

Boletín Informativo de la  
**Gerencia de Supervisión Minera**

Enero - marzo 2021



# Índice

Presentación .....	3
<b>Gerencia de Supervisión Minera</b> .....	4
Situación del sector minero en comparación con la demanda eléctrica .....	4
Novedades .....	4
<b>Panorama Minero</b> .....	5
Angloamerican empezará en abril el preminado en el proyecto Quellaveco .....	5
Perú se mantuvo como octavo productor de oro en el mundo y segundo de plata.....	5
Las Bambas retoma estudios para definir la ruta que seguirá su proyecto de mineroducto .....	5
Plan de Newmont para Yanacocha Sulfuros.....	6
Cartera de Proyectos de Exploración Minera concentra inversiones por más de US\$ 500 millones.....	6
<b>Geomecánica</b> .....	7
Criterios geomecánicos en el desarrollo de un proyecto minero.....	7
Resultados de la Supervisión.....	8
<b>Geotecnia</b> .....	8
Resultados de supervisiones con drones y penetrómetros en el año 2020.....	8
Resultados de la Supervisión.....	9
<b>Ventilación</b> .....	10
Refrigeración por compresor de aire hidráulico.....	10
Resultados de la Supervisión.....	12
<b>Plantas de beneficio</b> .....	12
Utilización del cianuro en plantas de beneficio.....	12
Resultados de la Supervisión.....	14
<b>Transporte, maquinarias e instalaciones auxiliares</b> .....	14
Sistema de protección contra tormentas eléctricas .....	14
Resultados de la Supervisión.....	16
<b>Artículo técnico:</b>	
Estallido de rocas .....	17
<b>Estadísticas de accidentes mortales</b> .....	19

## Presentación

El Estado de emergencia de nuestro país debido a la pandemia por la enfermedad de coronavirus, fue decretado el domingo 15 de marzo de 2020, seguido de una cuarentena que inició el día lunes 16 de marzo del 2020.

La explotación y exploración minera no es ajena a la crisis mundial, pues ha afectado actividades conexas como el comercio y la construcción. Pese a ello, la Gerencia de Supervisión Minera afirma su compromiso del cumplimiento dentro de nuestras competencias.

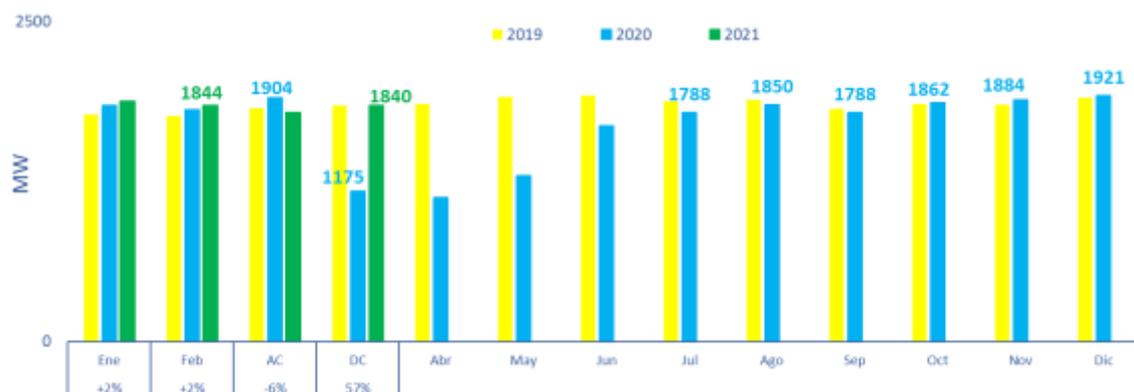
Con la periodicidad trimestral, el boletín informativo enero-marzo 2021 muestra información acerca de las cinco especialidades, esto sumado al panorama minero, estadísticas de accidente mortal y un artículo técnico de la especialidad de Geomecánica.

**Rolando Ardiles Velasco**  
**Gerente de Supervisión Minera (e)**

# Gerencia de Supervisión Minera

## Situación del sector minero en comparación con la demanda eléctrica

La GSM empleando fuentes secundarias viene haciendo el seguimiento de 34 unidades mineras a nivel nacional de la gran y mediana minería. A partir de la información eléctrica de la demanda registrada en el COES y la DSE se ha elaborado una presentación donde da cuenta de la evolución de la demanda de energía eléctrica en minería.



Mes	2019	2020	2021*	Δ 20/ 19	Δ 21/ 20
Ene	1771	1845	1876	+4%	+2%
Feb	1761	1811	1878	+3%	+4%
AC	1821	1904	1788	+5%	-6%
27/03	1842	1175	1840	-36%	+57%

\*Al 27 de marzo, promedio  
 AC: Antes de inicio de cuarentena (←15/03)  
 DC: Después de inicio de cuarentena (15/03→)

Fuente: COES (27 03 2021) Portal de Indicadores.

## Novedades

El miércoles 24 se asistió al evento “Cierre de Minas” organizado por la Cámara de Comercio de Alemania; el objetivo del evento fue compartir las experiencias de Alemania en el proceso de cierre de minas que puedan ser replicadas en Perú.

Participaron del evento la DGM, Activos Mineros, MINAM, Cooperación Técnica Internacional en Cierre de Minas de Alemania. Dentro de los aspectos destacables tenemos:

- El cierre de minas es un proceso cuidadoso y sostenible a través del tiempo.
- Se debe considerar al cierre y post cierre parte del ciclo de explotación de una mina.
- Cerrar adecuadamente una mina, constituye la licencia social para continuar con proyectos mineros posteriores.
- Los aspectos fundamentales para el cierre de minas son: tratamiento de los relaves, impactos ambientales, monitoreo permanente, impermeabilización, uso de tecnologías de punta.
- Presentación de tecnologías alemanas para el cierre de minas.

Fuente: Osinergmin

# Panorama Minero

## Angloamerican empezará en abril el preminado en el proyecto Quellaveco

Con pie a empezar la producción en el año 2022, en abril comenzarán con el preminado con el apoyo de dos palas y dos camiones grandes y que continúan incorporando tecnología y procesos de cuidado para la totalidad de sus trabajadores, que hoy en día rodea las 11 mil personas, aunque la cifra varía dependiendo de los trabajos realizados. En este último tramo, la minera desembolsará US\$ 1 400 millones para este proyecto de cobre.

