

# SUPERVISIÓN BAJO EL ENFOQUE DE RIESGOS EN EL AREA DE GEOMECANICA DE LAS UNIDADES MINERAS SUBTERRANEAS DEL PERU

Félix Arias Arce

Especialista Técnico en Geomecánica

06 /11/2019



## ESPECIALIDADES PARA LA SUPERVISIÓN

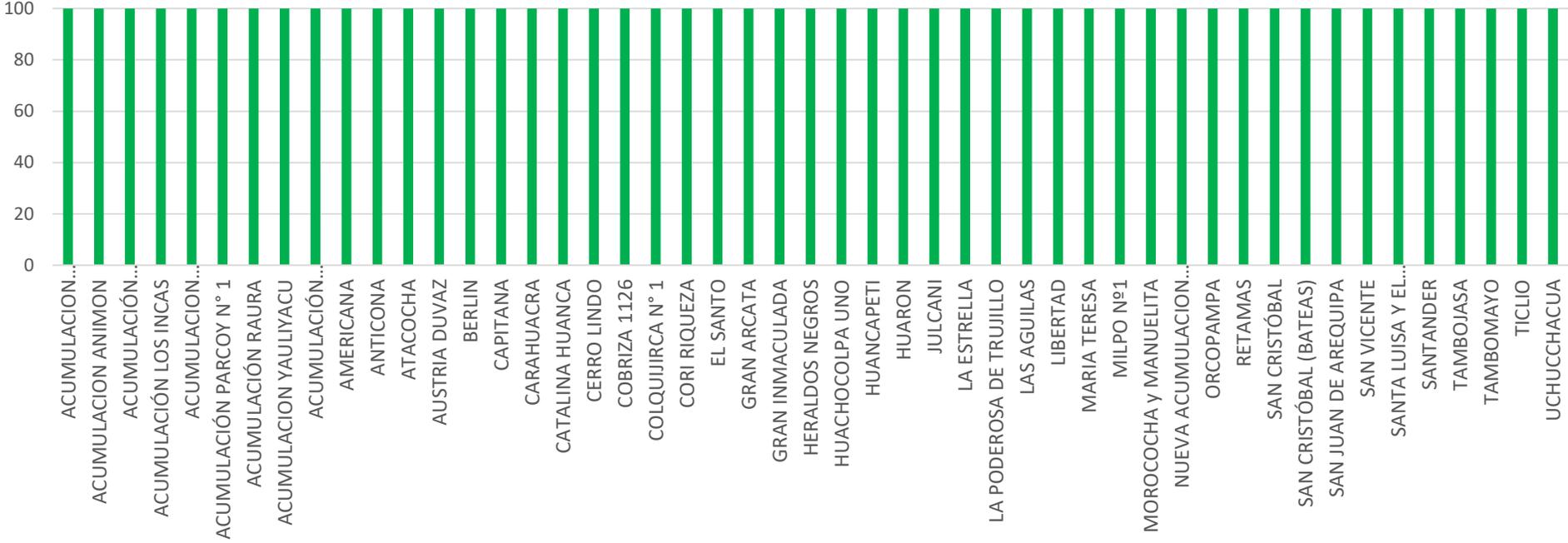


## OBJETIVOS:

- Determinar los factores que originan riesgos en las operaciones mineras subterráneas en la especialidad de geomecánica.
- Dividir los factores de riesgos en técnicos y de gestión.
- **Realizar una evaluación y análisis de nivel de riesgos utilizando dos criterios:**
  1. Determinación del nivel de riesgo de los factores mediante una valoración empírica en escala del 0 a 1 donde 0 es muy bajo y 1 es muy alto.
  2. Jerarquización de los factores de riesgo mediante el Proceso de jerarquía analítica (Analytic Hierarchy Process - AHP).
- Realizar el ranking de riesgos a las unidades mineras subterráneas.

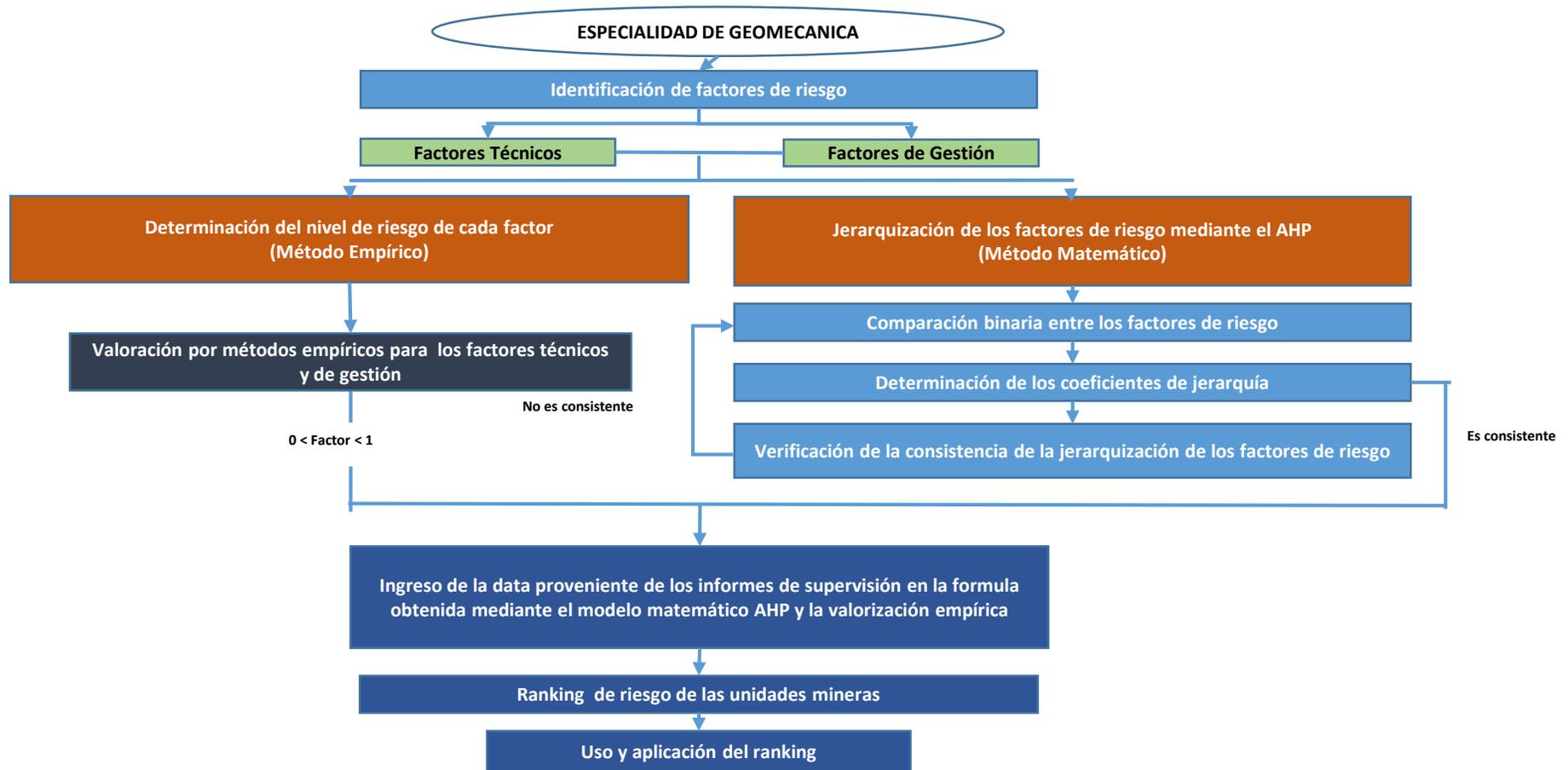
# UNIDADES MINERAS SUBTERRANEAS SUPERVISADAS POR EL OSINERGMIN EN EL AREA DE GEOMECANICA

