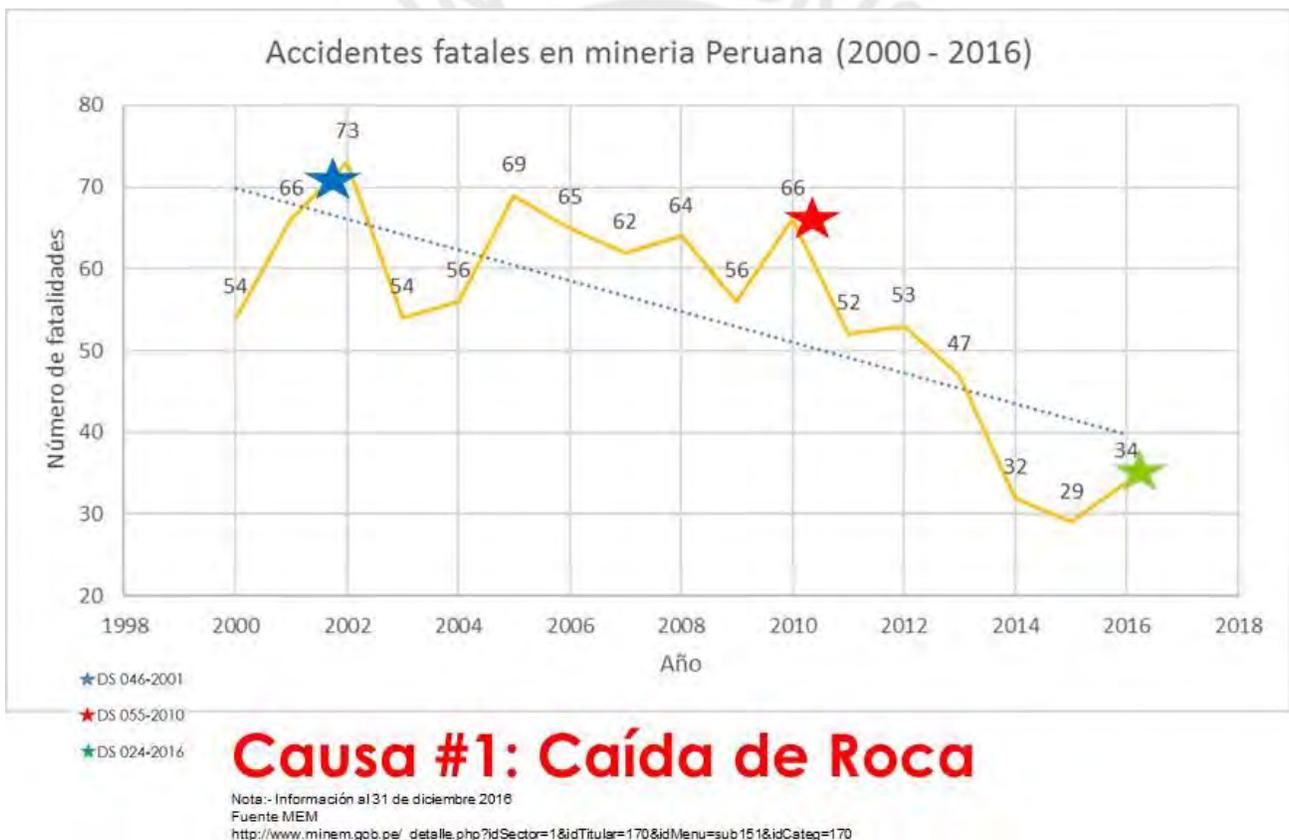
tema (Maritz y Wagner, 2018) han señalado una currícula mínima de cursos que los ingenieros (geólogos o mineros) deben haber cumplido (para estar hábiles) y poder desempeñarse como ingenieros geomecánicos.



CONCLUSIONES

Si bien es cierto que el número de accidentes fatales se ha ido reduciendo a través de los años (ver Figura 13. Accidentes fatales 2000-2016), ésta disminución se ha debido a varios factores (cantidad de minas en operación, nuevas tecnologías, precios de los minerales, horas hombres trabajadas, gestión en seguridad y marco normativo de seguridad), resaltando entre ellos la normativa en cuanto a temas de seguridad, específicamente a los Reglamentos de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Figura 14: Accidentes Fatales 2000-2016 y Reglamentos de seguridad y salud ocupacional en minería



Fuente: Elaboración propia, a partir de base de datos del MEM

Es necesario comprender que la caída de roca es un problema que tiene tres aspectos, según Samaniego (2016): Estándares de la empresa minera, capacitación del personal y normativa vigente.