Los concentrados que producirá la mina Quellaveco (Moquegua) contarán con niveles de arsénico excepcionalmente bajos, 45 veces más limpios que el promedio peruano, lo que facilita el proceso de fundición, afirmó Bryce Mancell, superintendente de Minería y Energía de Anglo American Perú.

## Perú se mantuvo como octavo productor de oro en el mundo y segundo de plata

De acuerdo con información del Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica (USGS), en el 2020 el Perú se mantuvo en el octavo lugar en el ranking de los mayores productores de oro del mundo con 120 toneladas y segundo de plata con 3 400 toneladas.

En el caso del metal aurífero, el primer lugar lo ocupa China, seguido de Australia, Rusia, EE.UU., Canadá, Ghana e Indonesia. Según las cifras preliminares del USGS, el Perú produjo en 2020 ocho toneladas menos que el año anterior cuando alcanzó las 128 t.

Con relación a la plata, la mayor extracción corresponde a México, segundo Perú, luego vienen China, Rusia, Polonia, Australia y Chile, Bolivia, Argentina y EE.UU. En el ámbito mundial también se registró una contracción de 6% por los cierres temporales de minas en China, México y Perú en respuesta a la pandemia. Del mismo modo, nueve de los diez principales países productores de plata experimentaron una disminución de sus resultados, mientras que EE.UU. reportó un aumento de 2%.

## Las Bambas retoma estudios para definir la ruta que seguirá su proyecto de mineroducto

La empresa minera Las Bambas retomó los estudios para el proyecto del mineroducto (en Apurímac), evaluación que se había suspendido debido a las medidas de aislamiento social para prevenir contagios de covid-19, según fuentes de la empresa. Señalaron que tales estudios comprenden los trabajos de campo para definir la mejor ruta que podría seguir el futuro ducto que transporte los minerales que produce mina Las Bambas (cobre y molibdeno) para facilitar su embarque.



Corredor minero. Foto: MMG

Asimismo, Álvaro Ossio, Gerente General, Comercial, Financiero y Soporte Comercial de MMG Las Bambas, señaló que se tiene previsto una inversión adicional de más de US\$ 2 mil millones para los próximos 5 años en Las Bambas. Este monto servirá para la construcción de un tercer molino de bolas -que se está desarrollando- la infraestructura, estaciones de combustibles, campamentos y sistemas de chancadoras y transportadores adicionales.

## Plan de Newmont para Yanacocha Sulfuros

Yanacocha Sulfuros no será el fin de Yanacocha en Cajamarca, al menos así lo esperan en Newmont, su mayor accionista, que reveló en unos documentos presentados a inversionistas que este proyecto que ronda los US\$ 2 000 millones de inversión, y que espera la aprobación de su directorio, será solo la primera fase de un total de tres. Según Newmont, con la inversión en la primera fase de Yanacocha Sulfuros podrán extender la vida útil y comercial del yacimiento hasta 2040; pero la posibilidad de ejecutar una segunda y hasta una tercera fase, para ampliar la vida de Yanacocha más allá de la fecha señalada, es potencialmente realista.

La primera fase se enfoca en el desarrollo de los depósitos Yanacocha Verde y Chaquicocha "para extender las operaciones de Yanacocha más allá de 2040 con la segunda y tercera fases que tienen el potencial de extender la vida por varias décadas. Sobre la tecnología Raúl Farfán, director ejecutivo de Relaciones Externas de Minera Yanacocha, dijo que introducirán procesos diferentes, esta vez mediante la flotación y autoclave de manera que acelerar el proceso de oxidación de todo el material sulfurado con alto contenido de azufre.



Yanacocha Foto: Norte Minero

## Cartera de Proyectos de Exploración Minera concentra inversiones por más de US\$ 500 millones

El Ministerio de Energía y Minas (Minem) presentó la Cartera de Proyectos de Exploración Minera 2021, la cual concentra un total de 60 proyectos que representan una inversión conjunta de US\$ 506 millones, ubicada en 16 regiones del país: 32 de los 60 proyectos listados se encuentran en ejecución o por iniciar esa etapa al contar con todos los permisos requeridos y representan una inversión de US\$ 210 millones (41,5% del monto de la cartera).

Un grupo de 21 proyectos, que suma una inversión de US\$ 136 millones (26,9% del total), se encuentra en la etapa de evaluación de la autorización de exploración; mientras que los siete proyectos restantes están en el proceso de evaluación de su Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) y concentran una inversión de US\$ 160 millones (31,6%).

Considerando el mineral a explotar: los proyectos de oro son el 35,1% de la inversión global de la cartera: US\$ 178 millones, situando al metal dorado en el primer lugar con un total de 24 proyectos. Le sigue el cobre con 17 proyectos por una inversión de US\$ 155 millones (30,7% del total); y la plata con nueve proyectos por una inversión de US\$ 101 millones (20,1%).

El ministro de Energía y Minas, Jaime Gálvez Delgado, resaltó que la exploración es crucial para el desarrollo de la actividad minera y que por ello se ha actualizado la cartera buscando tener un panorama claro sobre las inversiones en dicho rubro. "Además, a estos proyectos se les puede añadir otro grupo que se encuentra en nuestra cartera de construcción de mina por US\$ 134 millones que continuarán con sus labores de exploración, lo que nos da un total de US\$ 640 millones en exploraciones para los próximos dos años", destacó.

# Geomecánica

## Criterios geomecánicos

Los propietarios y la alta dirección de una mina subterránea esperan que el sistema de explotación a ser utilizado reúna y cumpla con las necesidades esenciales de seguridad, recuperación de mineral, retorno de capital, medio ambiente y responsabilidad social. Por ello, los criterios geomecánicos que se adopten para el desarrollo de una explotación subterránea cumplirán un papel importante, y sus necesidades deben reflejarse en la política corporativa. Es decir, antes de la aceptación de un diseño de explotación, estas deben estar alineadas con los criterios geomecánicos específicos de diseño, operación y cierre.