## 49 UNIDADES MINERAS

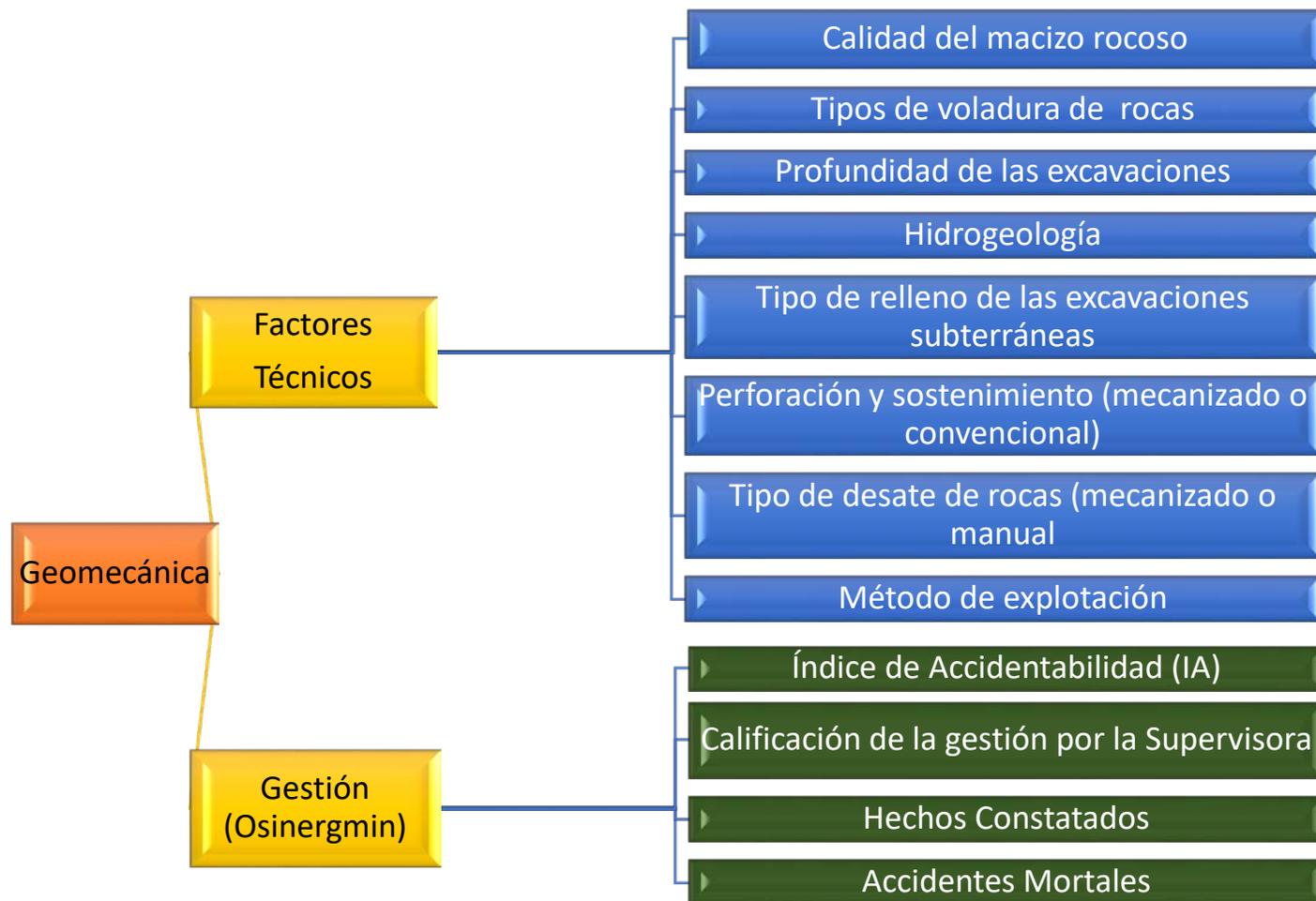


Mediana y Gran Minería supervisados por el Osinergmin

# DIAGRAMA DE FLUJO DE EVALUACION DE RIESGOS



# FACTORES DE RIESGO EN LA ESPECIALIDAD DE DETERMINACIÓN DE LOS GEOMECAÁNICA

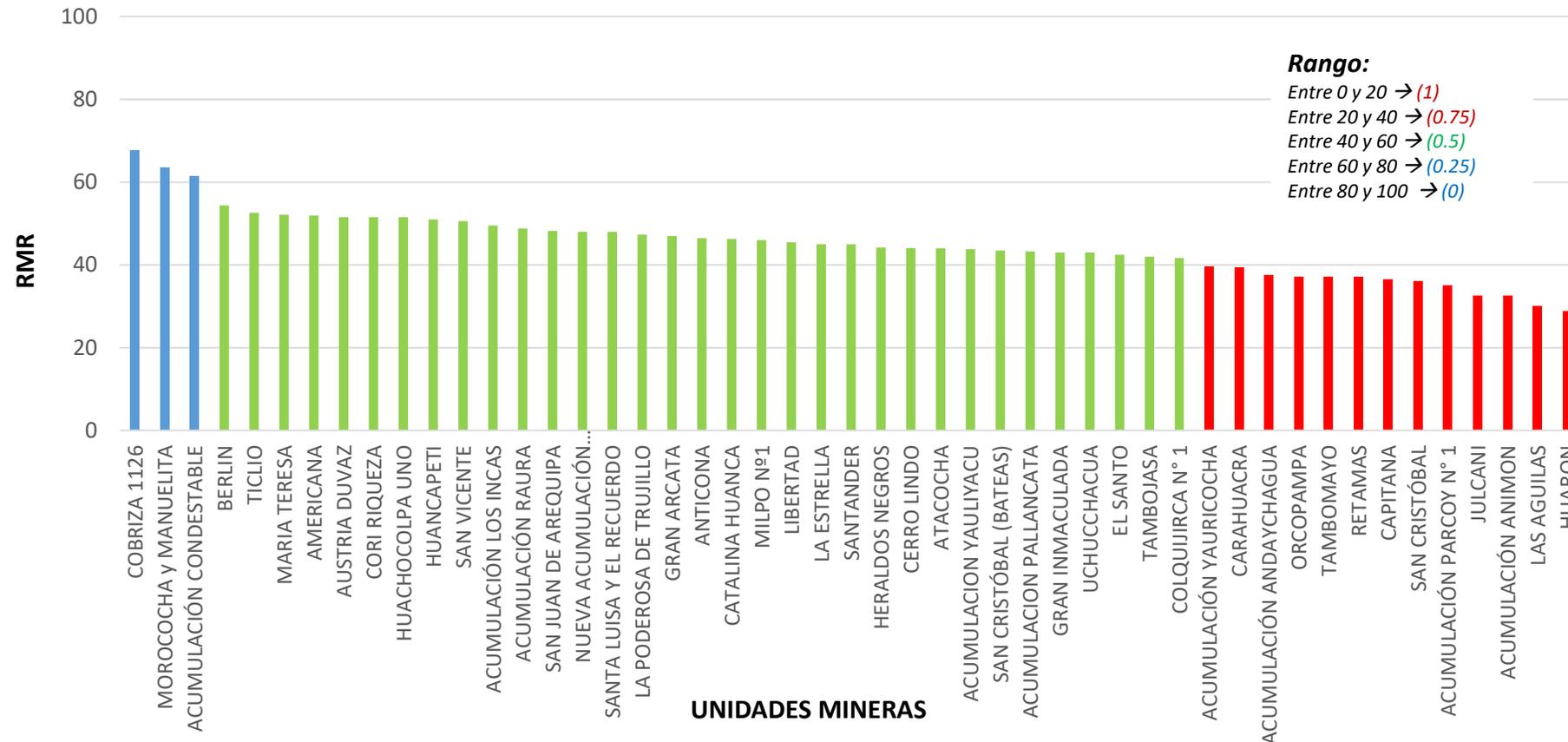


## DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO DE CADA FACTOR TÉCNICO (Método Empírico)

FACTOR DE RIESGO / VALORACIÓN	Muy Bajo (0)	Bajo (0.25)	Medio (0.5)	Alto (0.75)	Muy Alto (1)
<b>CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)</b>	80 < RMR <= 100	60 < RMR <= 80	40 < RMR <= 60	20 < RMR <= 40	RMR <= 20
<b>TIPOS DE VOLADURA DE ROCAS</b>	-	VOLADURA CONTROLADA	-	VOLADURA CONVENCIONAL	-
<b>PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES</b>	PROFUNDIDAD < 300m	300m <= PROFUNDIDAD < 600m	600m <= PROFUNDIDAD < 850m	850m <= PROFUNDIDAD < 1200m	> = 1200 m
<b>ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS</b>	SECO (0 LITROS)	LIGERAMENTE SECO (10 LITROS/MIN)	HÚMEDO (10-25 LITROS/MIN)	GOTEANDO (25-125 LITROS/MIN)	FLUJO (MAYOR A 125 LITROS/MIN)
<b>RELLENO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS YA EXPLOTADAS</b>	RELLENO EN PASTA	RELLENO EN PASTA Y RELLENO HIDRÁULICO	RELLENO HIDRÁULICO O RELLENO CEMENTADO	RELLENO HIDRÁULICO O CEMENTADO Y RELLENO DETRÍTICO	RELLENO DETRÍTICO (DESMONTE)/SIN RELLENO
<b>PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO</b>	MECANIZADO	-	MECANIZADO Y CONVENCIONAL	-	CONVENCIONAL
<b>DESATE DE ROCAS SUELTAS</b>	MECANIZADO	-	MECANIZADO Y CONVENCIONAL	-	CONVENCIONAL
<b>MÉTODO DE EXPLOTACIÓN</b>	TALADROS LARGOS (-) CON TELEMANDO	CORTE Y RELLENO ASCENDENTE (BREASTING)	CAMARAS Y PILARES/ COTE Y RELLENO (REALCE)	TALADROS LARGOS (+)/BANQUEO Y RELLENO/CORTE Y RELLENO DESCENDENTE	SUBLEVEL CAVING / CORTE Y RELLENO ASCENDENTE CON PUNTALES