Por otro lado, de acuerdo al Centro Australiano para Geomecánica (ACG, 2003), identifica dos puntos a considerar para prevenir los accidentes de caída de roca:

a) Controles Operacionales: Recolección de Información, Identificación y control de riesgos y monitoreo; b) Capacitación y Auditorías.

En este contexto Gobitz (2005) señala que “son múltiples factores que influyen en la caída de rocas: factores humanos, calidad del macizo rocoso, perforación y voladura, sostenimiento, método de minado y gestión”

Por lo que mi hipótesis apunta a validar la necesidad de una Guía geomecánica (que pueda ser usada como referente técnico por los operadores mineros, consultores y OSINERGMIN para sus supervisiones) como un factor importante en la reducción de los accidentes fatales de mecánica de roca.

De acuerdo con la Figura 5, se muestra la evolución de la tasa de accidentes fatales en Perú, Chile y Australia. Se evidencia que de estos tres países, que cuentan con una industria minera importante, el Perú tiene una tasa mayor de accidentes fatales, por lo que se ratifica la importancia de contar con una guía geomecánica para minería subterránea.

Una guía geomecánica propuesta permitirá estandarizar criterios técnicos para las partes interesadas de manera que desarrollen de manera segura sus operaciones en minería subterránea con la finalidad de reducir la tasa de accidentes fatales por caída de roca.

Como conclusiones de la presente investigación podemos mencionar que:

- Es necesario identificar los aspectos que no están siendo considerados en la normativa de seguridad minera, tomando como comparativos (benchmark) a países con tradición minera, líderes en seguridad y analizando los aspectos positivos que se puedan ir gradualmente incorporando a nuestra realidad peruana.
- Se debe enfatizar la regulación de la parte geomecánica, pues la caída de roca se mantiene como causa número 1 de accidentes fatales.

- Se han incorporado temas geomecánicos en los tres Reglamentos de Seguridad minera en el periodo 2000 – 2016, a pesar de estos cambios los accidentes fatales por caída de roca han sido 32% de los accidentes mortales en los últimos 15 años y se ha mantenido como la causa número 1 de accidentes fatales
- La regulación nunca es la respuesta completa y definitiva, una correcta regulación llevara a aquellas empresas rezagadas a cumplir con un mínimo legal y por otro lado debe alentar a las empresas líderes a ir más allá de la regulación vigente.
- Una mala regulación no disuade a las malas empresas e impide que buenas empresas tomen la iniciativa de mejorar en los temas relacionados con la Seguridad y salud en el trabajo.
- Existe una supervisión geomecánica por parte del ente regulador OSINERGMIN, sin embargo la supervisión principal debe ser por parte de la propia empresa. Se requiere un compromiso de la empresa desde el más alto nivel.
- La regulación peruana es altamente prescriptiva, se les dice a los operadores mineros lo que deben hacer en vez de los estándares de seguridad que deberían alcanzar al realizar la actividad.
- Una herramienta para la reducción de accidentes por caída de roca es una Guía de criterios geomecánicos, en la elaboración de esta guía se busca aportes de los operadores mineros, con miras a definir estándares mínimos, difundir el conocimiento y prácticas recomendadas relacionadas a Geomecánica para minería subterránea.
- El estudio geomecánico debe tener un contenido técnico mínimo, este estudio debe ser elaborado, con estándares técnicos mínimos para posteriormente ser analizado y aprobado por personal altamente especializado.
- Nunca va ser posible cubrir cada situación con una regulación prescriptiva, una regulación altamente prescriptiva tiende a sobrecargar de obligaciones, que son difíciles de implementar.
- Una regulación altamente prescriptiva tiende a incrementar costos de producción a ciertos operadores mineros.
- La geomecánica es una disciplina que requiere alta especialización, se debe establecer niveles de ingenieros geomecánicos en función a su experiencia y responsabilidad en la unidad minera.
- Se debe buscar un mayor involucramiento de las partes interesadas en temas de regulación-geomecánica.