Los criterios geomecánicos a tomar en cuenta en el desarrollo de un proyecto minero son los que mencionan a continuación:

- **Criterios geomecánicos para el diseño:** Uso de la excavación minera, factor de seguridad y/o probabilidad de falla, área de influencia y normas técnicas aplicables.
- **Criterios geomecánicos durante la construcción y operación:** Estándares constructivos, especificaciones técnicas, técnicas de construcción y explotación, mapeo, instrumentación y monitoreo.
- **Criterios geomecánicos para el cierre de minas:** Durabilidad, monitoreo y mantenimiento.

## Criterios de aceptación

### 1) Factor de seguridad

El enfoque clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería es considera la relación entre la resistencia o soporte a la carga del sistema y la demanda o carga calculada actuando sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística de la relación entre las fuerzas resistentes (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda).

El factor de seguridad de una estructura se define como:

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

C = Capacidad de soporte de carga

D = Fuerzas actuantes

Plazo	Rangos de FS
Estabilidad a largo plazo (LP)	>1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3-1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1-1.3

se considera: CP<3 meses, 3 meses<MP<1año y LP>1 año

*FS recomendados según plazo de estabilidad (Guía de criterios geomecánicos, 2017)*

El grado de confiabilidad de la función de capacidad (C) depende de la variabilidad de los parámetros de la resistencia al corte de la masa rocosa, prueba de errores, procedimientos mineros, procedimientos de inspección, etc. Similarmente la función de demanda (D) incluye factores de fuerza de carga gravitacional de la masa rocosa, aceleración sísmica, esfuerzos circundantes y ubicación del nivel freático.

## 2) Probabilidad de falla

El concepto de probabilidad de falla se emplea tomando en cuenta la variabilidad de las características de resistencia del macizo rocosos por tratarse de un material heterogéneo, no lineal y no elástico, son difíciles de ser representado por un único valor y por tanto el criterio de aceptación obtenido de un factor de seguridad tiene implícito un riesgo e incertidumbre y puede conducir a recomendaciones incorrectas.



Fuente: Osinergmin

La probabilidad de falla es una aproximación mayormente utilizada para dar una evaluación más racional del riesgo asociado a un diseño particular. Esto involucra una serie de cálculos en el que cada parámetro significativo varía sistemáticamente sobre su rango máximo creíble para determinar su influencia sobre el factor de seguridad. Asimismo, el valor promedio del FS no es un buen indicador de la probabilidad de falla. La probabilidad de falla es una función, no solo de promedios, sino también de variabilidad de los datos de entrada.

Hay dos opciones de uso de la probabilidad de falla PF

- La opción 1 reconoce al FS como una variable al azar y busca la probabilidad de ser igual o menor que 1.

$$PF = P(FS) \leq 1$$

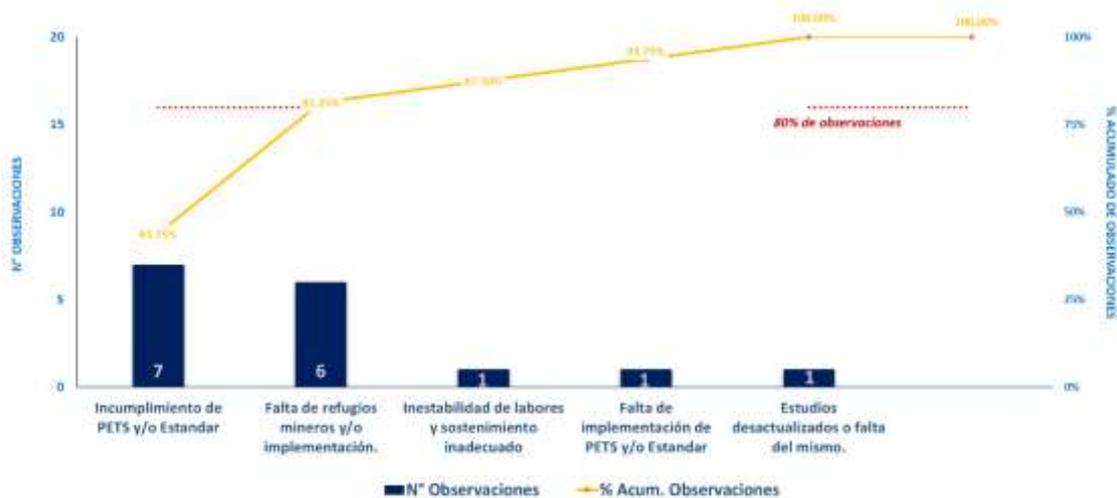
- La opción 2 busca la probabilidad que la demanda (D) exceda la capacidad (C):

$$PF = P(C - D) \leq 0$$

La primera opción a menudo es la más usada

### Resultados de la supervisión

Hasta el mes de marzo del año 2021, no se tiene eventos (accidentes mortales) en la especialidad de geomecánica. Por otro lado, en las supervisiones ejecutadas se detectó las siguientes observaciones:



# Geotecnia

## Resultados de supervisiones con drones y penetrómetros en el año 2020

### 1. OBJETIVOS DE LAS SUPERVISIONES CON DRON

El objetivo de las supervisiones con dron es incorporar tecnologías de punta en las actividades de supervisión de la GSM, con el fin de obtener imágenes de mejor resolución de los componentes supervisados, planos topográficos actualizados y videos que permitan observar áreas a las que no pueden acceder los supervisores por ser inseguras (por ejemplo, las colas de los depósitos de relave, etc.)

Para los trabajos de fotogrametría, se realizaron vuelos con Drones Marca DJI modelo Phantom 4 RTK.

### 2. OBJETIVOS DE LAS SUPERVISIONES CON PENETROMETRO

El objetivo de las supervisiones con penetrómetro es verificar insitu el grado de compactación de los depósitos de relaves cuya construcción sea con material de relave grueso, dado que anteriormente para el control de compactación el titular ha utilizado ensayos a juicio experto, sin considerar el espesor de la capa depositado o la variabilidad de los relaves, pudiendo generarse zonas débiles al interior del dique. Una vez obtenido los valores de resistencia del terreno estos son comparados con una banda de rangos de compactación de acuerdo al tipo de material y verificar que el dique de relaves se mantiene o no dentro de dichos márgenes.