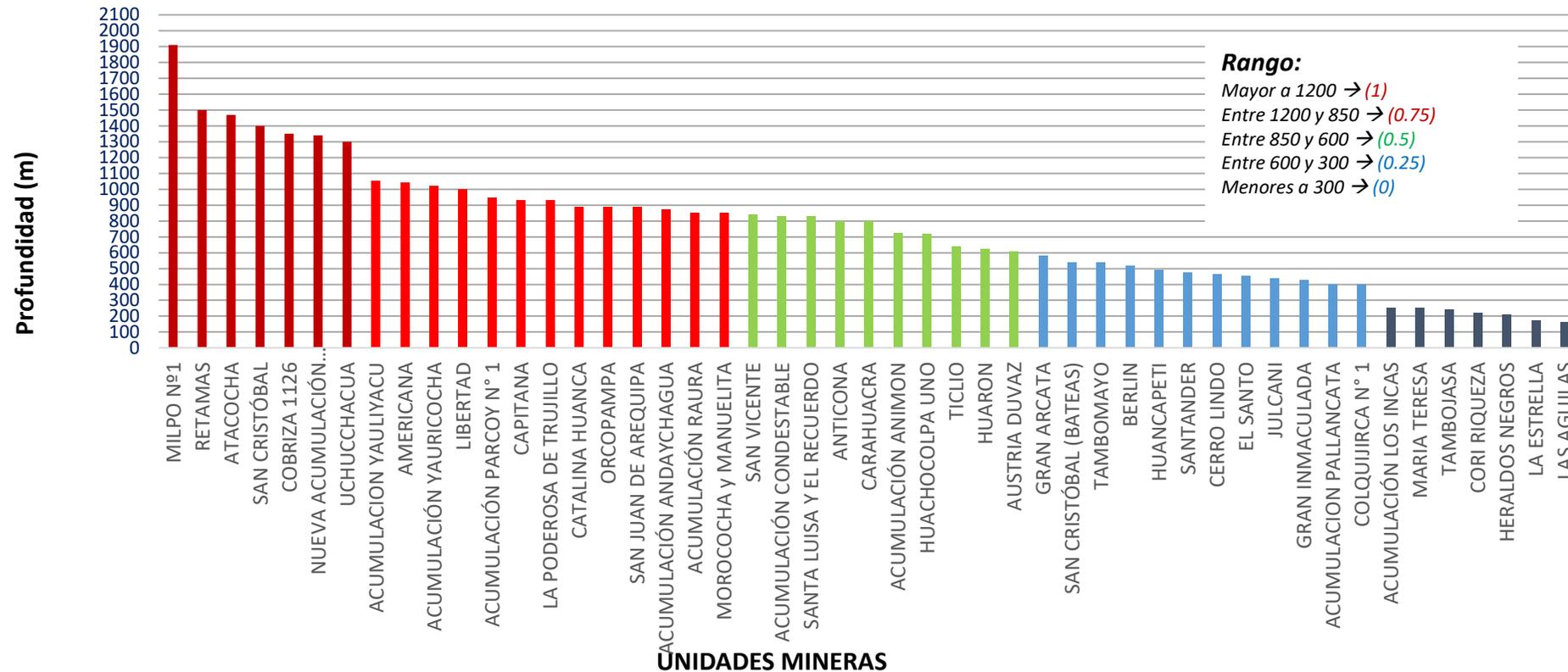
## CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)

### ❖ CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR 89) PROMEDIO DE CADA UNIDAD MINERA:



Fuente: Expedientes de supervisión 2019

# PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES EN LAS UNIDADES MINERAS SUBTERRÁNEAS EN EL PERÚ



Fuente: Expedientes de supervisión 2019

## PERFORACION Y SOSTENIMIENTO



Perforación convencional (Jackleg)



Perforación mecanizado (Jumbo)



Sostenimiento con shotcrete, de forma manual. Sostenimiento con shotcrete, de forma mecanizada.

## DESATE DE ROCAS SUeltas



Desate de rocas manual utilizando barretillas.



Desate de rocas mecanizado, utilizando Scaler

## CONTROL DE VOLADURA

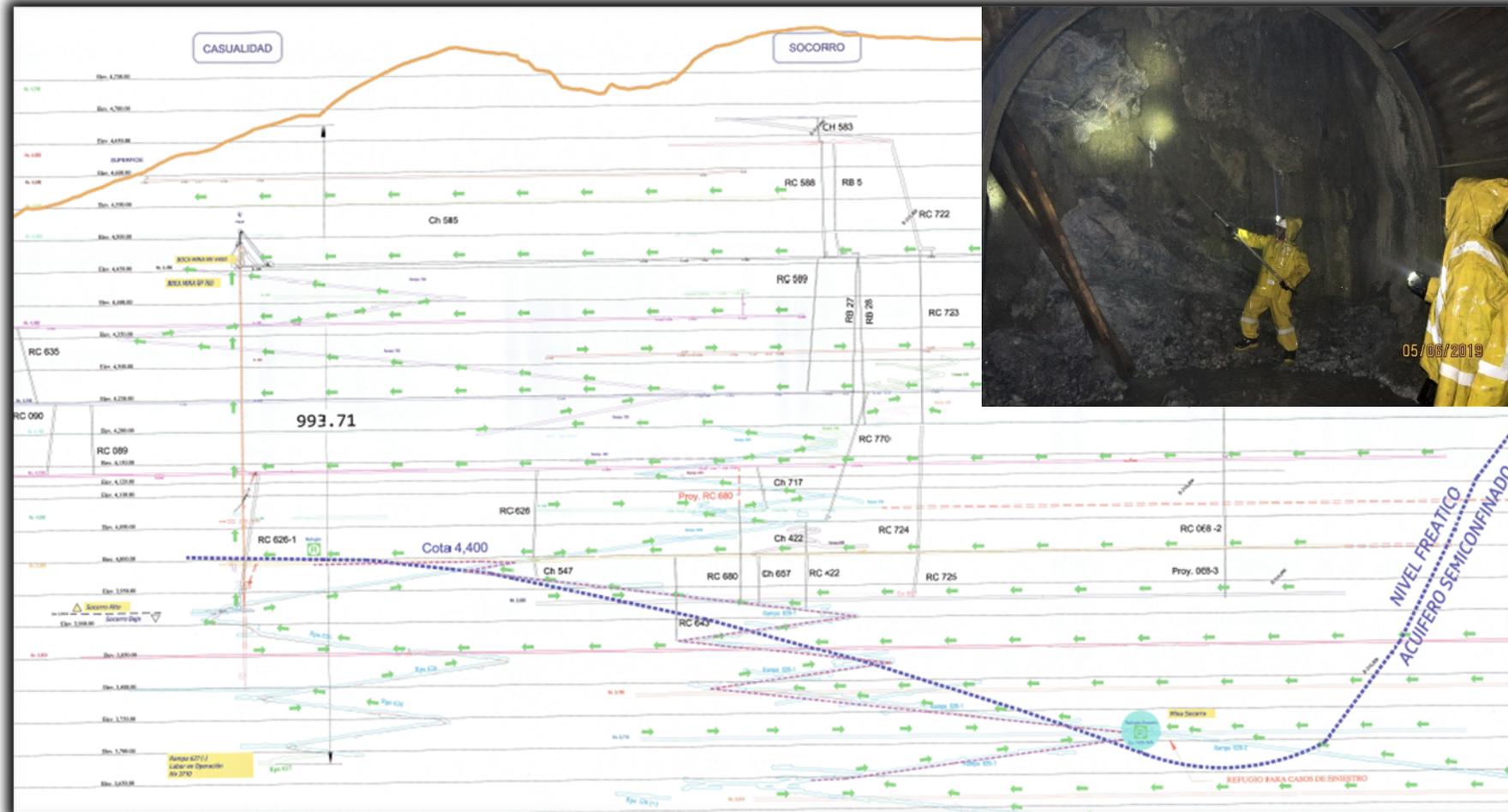


Voladura convencional



Voladura controlada

# ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

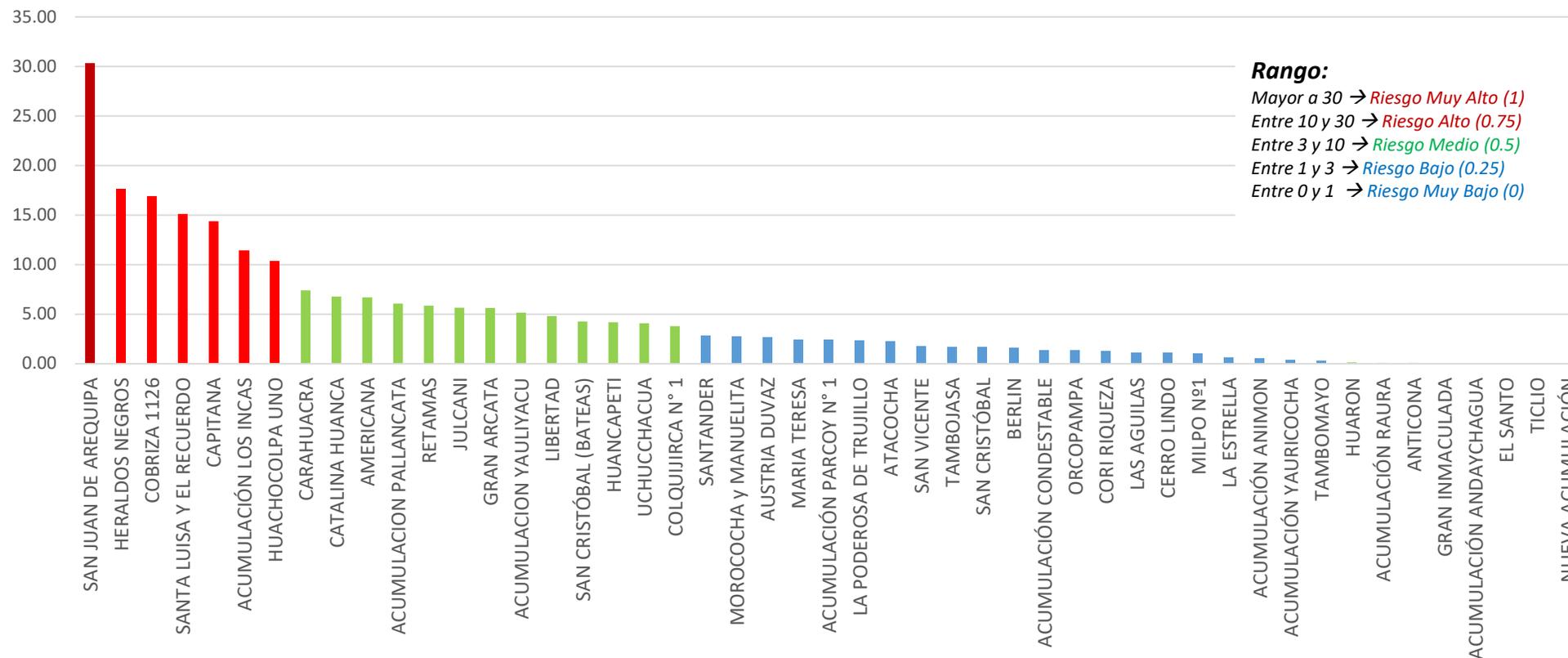


## VALORIZACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO (GESTION)

FACTOR DE RIESGO / VALORACIÓN	Muy Bajo (0)	Bajo (0.25)	Medio (0.5)	Alto (0.75)	Muy Alto (1)
ÍNDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)	$0 \leq IA \leq 1$	$1 < IA \leq 3$	$3 < IA \leq 10$	$10 < IA \leq 30$	$30 < IA$
Nº ACCIDENTES MORTALES	0	0	0	1	2 o más
Nº HECHOS CONSTATADOS	0	1	2	3	> 3
EVALUACION DE LA SUPERVISORA A LA GESTION DEL AREA DE GEOMECAICA	$0 \leq Valor \leq 1$	$1 < Valor \leq 2$	$2 < Valor \leq 3$	$3 < Valor \leq 4$	$4 < Valor \leq 5$

# INDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)

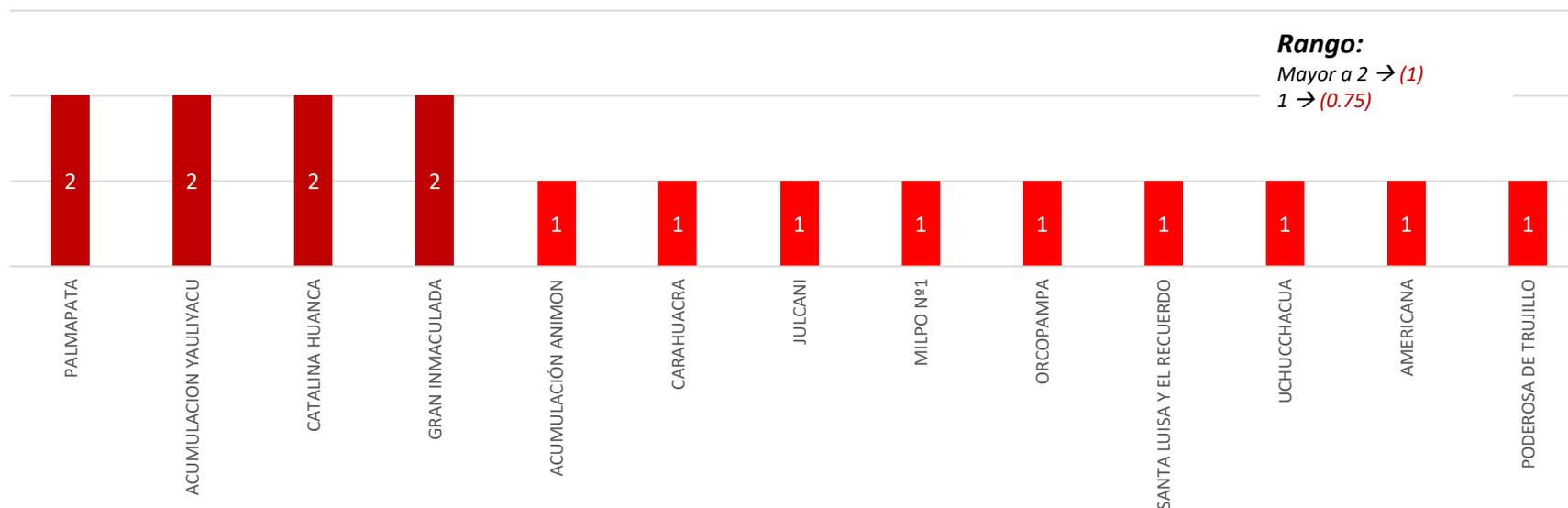
## ÍNDICE DE ACCIDENTABILIDAD EN LAS UNIDADES MINERAS SUBTERRÁNEAS DEL PERÚ EN EL AÑO 2017 al 2019:



Fuente: intranet MINEM

## ACCIDENTES MORTALES

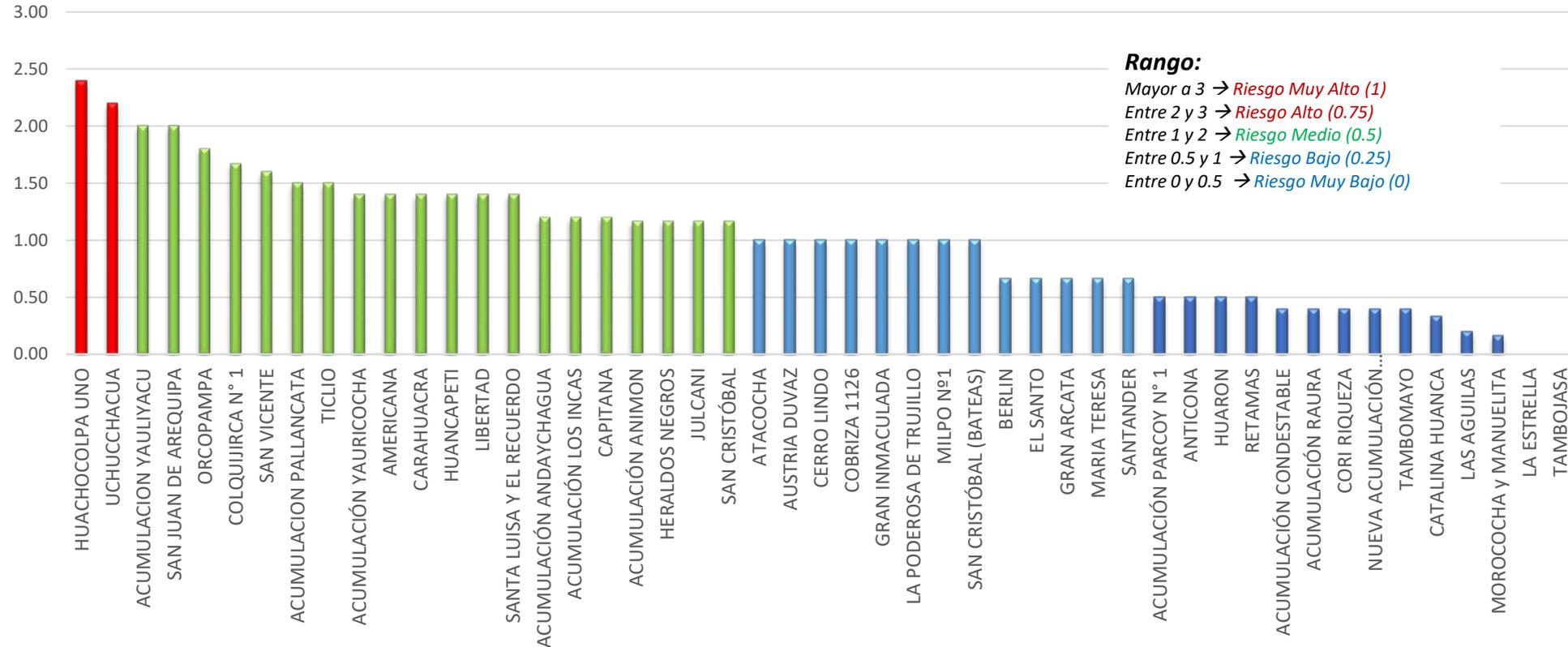
En el siguiente cuadro se puede ver la cantidad de víctimas mortales relacionados al área de geomecánica ocurridos durante los años 2017 al 2019.



Las unidades mineras que no se encuentran en el grafico, no tuvieron ningún accidente mortal en los últimos tres años (2017 – 2019).

# HECHOS CONSTATADOS

## Infracciones promedio detectadas en las supervisiones (2017 – 2019)



Fuente: Expedientes de supervisión 2017 - 2019

# EVALUACION DE LA SUPERVISORA

Evaluación promedio de las supervisiones en el año 2019.