REFERENCIAS

1. Australian Centre for Geomechanics (ACG/MCA), (2003). Industry guidelines for Rockfall risk management.
2. Australian Centre for Geomechanics (ACG/MCA), (2003) Management of Rockfall Risks in Underground Metalliferous Mines.
3. Avramov I, Velkov T, Garkov B. (2018) Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. Eurock 2018. St. Petersburg, Russia
4. Balwin R. , Cave M. Lodge M. (2012) The Oxford Handbook of regulation
5. Banco Mundial (2017). The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future.
6. Castro Vela, C. y Chenet Gutierrez, L. (2014). Tesis “Sistema De Gestión De Riesgos Ocupacionales “SISGRO” Para Operaciones De Perforación De Pozos Petroleros En Superficie”, para optar el título profesional de: Ingeniero de Higiene y Seguridad Industrial. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental.
7. Cliff, D. (2012) The Management of Occupational Health and Safety in the Australian Mining Industry” David Cliff – International Mining for Development Centre.
8. Congreso de la Republica del Perú (2014) Ley N° 29981 - Ley que crea la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL), Modifica La Ley 28806, Ley General de Inspección de Trabajo, y La Ley 27867, Ley Orgánica De Gobiernos Regionales”. Consulta: 30 de noviembre de 2017. <https://www.sunafil.gob.pe/images/docs/normatividad/LEY-29981-Creacion-SUNAFIL.pdf>
9. Congreso de la República del Perú (2007) “Ley N° 28964 - Ley Que Transfiere Competencias De Supervisión Y Fiscalización De Las Actividades Mineras Al Osinerg”. 29 de noviembre de 2017. <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/LEY-28964-CONCORDADO.pdf>
10. Congreso de la República del Perú (1996). “Ley N° 26734 - Ley del Organismo Supervisor de Inversión en Energía – OSINERG”. Consulta: 29 de noviembre de 2017. <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/pdf/Ley%20del%20OSINERG.pdf>
11. Consejo directivo organismo supervisor de la inversión en energía y minería (2013). “Reglamento De Supervisión Y Fiscalización De Las Actividades Energéticas Y Mineras”. Consulta: 30 de noviembre de 2017. <http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Resoluciones/ConsejoDirectivo/2013/OSINERGMIN%20No.171-2013-OS-CD.pdf>
12. Cook (2016) Defining Geomechanics - Schlumberger.
13. Cordova (2017). ¿Que controla la estabilidad de las excavaciones? Revista Seguridad Minera – ISEM. Julio 2017 – N° 136

14. Cordova (2018). III Seminario Peruano de Geingenieria. Lima, Perú
15. Dammert, A. (2016). Curso Economía Minera - PUCP.
16. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (2007) Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras
17. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (2007) Guía para la Evaluación de la Estabilidad de los Pilares Corona
18. DNV GL (2017) “Propósito, visión y valores”. Web de DNV GL. Consulta: 01 de diciembre de 2017. <https://www.dnvgl.es/about/in-brief/purpose-vision-values.html>
19. Dupont (2017) “Nuestra empresa”. Web de DuPont Perú. Consulta: 01 de diciembre de 2017. <http://www.dupont.com.pe/corporate-functions/nuestra-empresa.html>
20. Elorrieta, F., Carbajal, C, Pantaleon H. (2018). Diseño de Recuperación de pilares puentes en la mina inmaculada. III Seminario Peruano de Geingenieria. Lima, Perú
21. Gala F. (2016). Apuntes del curso Evaluación y Desarrollo de proyectos mineros – PUCP.
22. CGE, Confederación granadina de empresarios (2008). “Modelo Auditoria SG Seguridad y Salud Laboral”. Capítulo 6. Modelos Normalizados de Auditorias de Modelos Normalizados de Auditorias de Gestión de PRL. Procedimientos. Consulta: 01 de diciembre de 2017. http://www.cge.es/portalcge/novedades/2009/prl/pdf_auditoria/capitulo6_2.pdf
23. Gobitz, V. (2005) Taller de prevención de caída de rocas. ISEM
24. Government of Western Australia-Department of Industry and Resources. (1997) “Geotechnical Considerations in Underground Mines Guidelines
25. Ground Control Group (2000) Geotechnical Risk Assessment Guidelines for underground mining operations.
26. Guerra Rivas, F. (2017) Presentación “D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM”. Instituto De Ingenieros De Minas Del Perú.
27. Gunningham, N. (2007). Mine Safety: Law Regulation Policy.
28. Heinrich, H. (1931). Assessing definitions and concepts within the safety profession
29. Hoek, E. (1995) et al . Support of Underground Excavations in Hard Rock. Mining Research Directorate.
30. Isotools (2015). La OHSAS 18001. Una norma para la gestión de la seguridad y salud ocupacional”. Consulta: 01 de diciembre de 2017. <https://www.isotools.org/pdfs-pro/ebook-ohsas-18001-gestion-seguridad-salud-ocupacional.pdf>
31. Lunder, P. J. (1997). Determining the strength of hard rock mine pillars. Bulletin of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy.