Fuente: Osinergmin

**Los trabajos de supervisión con penetrómetro, se realizaron con un Penetrómetro Dinámico Ligero de Energía Variable modelo Panda<sup>®</sup>, y el empleo del software GeoSprint © V 1.1.5.**

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

El empleo de drones para el acompañamiento de supervisiones operativas para depósitos de relave, ha permitido la obtención de planos topográficos y curvas de nivel de mayor resolución de los componentes supervisados, y que ayudan a la verificación de coordenadas y cotas. Asimismo, los videos obtenidos muestran un mayor detalle de las condiciones del espejo de agua y cola de los depósitos de relaves, a los cuales no se tiene acceso desde el dique o con tomas de una cámara fotográfica convencional.

Además, en esta etapa no se han identificado en los vuelos con dron componentes que no han sido autorizados por la DGM

En el caso del uso de penetrómetro para supervisiones a depósitos de relaves cuyos diques fueron construidos con relave grueso compactado, los ensayos y análisis realizados de los diques de relaves evaluados, se obtuvo que la totalidad de las auscultaciones realizadas en el Depósito de Relaves Puquiococha no presentaron ningún tipo de anomalía, asimismo, tuvieron un grado de compactación aceptable, cumpliendo con los objetivos de compactación bajo los cuales fue construido

## Resultados de la supervisión

En el primer trimestre del año 2021, no se tienen accidentes mortales producidos en la especialidad de geotecnia. Por otro lado, en las supervisiones ejecutadas se detectó las siguientes observaciones:



## Ventilación

### Refrigeración por compresor de aire hidráulico

#### PROBLEMA

El entorno minero ultraprofundo (menos de 2,5 km) es de creciente importancia para el sector minero moderno, pero presenta desafíos mineros claves. Uno de ellos es mantener un ambiente de trabajo aceptable mientras la temperatura del aire a estas profundidades, que puede ser superior a 40 ° C, antes de ingresar a las áreas mineras.

#### ANTECEDENTES

Los compresores de aire hidráulicos (HAC<sup>1</sup> en adelante) son una idea casi antigua desde el punto de vista tecnológico, y se utilizan en las minas hace más de 100 años.

Los sistemas de aire comprimido se utilizaron principalmente como un medio de generación de energía en minas que no podían conectarse fácilmente a la red eléctrica existente, como el sistema Ragged Chutes HAC que alimentaba las minas de plata en las zonas rurales de Ontario, Canadá, hace más de un siglo. Ese sistema permaneció operativo durante 70 años y solo detuvo las operaciones dos veces para reparaciones en ese tiempo.

El alto costo del aire comprimido como recurso significó que la proliferación de sistemas eléctricos y mecánicos en la segunda mitad del siglo XX resultó en que el aire comprimido se convirtiera en un recurso inviable para los mineros.

<sup>1</sup> Siglas en inglés "Hydraulic Air Compressed"

## LA SOLUCIÓN

Si se puede aprovechar un recurso hidroeléctrico natural, se podría producir aire comprimido a un costo marginal casi nulo.

Ahora, un HAC moderno diseñado por Electrale Innovation a cargo de Dean Miller ha modificado la tecnología de compresión de aire existente para proporcionar enfriamiento a las minas subterráneas. Una demostración del HAC está en funcionamiento en Sudbury, Ontario, y ha recibido financiación del gobierno canadiense, así como el apoyo de los innovadores mineros MIRARCO.

Los desarrolladores del proyecto creen que, si se puede aprovechar un recurso hidroeléctrico natural, se podría producir aire comprimido a un costo marginal casi nulo. El uso de agua enfría el aire comprimido sin la necesidad de fuentes de energía externas, y la esperanza es que el aire refrigerado pueda usarse como un medio de bajo costo para enfriar y deshumidificar minas ultraprofundas.

## FUNCIONAMIENTO

A diferencia de los sistemas pasados en este nuevo sistema no hay presencia de un río. En cambio, una bomba de circulación impulsa el agua a una distancia corta hasta un tanque colector y comprime el aire a medida que cae hacia abajo. La presión del aire producido depende de la profundidad del eje. El aire comprimido y el agua se separan en un cilindro en la parte inferior del eje para que el aire se extraiga a través de una tubería y se envíe para el servicio. El agua vuelve a ascender a las bombas de superficie, lo que cierra el circuito y todo el proceso comienza de nuevo.

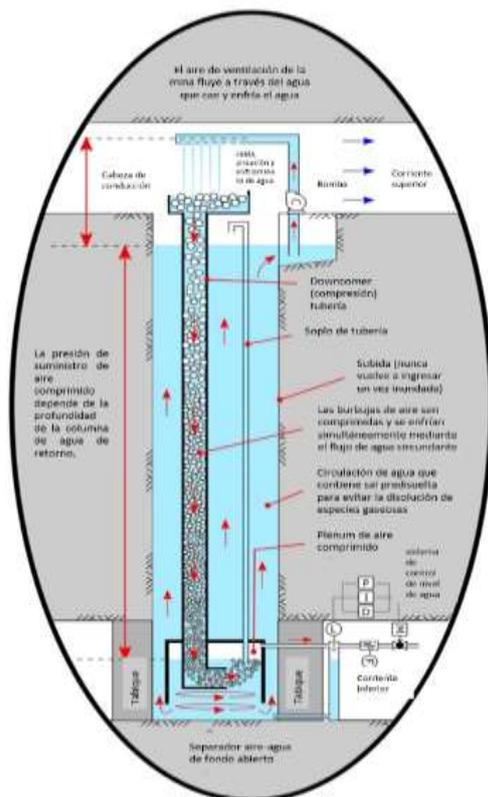


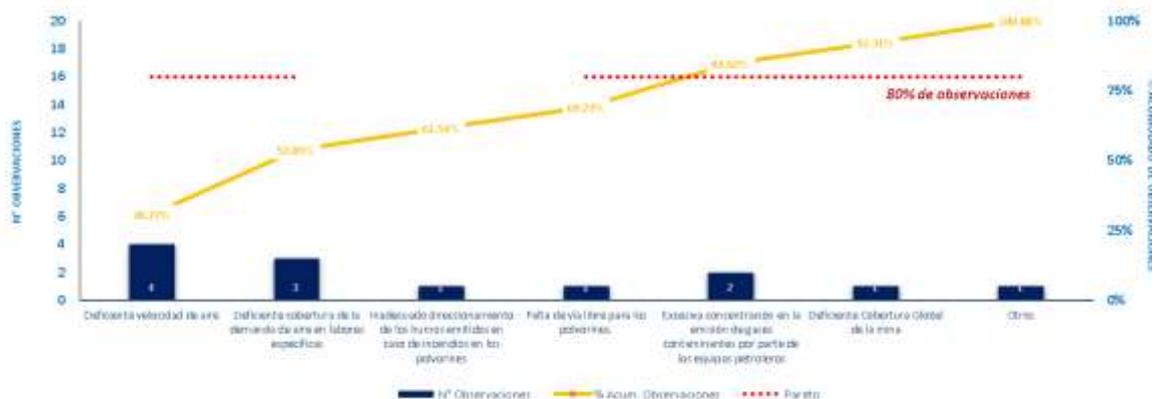
Diagrama de proceso de generación de aire comprimido mediante HAC. Fuente: IESO