**Rango:**

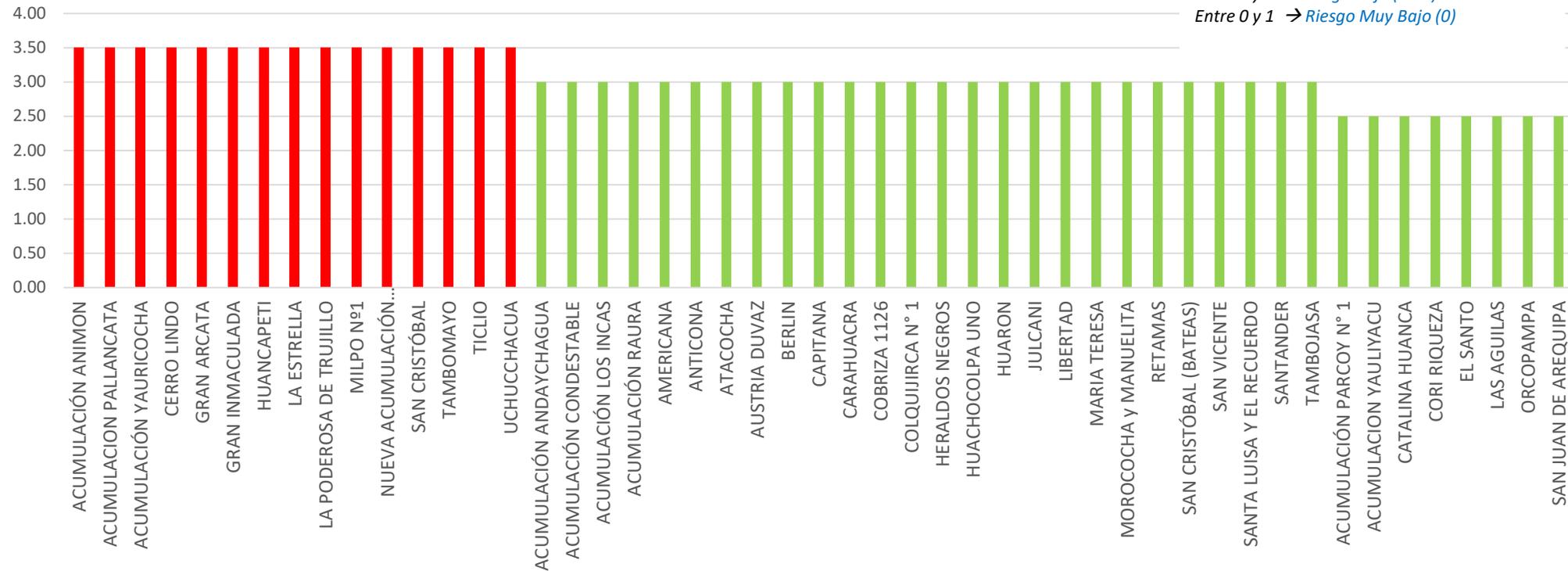
Entre 4 y 5 → *Riesgo Muy Alto (1)*

Entre 3 y 4 → *Riesgo Alto (0.75)*

Entre 2 y 3 → *Riesgo Medio (0.5)*

Entre 1 y 2 → *Riesgo Bajo (0.25)*

Entre 0 y 1 → *Riesgo Muy Bajo (0)*



# METODOLOGÍA

## The Analytic Hierarchy **PROCESS** (El proceso de jerarquía analítica)

Esta herramienta, basada en matemáticas y psicología, fue desarrollada por **Thomas L. Saaty** en los setenta. El AHP provee un marco de referencia racional y comprensivo para estructurar un problema de decisión, para representar y cuantificar sus elementos.

Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el conocimiento de los factores y los datos utilizados en el proceso.

### El proceso de jerarquía analítica (AHP) se fundamenta en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos o ponderación”.
- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad.
- **Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.**

## Comparaciones Binarias

Las comparaciones binarias son bases fundamentales del AHP. El AHP utiliza una escala subyacente con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los dos elementos.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Muy fuertemente preferible	7
Fuertemente preferible	5
Moderadamente preferible	3
Igualmente preferible	1



Fuente: Cuadro de comparaciones binarias elaborado por Saaty

## Base matemática del AHP

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Además se cumple que:  $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$ ; es decir:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

De la definición dada de  $\mathbf{A}$ , tenemos:

$$\begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

De forma más compacta, decimos que  $\mathbf{A}$  es consistente si y sólo si,

$$\mathbf{AW} = n\mathbf{W}$$

$$VF = n_1w_1 + n_2w_2 + n_3w_3 + \dots + njwj \quad \dots \dots \dots \text{Ecuacion 1}$$

Donde  $\mathbf{W}$  es un vector columna (**factores de riesgo**) de pesos relativos  $w_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Así mismo el VF (valor final) es la sumatoria de los factores W multiplicados con un coeficiente n que sumados dan el valor de 1.

$$n_1 + n_2 + n_3 + \dots + nj = 1$$

# APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA EN LOS FACTORES TECNICOS DE RIESGO



## Comparación binaria entre los factores de riesgo



Se elabora la Matriz de Comparación de Pares (MCP), estableciendo el orden de importancia relativa entre los factores de riesgos en base al juicio de expertos. El AHP utiliza una **escala con valores de 1 a 9** para calificar las preferencias relativas de ambos elementos y cuyo procedimiento es el siguiente:

*Paso 1:* Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

*Paso 2:* Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

FACTORES DE RIESGO	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)	TIPOS DE VOLADURA DE ROCAS	PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	RELLENO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO	DESATE DE ROCAS SUELTAS	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)	1.000	7.000	3.000	7.000	7.000	5.000	5.000	3.000
TIPOS DE VOLADURA DE ROCAS	0.143	1.000	0.200	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200
PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES	0.333	5.000	1.000	5.000	5.000	3.000	3.000	1.000
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	0.143	1.000	0.200	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200
RELLENO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS YA EXPLOTADAS	0.143	1.000	0.200	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200
PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO	0.200	3.000	0.333	3.000	3.000	1.000	1.000	0.333
DESATE DE ROCAS SUELTAS	0.200	3.000	0.333	3.000	3.000	1.000	1.000	0.333
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	0.333	5.000	1.000	5.000	5.000	3.000	3.000	1.000
	2.495	26.000	6.267	26.000	26.000	14.000	14.000	6.267

Matriz de Comparación de Pares (MCP)



- *Paso 3:* Calcular la suma de los elementos de cada fila de las prioridades relativas de los que se comparan.

FACTORES DE RIESGO	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)	TIPOS DE VOLADURA DE ROCAS	PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	RELLENO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO	DESATE DE ROCAS SUELTAS	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	VECTOR RESULTANTE
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)	0.401	0.269	0.479	0.269	0.269	0.357	0.357	0.479	0.360
TIPOS DE VOLADURA DE ROCAS	0.057	0.038	0.032	0.038	0.038	0.024	0.024	0.032	0.036
PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES	0.134	0.192	0.160	0.192	0.192	0.214	0.214	0.160	0.182
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	0.057	0.038	0.032	0.038	0.038	0.024	0.024	0.032	0.036
RELLENO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS YA EXPLOTADAS	0.057	0.038	0.032	0.038	0.038	0.024	0.024	0.032	0.036
PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO	0.080	0.115	0.053	0.115	0.115	0.071	0.071	0.053	0.084
DESATE DE ROCAS SUELTAS	0.080	0.115	0.053	0.115	0.115	0.071	0.071	0.053	0.084
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	0.134	0.192	0.160	0.192	0.192	0.214	0.214	0.160	0.182

# Verificación de la consistencia de la jerarquización de los factores de riesgo

Como parte del proceso AHP se determina el Ratio de Consistencia (RC), el que es calculado mediante la siguiente formula:

Donde:

IC: Índice de Consistencia

IA: Índice de Consistencia Aleatoria

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

*Tabla 3: Indicador del Ratio de consistencia (aceptable).*

Tamaño de la matriz	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 ≤ n ≤ 10	10%

*Fuente: (Saaty 1996)(Saaty 2006)*

Según el tamaño de la matriz, se considera aceptable los valores del Ratio de Consistencia calculados inferiores a su RC (visto en la tabla 3), y si resulta superior se deberá volver a revisar la jerarquización.

Donde el IC se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

## índice de consistencia aleatoria (IA)

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

n: Número de factores de riesgo comparados.

$n_{max}$ : Resultado de la multiplicación matricial de la fila de la Matriz de Comparación de Pares (MCP) con la Columna “Vector Resultante” de la Matriz de Comparación de Pares Normalizada (MCPN).

Usamos una matriz de 8 factores de riesgo:

MCP \*

$n_{max} =$	2.495	6.267	6.267	14.000	14.000	26.000	26.000	26.000
-------------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

$$\rightarrow IC = \frac{8.334 - 8}{8 - 1} = 0.04771428$$

VECTOR RESULTANTE	VECTOR SUMA
0.360	0.892
0.182	1.141
0.182	1.141
0.084	1.176
0.084	1.176
0.036	0.936
0.036	0.936
0.036	0.936
	<b>8.334</b>

El valor del Índice de Consistencia Aleatoria (IA) se obtiene de manera directa en la siguiente tabla introduciendo el valor de n:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice de Consistencia Aleatoria (IA)	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Fuente: The Analytic Hierarchy Process, Thomas L. Saaty, 1980

Se calcula el Ratio de Consistencia (RC):

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0.04771428}{1.41} = 0.0338399 = 3.38\%$$

Finalmente el  $RC < 10\%$ , por lo tanto, el análisis es consistente.

## Jerarquización de los factores de riesgo a criterio de expertos

Se procede a la **jerarquización** de los mismos de acuerdo (orden de prioridad) al juicio de expertos, empleando las etapas iniciales del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) contenido en la metodología de Análisis Multicriterio (Thomas Saaty), debido a que el objetivo es **normalizar** los coeficientes jerarquizados de los factores de riesgo.