32. LOM, Laboratorio Oficial J. M .Madariaga (2015), “Guía sobre control geotécnico en minería subterránea” , Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Madrid, España.
33. Martinez H. (2015), Visión de la Minería al 2021. Revista Rumbo Minero diciembre 2015
34. Mathews, K. H. (1980). Prediction of stable excavation spans for mining at depths below 1,000 meters in hard rock. Canada Centre for Mineral and Energy Technology.
35. Maritz. J, Wagner. H (2018) The need for formal rock engineering expertise in deep mining. Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. Eurock 2018. St. Petersburg, Russia
36. Mawdesley C., Trueman. R. (2001). Extending the Mathews stability graph for open stope design. Instn. Min.
37. Ministerio de Energía y Minas (2017). “Modificación de diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DS N°024-2017-EM, aprobado por DS N°023-2017-EM”.
38. Ministerio de Energía y Minas (2016). Reglamento en Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado mediante D.S. 024-2016-EM
39. Ministerio de Energía y Minas (2010). Reglamento en Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado mediante D.S. 055-2010-EM
40. Ministerio de Energía y Minas (2001) Reglamento en Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado mediante D.S. 046-2001-EM
41. Ministerio de Energía y Minas (2017) Estadística de Accidentes Mortales en el Sector Minero. Visto en línea 26 de Mayo de 2017
<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=170&idMenu=sub151&idCateg=170>
42. Ministerio de trabajo y promoción del empleo (2010) “Reglamento De Organización Y Funciones Del Ministerio De Trabajo Y Promoción Del Empleo”. Consulta: 01 de diciembre de 2017.
http://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/transparencia/ROF_2010.pdf
43. NOSA (2017) “About NOSA OHS”. Web de NOSA. Consulta: 01 de diciembre de 2017
<https://www.nosa.co.za/about/our-story/about-nosa/>
44. NOSA (2017) “Five Star Audits”. Web de NOSA. Consulta: 01 de diciembre de 2017.
<https://www.nosa.co.za/auditing/five-star-audits/>
45. NOSA (2017) “Revision and Restructuring of the NOSA Five-Star System Protocols”. Consulta: 01 de diciembre de 2017.
https://www.nosa.co.za/Page_pdf_downloads/Revision%20and%20restructuring%20of%20the%20NOSA%205%20star%20system%20protocols%20Low-Res.pdf
46. Osinergmin (2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas.

47. Perez J. (2007) Tesis "Sistema De Gestión En Seguridad Y Salud Ocupacional Aplicado A Empresas Contratistas En El Sector Económico Minero Metalúrgico", para optar el grado de maestro en ciencias con mención en Seguridad y Salud Minera. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad De Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica.
48. Potvin, Y. (1988). Empirical open stope design in Canada. The University of British Columbia.
49. Safe Work Australia (2011) Code of Practice: Ground Control for Underground Mines
50. Samaniego A. (2016). Entrevista a Ing. Antonio Samaniego Alcántara (SRK)
51. Samaniego A., Gongora G., Vergara V. (2018) Diseño geomecánico de la mina San Gregorio. III Seminario Peruano de Geoingeniería. Lima, Perú
52. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004) Manual de Geomecánica aplicada a la prevención por caída de Rocas en minería subterránea.
53. Susanibar, J., Murphy, P. (2016) Control Geotécnico del Terreno y Fiscalización Geotécnica. III Seminario Peruano de Geoingeniería. Lima, Perú