Demostración HAC instalado en un antiguo hueco de ascensor en Dynamic Earth de Science North en Sudbury-Canadá. Fuente: CEMI

## Resultados de la supervisión

Como resultado de las supervisiones, se muestra a continuación el gráfico de frecuencia de observaciones al RSSOM detectadas:



## Plantas de Beneficio

### Utilización del cianuro en planta de beneficio

En metalurgia, el cianuro se utiliza principalmente para la recuperación de metales preciosos como el oro y también en la separación de los sulfuros en procesos de flotación de minerales polimetálicos. La disolución de los metales preciosos por acción del cianuro pasa posteriormente por la recuperación del metal por el proceso del Merrill Crowe o carbón activado.

Una característica es su reacción violenta con el agua o cualquier ácido, desprendiendo gas cianuro de hidrogeno (HCN), un veneno muy tóxico y que puede ser mortal si no se previenen sus riesgos. Asimismo, el gas de cianuro es inflamable y por ello, debe estar prohibido generar fuego abierto en las áreas donde se manipula o almacena el cianuro

Es un insumo de alto riesgo cuyo contacto puede producirse a través de la inhalación y por absorción a través de la piel. Tanto OSHA, NIOSH y el RSSO han establecido que el límite máximos de exposición al cianuro debe ser de 5.0 mg/m3, y para el ácido cianhídrico de 4.7 ppm.

### Proceso en los que se emplea el cianuro

En la metalurgia del oro y la plata, hay dos procesos ampliamente utilizados, denominados lixiviación por agitación y lixiviación en pilas.

En la cianuración por agitación, se emplean tanques en el que la pulpa de mineral con la solución de cianuro de sodio con pH mayor a 10.5, se agita para facilitar la disolución del oro. Se requiere que la molienda sea la adecuada para que las partículas de oro entren en contacto con la solución de cianuro.

En el proceso de lixiviación en pilas, que se realiza a cielo abierto, la solución cianurada, con un pH mayor a 10.5, percola a través de las capas o rumas de mineral y entra en contacto con las partículas libres de oro, las cuales se disuelven.

## Condiciones de Seguridad

Conforme el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería (RSSO), el cianuro es considerado un material peligroso; y por ello señala que debe almacenarse en lugares especiales de acuerdo a las normas nacionales e internacionales. Entre otras disposiciones indica que:

- El manipuleo y/o preparación debe realizarse en áreas bien ventiladas.
- No deberá apilarse más de tres cilindros o contenedores en posición vertical.
- Sólo ingresan al almacén el personal autorizado.
- Los pozos de soluciones de cianuro deberán estar cercadas.
- Los residuos se deben disponer en lugares impermeabilizados con geosintéticos.
- En el cierre, los residuos de cianuro deben encapsularse y recubrirse.
- Su almacenaje debe ser solo y embalaje bien cerrados en áreas secas y bien ventiladas.



Vista del área de preparación de cianuro.  
Revista ISEM 2017-Mina Aruntani

Adicionalmente, los titulares mineros deben acatar lo establecido en el Reglamento de la ley que regula la comercialización y uso del cianuro, D.S. N° 045-2013-EM, norma que señala la necesidad de contar con un Plan de preparación y respuesta para emergencias en el uso del cianuro; asimismo, que los pisos de las áreas de preparación y almacenaje deberán ser de concreto armado.

Una medida preventiva, es contar con equipo de comunicaciones para informar cualquier emergencia. Adicionalmente, contar con un detector de gas de ácido cianhídrico. En caso la alarma se active a 4.5 partes por millón (ppm) de HCN, retirarse del área, evaluar la causa y volver sólo si no se detectan niveles de gas cianhídrico por encima del punto de activación de la alarma.

## Hechos constatados referenciales durante la supervisión-I Trimestre:



El cianuro de sodio no cuenta con almacén propio, en U. Casapalca, se encuentra almacenado dentro de la sala de preparación de reactivos, en un área reducida, en cilindros de 50 Kg, apilado hasta cuatro (04) unidades. Osinergmin



La cal se encuentra almacenada en un depósito con charcos de agua al ingreso del depósito, así como por goteras del techo con agujeros, generando condición de riesgo, U. La Arena. Fuente: Osinergmin



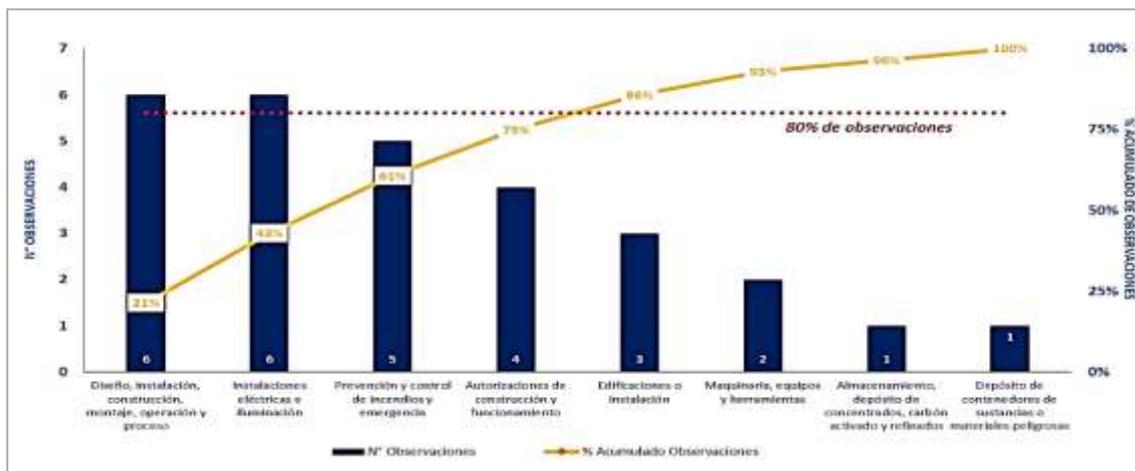
Ganchos del puente grúa N° 4 del depósito de concentrados de Matarani de TISUR, no cuenta con los puntos de control para deformación. Fuente: Osinergmin