FACTOR DE RIESGO / VALORACIÓN		Muy Bajo (0)	Bajo (0.25)	Medio (0.5)	Alto (0.75)	Muy Alto (1)
Orden de prioridad	1° CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR)	80 < RMR <= 100	60 < RMR <= 80	40 < RMR <= 60	20 < RMR <= 40	RMR <= 20
	2° MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	TALADROS LARGOS (-) CON TELEMANDO	CORTE Y RELLENO ASCENDENTE (BREASTING)	CAMARAS Y PILARES/ COTE Y RELLENO (REALCE)	TALADROS LARGOS (+)/BANQUEO Y RELLENO/CORTE Y RELLENO DESCENDENTE	SUBLEVEL CAVING / CORTE Y RELLENO ASCENDENTE CON PUNTALES
	3° PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES	PROFUNDIDAD < 300m	300m <= PROFUNDIDAD < 600m	600m <= PROFUNDIDAD < 850m	850m <= PROFUNDIDAD < 1200m	> = 1200 m
	4° PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO	MECANIZADO	-	MECANIZADO Y CONVENCIONAL	-	CONVENCIONAL
	° DESATE DE ROCAS SUELTAS	MECANIZADO	-	MECANIZADO Y CONVENCIONAL	-	CONVENCIONAL
	TIPOS DE VOLADURA DE ROCAS	-	VOLADURA CONTROLADA	-	VOLADURA CONVENCIONAL	-
	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	SECO (0 LITROS)	LIGERAMENTE SECO (10 LITROS/MIN)	HÚMEDO (10-25 LITROS/MIN)	GOTEANDO (25-125 LITROS/MIN)	FLUJO (MAYOR A 125 LITROS/MIN)
	RELLENO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS YA EXPLOTADAS	RELLENO EN PASTA	RELLENO EN PASTA Y RELLENO HIDRÁULICO	RELLENO HIDRÁULICO O RELLENO CEMENTADO	RELLENO HIDRÁULICO O CEMENTADO Y RELLENO DETRÍTICO	RELLENO DETRÍTICO (DESMONTE)/SIN RELLENO





La fórmula para los determinar el valor de los Factores (VF) utilizando la ecuación 1 sería:

$$VF = n_1w_1 + n_2w_2 + n_3w_3 + \dots + njwj \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Reemplazando la ecuación 1 para calcular los valores técnicos (FT) de cada unidad minera, la formula seria:

$$FT=36*(RMR)+18.2*(ME)+18.2 *(H)+8.4*(PS)+8.4*(DR)+3.6*(VC)+3.6*(AH)+3.6*(R)$$

Donde:

RMR: CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	<b>Valores:</b>  Muy Bajo: 0 Bajo: 0.25 Medio: 0.5 Alto: 0.75 Muy Alto: 1
ME: MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	
H: PROFUNDIDAD DE LAS EXCAVACIONES	
PS: PERFORACIÓN Y SOSTENIMIENTO	
DR: DESATE DE ROCAS SUELTAS	
VC: CONTROL DE PERFORACIÓN VOLADURA	
AH: ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	
R: RELLENO DE LAS EXCAVACIONES	

<b>n:</b> Coeficiente del vector resultante (AHP)
<b>W:</b> Factor de riesgo (Método empírico)
<b>VF:</b> Valor final

# APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA EN LOS FACTORES DE GESTION DE RIESGO



## Comparación binaria entre los factores de riesgo

Se elabora la Matriz de Comparación de Pares (MCP), estableciendo el orden de importancia relativa entre los factores de riesgos en base al juicio de expertos. El AHP utiliza una **escala con valores de 1 a 9** para calificar las preferencias relativas de ambos elementos y cuyo procedimiento es el siguiente:

- *Paso 1:* Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.
- *Paso 2:* Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

PARAMETROS	NÚMERO DE ACCIDENTES MORTALES EN LA ESPECIALIDAD DE GEOMECÁNICA	INFRACCIONES DETECTADAS EN LA SUPERVISIÓN	EVALUACIÓN DE LA EMPRESA SUPERVISORA A LA GESTIÓN DEL ÁREA DE GEOMECÁNICA EN CADA UNIDAD MINERA	INDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)
NÚMERO DE ACCIDENTES MORTALES EN LA ESPECIALIDAD DE GEOMECÁNICA	1.000	3.000	3.000	5.000
INFRACCIONES DETECTADAS EN LA SUPERVISIÓN	0.333	1.000	1.000	3.000
EVALUACIÓN DE LA EMPRESA SUPERVISORA A LA GESTIÓN DEL ÁREA DE GEOMECÁNICA EN CADA UNIDAD MINERA	0.333	1.000	1.000	3.000
INDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)	0.200	0.333	0.333	1.000
	1.867	5.333	5.333	12.000

Matriz de Comparación de Pares (MCP)

*Paso 3:* Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

PARAMETROS	NÚMERO DE ACCIDENTES MORTALES EN LA ESPECIALIDAD DE GEOMECÁNICA	INFRACCIONES DETECTADAS EN LA SUPERVISIÓN	EVALUACIÓN DE LA EMPRESA SUPERVISORA A LA GESTIÓN DEL ÁREA DE GEOMECÁNICA EN CADA UNIDAD MINERA	INDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)	VECTOR RESULTANTE
NÚMERO DE ACCIDENTES MORTALES EN LA ESPECIALIDAD DE GEOMECÁNICA	0.536	0.563	0.563	0.417	0.519
INFRACCIONES DETECTADAS EN LA SUPERVISIÓN	0.179	0.188	0.188	0.250	0.201
EVALUACIÓN DE LA EMPRESA SUPERVISORA A LA GESTIÓN DEL ÁREA DE GEOMECÁNICA EN CADA UNIDAD MINERA	0.179	0.188	0.188	0.250	0.201
INDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)	0.107	0.063	0.063	0.083	0.079
					1.000

Realizando los mismos pasos que los factores de riesgo técnicos, el ratio de consistencia (RC) de Saaty no supera el 9%.

## Jerarquización de los factores de riesgo a criterio de expertos

Se procede a la **jerarquización** de los mismos de acuerdo (orden de prioridad) al juicio de expertos, empleando las etapas iniciales del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) contenido en la metodología de Análisis Multicriterio (Thomas Saaty), debido a que el objetivo es **normalizar** los coeficientes jerarquizados de los factores de riesgo.

FACTOR DE RIESGO / VALORACIÓN	Muy Bajo (0)	Bajo (0.25)	Medio (0.5)	Alto (0.75)	Muy Alto (1)
1° ACCIDENTES MORTALES	0	0	0	1	2 o más
2° HECHOS CONSTATADOS	0 <= Observaciones <= 0.5	0.5 < Observaciones <= 1	1 < Observaciones <= 2	2 < Observaciones <= 3	3 < Observaciones
3° EVALUACION DE LA SUPERVISORA	0 <= Valor <= 1	1 < Valor <= 2	2 < Valor <= 3	3 < Valor <= 4	4 < Valor <= 5
4° ÍNDICE DE ACCIDENTABILIDAD (IA)	0 <= IA <= 1	1 < IA <= 3	3 < IA <= 10	10 < IA <= 30	30 < IA



La formula para los determinar el valor de los Factores (VF) utilizando la ecuación 1 sería:

$$VF = n_1w_1 + n_2w_2 + n_3w_3 + \dots + njwj \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Reemplazando la ecuación 1 para calcular los valores de gestión (FG) de cada unidad minera, la formula seria:

$$FG = 52*(AM) + 20 *(HC) + 20*(EG) + 8*(IA)$$

Donde:

<b>AM:</b> ACCIDENTES MORTALES	<b>Valores:</b> Muy Bajo: 0 Bajo: 0.25 Medio: 0.5 Alto: 0.75 Muy Alto: 1	<b>n:</b> Coeficiente del vector resultante (AHP)
<b>HC:</b> HECHOS CONSTATADOS		<b>W:</b> Factor de riesgo (Método empírico)
<b>EG:</b> EVALUACION DE LA GESTION		<b>VF:</b> Valor final
<b>IA:</b> INDICE DE ACCIDENTABILIDAD		

Los factores de riesgo técnicos y de gestión están relacionados mediante una formula, la cual nos da como resultado la calificación final de la unidad minera.

$$\text{Calificación Final} = \alpha(FT) + \beta(FG)$$

$\alpha$ : Relación (porcentual) entre los factores técnicos que son afectados por la gestión de la empresa minera y el total de factores técnicos.

$\beta$ : 100%- $\alpha$

## EJEMPLO:

DATOS:	VALORES:
RMR promedio: <b>37.3 (IVA)</b>	0.75
Método de explotación: <b>Corte y Relleno en realce</b>	0.50
Profundidad: <b>870 m</b>	0.75
Perforación y Sostenimiento: <b>Mecanizado</b>	0.00
Desatado de rocas: <b>Mecanizado y convencional</b>	0.50
Perforación y voladura: <b>Controlada</b>	0.25
Presencia de agua: <b>Goteo</b>	0.75
Tipo de relleno: <b>Hidráulico</b>	0.50
Índice de accidentabilidad: <b>1.08</b>	0.25
Nº de accidentes mortales: <b>0</b>	0.00
Promedio de hechos constatados: <b>1</b>	0.25
Evaluación de la supervisora: <b>3</b>	0.50

Hallar el valor del factor técnico, factor de gestión y la calificación final

De lo mencionado se tiene lo siguiente:

$$FT = 36*(RMR)+18.2*(ME)+ 18.2 *(H)+ 8.4*(PS)+ 8.4*(DR)+3.6*(VC)+3.6*(AH)+3.6*(R)$$

$$FG = 52*(AM)+ 20 *(HC)+ 20*(EG) + 8*(IA)$$

Reemplazando:

$$FT = 36*(0.75)+18.2*(0.5)+ 18.2 *(0.75)+ 8.4*(0)+ 8.4*(0.5)+3.6*(0.25)+3.6*(0.75)+3.6*(0.5)$$

$$FT = 27 + 9.1 + 13.65 + 0 + 4.2 + 0.9 + 2.7 + 1.8$$

$$FT = 59.35$$

$$FG = 52*(0)+ 20 *(0.25)+ 20*(0.5) + 8*(0.25)$$

$$FG = 5 + 10 + 2$$

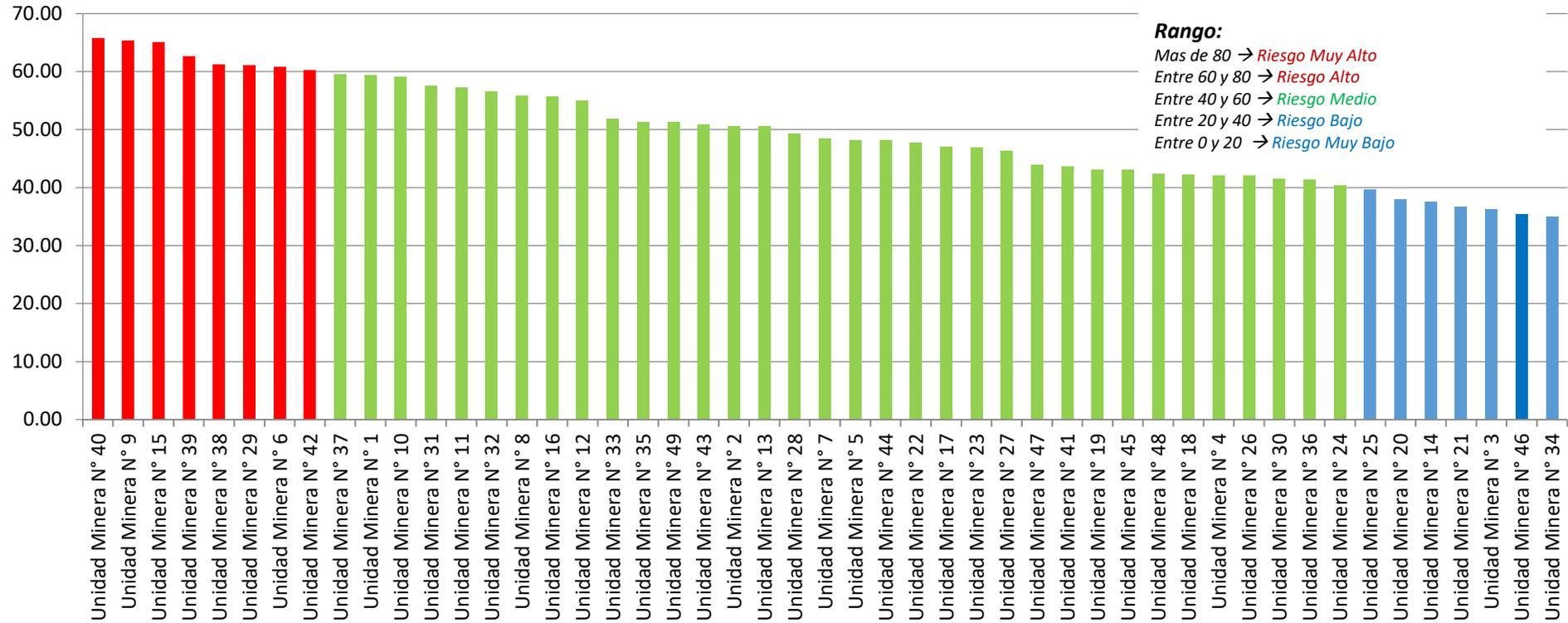
$$FG = 17$$

$$\text{Calificación Final} = \alpha(FT)+ \beta(FG) , \text{ donde: } \alpha = 8/12 = 0.666 \quad \text{y} \quad \beta = 4/12 = 0.333$$

$$\text{Calificación Final} = 0.666*(59.35) + 0.333*(17)$$

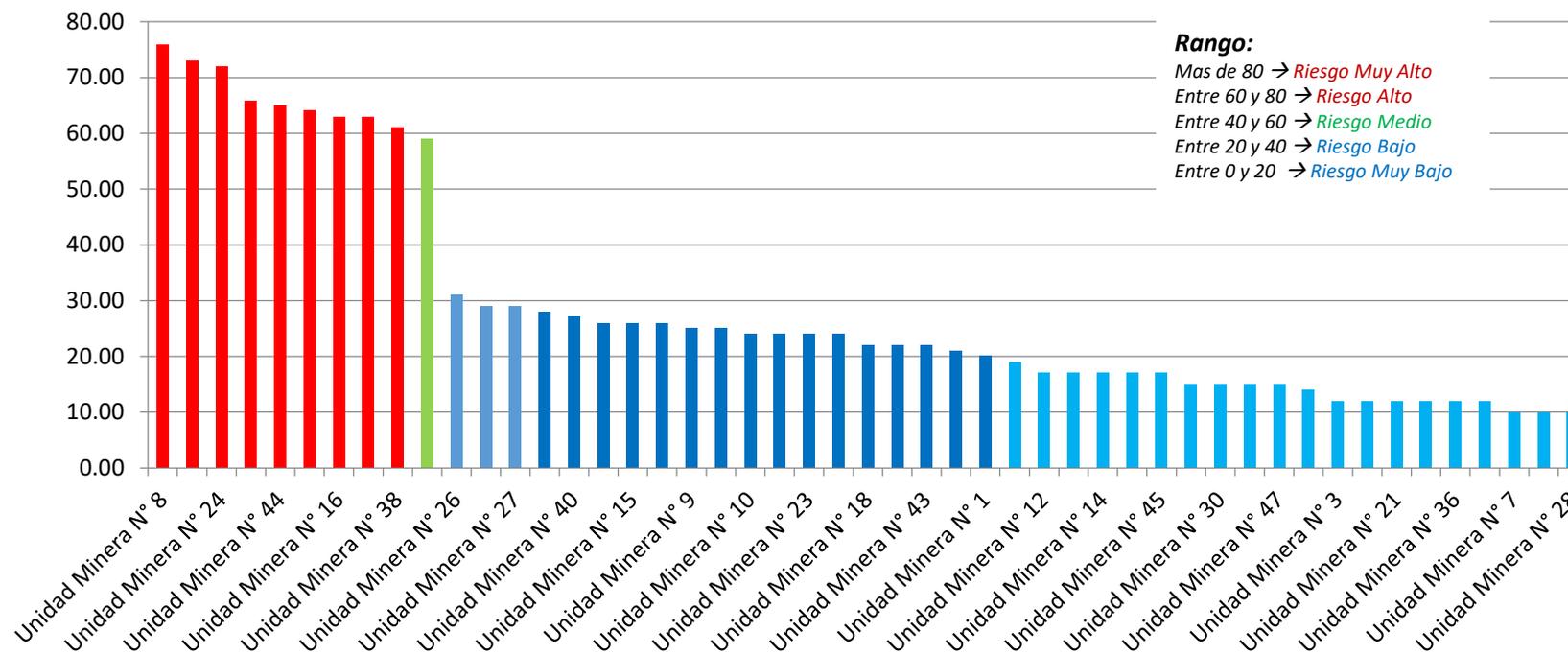
$$\text{Calificación Final} = 45.19$$

# Valorización Técnico



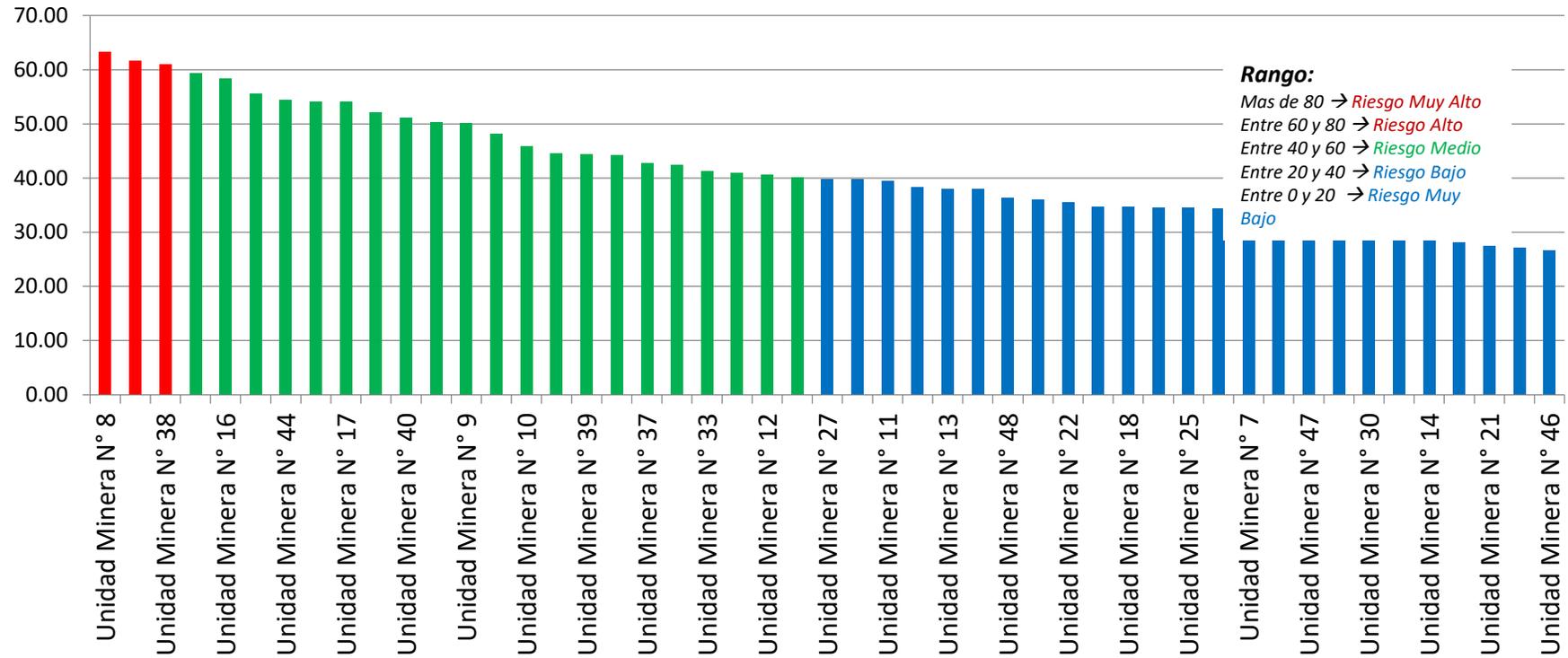
Fuente: Expedientes de supervisión 2017 - 2019