Medición de puesta a tierra de SE. N° 2 en San Valentín, que sobrepasa el nivel de resistencia máximo que debe tener la puesta a tierra. Fuente: Osinergmin

## Resultados de la Supervisión

En el primer trimestre, las estadísticas de la especialidad de Planta de Beneficio han considerado a las concesiones de la Gran y de la Mediana minería, incluyendo los depósitos de concentrados. Del control estadístico, se deduce que los incumplimientos se enfocan más en los aspectos de Instalaciones y operación de planta y el aspecto de instalaciones eléctricas.



## Transporte, maquinaria e instalaciones auxiliares

### Estructuras de protección en equipos móviles

Durante la operación de equipos móviles tanto en interior mina como en superficie, el operador está expuesto a riesgos tanto de caída de objetos como de volcadura, razón por la cual para mejorar la seguridad del operador y garantizar su integridad física, los equipos deben contar con un sistema de protección comprendido por estructuras tales como barras internas y externas.

Los implementos más usados como estructuras de protección, son las jaulas ROPS y FOPS, instalados alrededor de la cabina.

### Jaulas ROPS (Roll Over Protection System)

Es una estructura de protección contra vuelcos destinada a proteger a los operadores de equipos, de daños y lesiones en caso los vehículos se volteen por exceso de peso o manipulaciones de riesgo.

Incluye barras fijadas al bastidor que mantienen un espacio para el cuerpo del operador en caso de vuelco, dándole más resistencia a la estructura, previniendo así que, durante el vuelco del equipo, este se hunda, aprisionando al operador.



*Cargador frontal cuya cabina cuenta con sistema de protección contra vuelco (ROPS) de fábrica. Fuente: Osinergmin*

Asimismo, el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional indica que: *“Se instalará sistemas de protección contra vuelcos en: tractores y cargadores frontales de orugas, motoniveladoras, cargadores y tractores de llantas: Su instalación debe hacerse de conformidad con las recomendaciones del fabricante”*.

### **Norma técnica para estructuras de protección contra el vuelco (ISO 3471)**

Esta Norma Internacional especifica los requisitos de rendimiento para las estructuras metálicas de protección en caso de vuelco (ROPS), para maquinaria utilizada en movimiento de tierras, y evaluar el cumplimiento de estos requisitos mediante pruebas de laboratorio, y utilizarse para proporcionar orientación a los fabricantes de estructuras de protección en caso de vuelco.

Los requisitos son la resistencia a la fuerza en las direcciones lateral, vertical y longitudinal, y la absorción de energía en la dirección lateral.

### **Jaula FOPS (Fallen Objects Protection System)**

Es una estructura de protección, frente a la caída o desprendimiento de objetos durante la realización de trabajos mineros o de construcción, la estructura puede ser de tipo armazón, rejilla o integrado al techo de la cabina.

Asimismo, el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional indica que: *“La maquinaria de bajo perfil para la remoción del material derribado debe tener protector guarda cabezas sólido y ser resistente a las posibles caídas de roca”*



*Equipo scooptram con protector guarda cabezas sólido ante la posible caída de rocas*

*Fuente: Osinergmin*

### Norma técnica para estructuras de protección frente a la caída de objetos (ISO 3449)

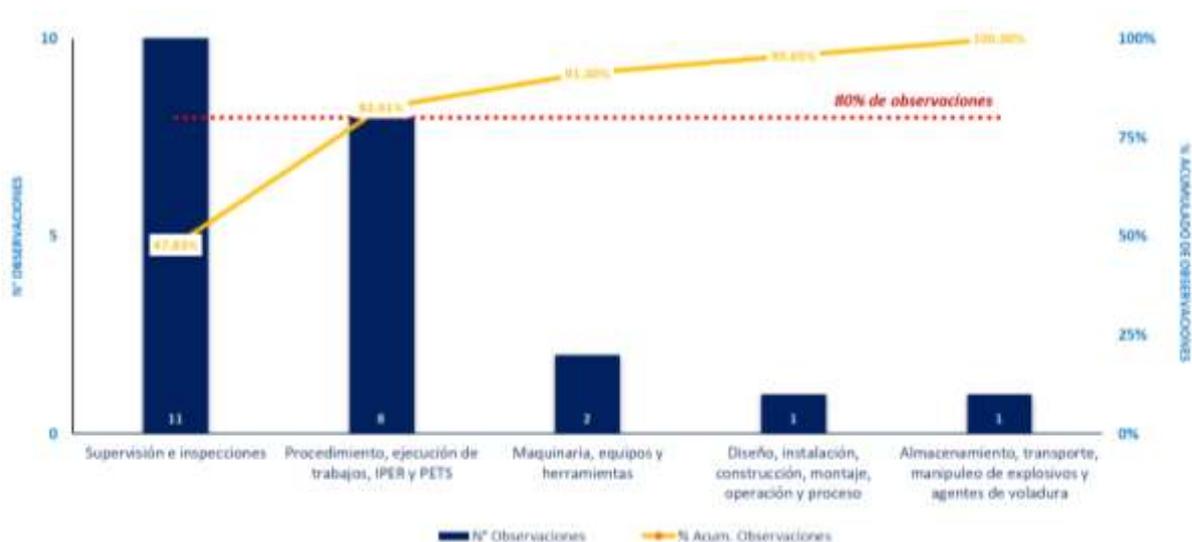
Esta Norma Internacional detalla las pruebas de laboratorio para medir las características estructurales y las exigencias de comportamiento durante una prueba representativa de las estructuras de protección contra caída de objetos (FOPS). El procedimiento de prueba generalmente es destructivo para la estructura FOPS, ya que se producirá una deformación en la estructura, debido a la prueba para evaluar la capacidad de la cabina o estructura para resistir el impacto de un objeto que cae.