## Valorización en Gestión



Fuente: Expedientes de supervisión 2017 - 2019

## Valorización Total

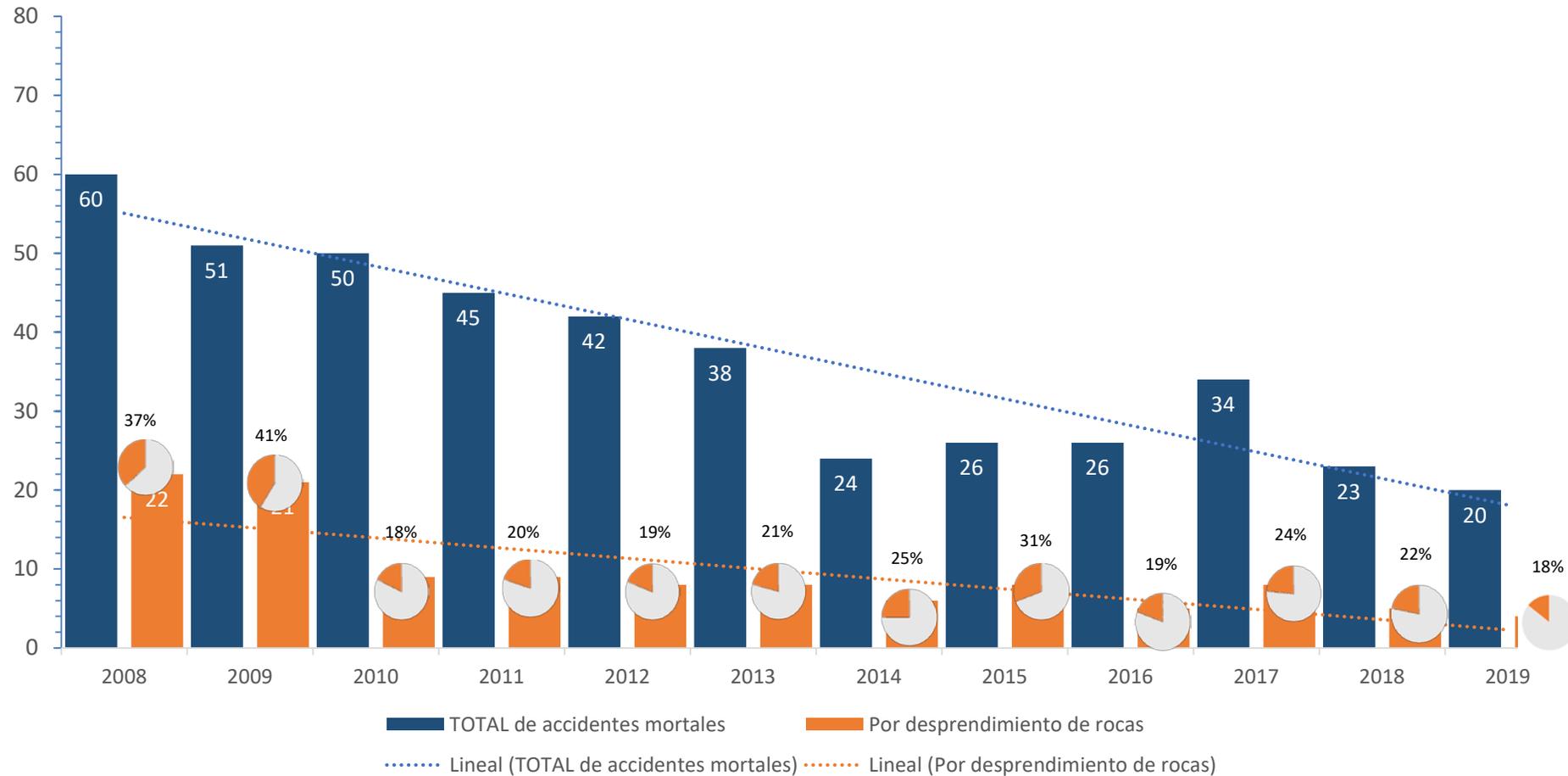


Fuente: Expedientes de supervisión 2017 - 2019

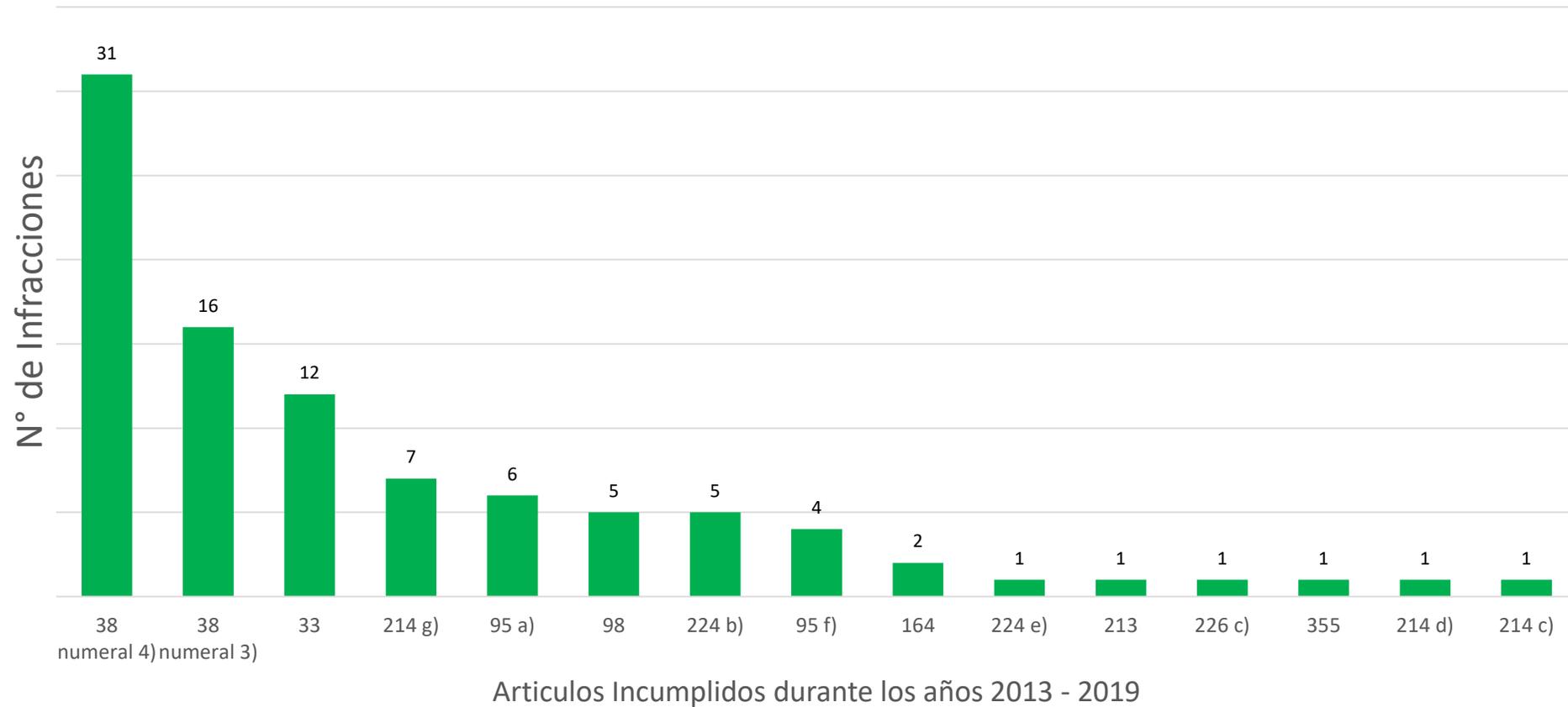
# CONCLUSIONES:

- Se identificó de los 12 factores de riesgos asociados al área de geomecánica divididos en técnicos y de gestión .
- Empleando los 2 criterios: Determinación del nivel riesgo de los factores (método empírico) y la Jerarquización de los mismos mediante el AHP (método matemático), se realizó un ranking de riesgos asociados a la especialidad de geomecánica de las 49 unidades mineras subterráneas supervisadas, identificando 3 niveles de riesgo: Alto (60 -80), medio (40 – 60) y bajo (20 – 40).
  
- Utilización del ranking obtenido:
  - Inicio de las supervisiones programadas en las unidades mineras con niveles de riesgo alto.
  - Realizar supervisiones especiales para verificar factores de mayor riesgo (Calidad de roca, profundidad, entre otros).
  - Para las supervisiones especiales, se tomará en cuenta alto índice de accidentabilidad, accidentes mortales, quejas de los trabajadores, pobladores aledaños y/o autoridades.
  
- Durante las supervisiones, con el objetivo de prevenir los riesgos se realiza las siguientes actividades:
  - Mapeo geomecánico.
  - Desatado de rocas manual o mecanizado.
  - Revisión del diseño de perforación y voladura (mallas de perforación y cálculo del factor de potencia o carga).
  - Control de calidad del sostenimiento aplicado (pruebas de arranque de pernos).
  - Monitoreo de vibraciones producto de la voladura de rocas.

## GRAFICA DE LOS ACCIDENTES MORTALES DEL 2013 AL 2019



## INFRACCIONES ACUMULADAS POR ACCIDENTES MORTALES DEL AÑO 2013 AL 2019 EN GEOMECANICA





Félix Arias Arce