Se especifican dos niveles de criterios de rendimiento para la protección contra impactos, según el uso final de la máquina.

- a) **Nivel I:** protección contra el impacto de un objeto de prueba redondo que se deja caer desde una altura suficiente para desarrollar una energía de 1365 J.
- b) **Nivel II:** protección contra el impacto de un objeto de prueba cilíndrico que se deja caer desde una altura suficiente para desarrollar una energía de 11600 J.

### Resultados de la Supervisión

A marzo del año 2021 en la especialidad de transporte, maquinaria e instalaciones auxiliares, de la evaluación de las visitas de supervisión se muestra la frecuencia de infracciones detectadas al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería:



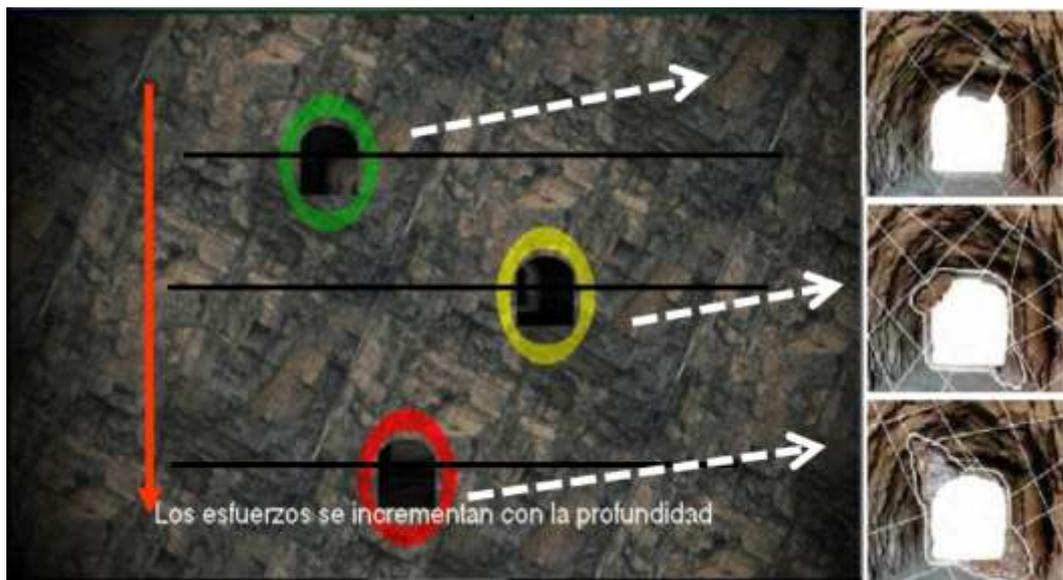
# Artículo Técnico

## Estallido de roca (ROCKBURST)

Ing. Julio Cesar López Caimanque

La minería a nivel mundial tiende cada vez más a una minería profunda, hoy en día resulta un acontecimiento normal encontrar unidades mineras con operaciones mayores a 1000 metros de profundidad y que se encuentren asociadas a eventos catastróficos que están representados por la liberación de energía o estallido de rocas o “rockburst”, esta imagen catastrófica que tiene la minería profunda está asociado a este evento de estallido roca porque es un fenómeno difícil de entender, difícil de predecir y controlar, esta condición es compleja por lo siguiente:

- **Constructivos:** Características Geotécnicas Especiales que condicionan los métodos de excavación a emplear. Por ejemplo, la magnitud y la orientación de los esfuerzos sumado a un comportamiento de concentración de altas tensiones de las excavaciones en profundidad van a generar un ambiente propicio para la inducción de eventos sísmicos y estallido de roca.
- **Medio ingenieril:** Macizo rocoso más competente en profundidades que se caracteriza por ser rígido estando sometido a altos esfuerzos, altas temperaturas y altas presiones de agua.
- **Inestabilidad:** Colapso por eventos, la condición de altos esfuerzos lleva a eventos dinámicos por liberación de energía como son la proyección de roca o estallido de rocas. Siendo importante la medición de esfuerzos ya que es un factor relevante en el diseño de excavaciones y de estabilidad.
- **Seguridad:** Mayor cuidado hacia las personas, tratando de minimizar la exposición del recurso humano y para eso se tiene que emplear equipos remotos y automatizar, empleando sistema de monitoreo sísmico, alerta temprana y el diseño de sostenimiento.



Mayor profundidad, mayor esfuerzo (V Seminario Internacional de Geomecánica, 2019)

Esta problemática que presenta la minería profunda, se ve reflejada en 2 fenómenos que son relativamente frecuentes, uno de ellos es el problema de “squeezing” que consiste básicamente en el cierre de la galería, debido al alto esfuerzo que produce que se empuje y se cierre, lo que llega a consistir una falla sutil que normalmente se presenta en rocas de baja competencia, en rocas con foliación importantes y también minerales que pueden ser expansivos.

El estallido de roca, es el segundo fenómeno más conocido ya que indudablemente es una liberación de energía que está asociada a eventos de colapso menor generando un evento de carácter más impactante y catastrófico. En la siguiente figura se observa un estallido de roca ocurrido en el Teniente en el año 1987.



Problema de Squeezing (Caimaque, 2019)



Estallido de roca en la Mina Teniente (Caimaque, 2019)

## Estallido de roca

### 3) Causas del estallido de roca

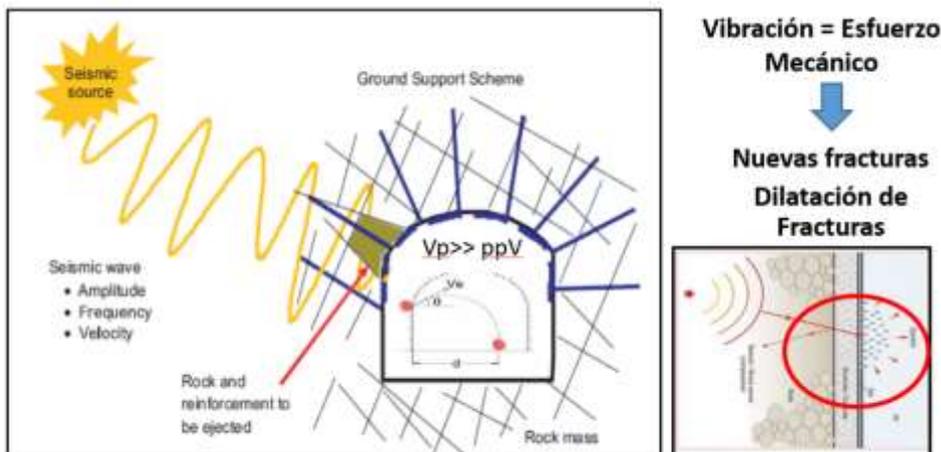
Es (en muchos casos) una combinación de factores geomecánicos, deformabilidad y minería de rigidez de la roca y de un nivel de tensión lo suficientemente alto como para exceder la resistencia de la roca. Se encuentra asociado al campo de esfuerzo de tensiones y a la operación minera. La rigidez de la roca, la sismicidad inducida es una causa iniciadora, la potencia de falla que está relacionado a la homogeneidad de la roca, a la baja de presencia de estructura que genera un potencial muy alto para acumular energía y tener una explosión muy violenta.

### 4) Controlar y prevenir la ocurrencia de rockburst

- Disminución de la rigidez de las rocas.
- Inducción pre – fractura a la roca intacta
- Mayor disipación de energía en la roca
- Cambiar la disposición de la excavación para disminuir las tensiones.
- Cambio en la geometría o forma de la Excavación.

### 5) Mecánica del exterior del estallido de roca

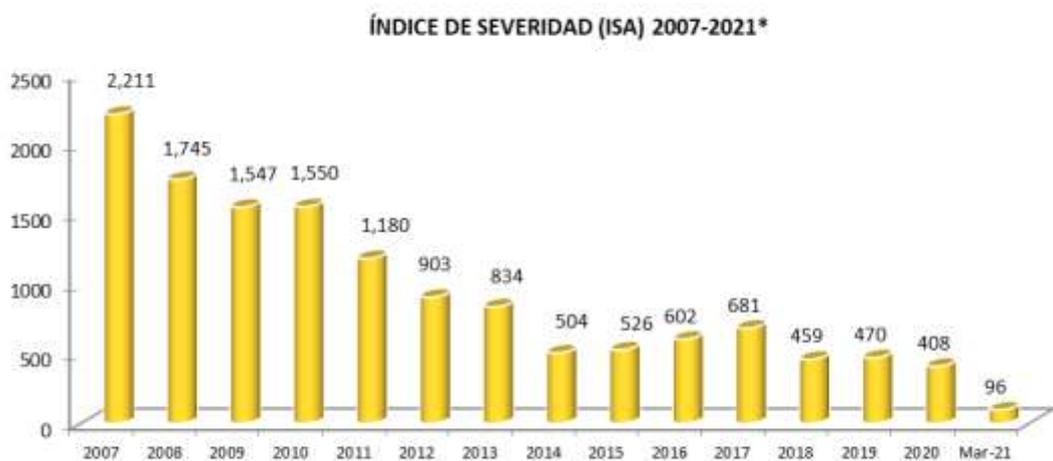
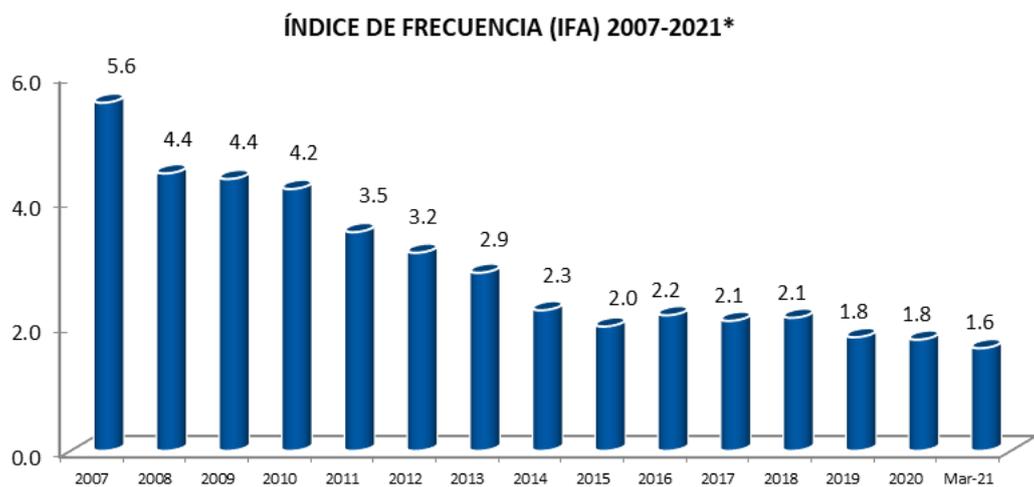
El almacenamiento de energía en el macizo rocoso llega a un punto crítico donde se produce una liberación violenta de energía que se ve reflejada como un colapso repentino a su interior y se transmite como onda sísmica elástica compresiva que viaja por el mismo de manera que se asocia a la vibración y va generando esfuerzos de fracturamiento y desplazamiento entrando en dilatación debido al fracturamiento producido para finalmente viajar a la superficie de la excavación y ser proyectada. Ante ello, es necesaria la existencia de un sistema que pueda controlar el desplazamiento y la posible proyección de la roca fracturada que es expulsada con una velocidad superior a la que viajó la onda, significando un alto peligro si se encuentra un personal cerca de este.



Energía Dinámica, se transfiere de la masa de roca al soporte de la superficie (V Seminario Internacional de Geomecánica, 2019)

## Estadísticas de accidentes mortales

Las estadísticas están referidas a la evolución de los índices de seguridad que incluyen los años de actividad de Osinergmin (Gran y Mediana Minería).



\*Estadísticas al 31 de marzo de 2021



**Osinergmin**

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

Gerencia de Supervisión Minera

[www.osinergmin.gob.pe](http://www.osinergmin.gob.pe)

Telf.: 219-3410 (Lima) / 0800-41800 (Línea gratuita - provincias)