

Laboreo II

Tema 1.2. Definiciones y cuestiones generales. Parte II



Raúl Husillo Rodríguez
Noemí Barral Ramón

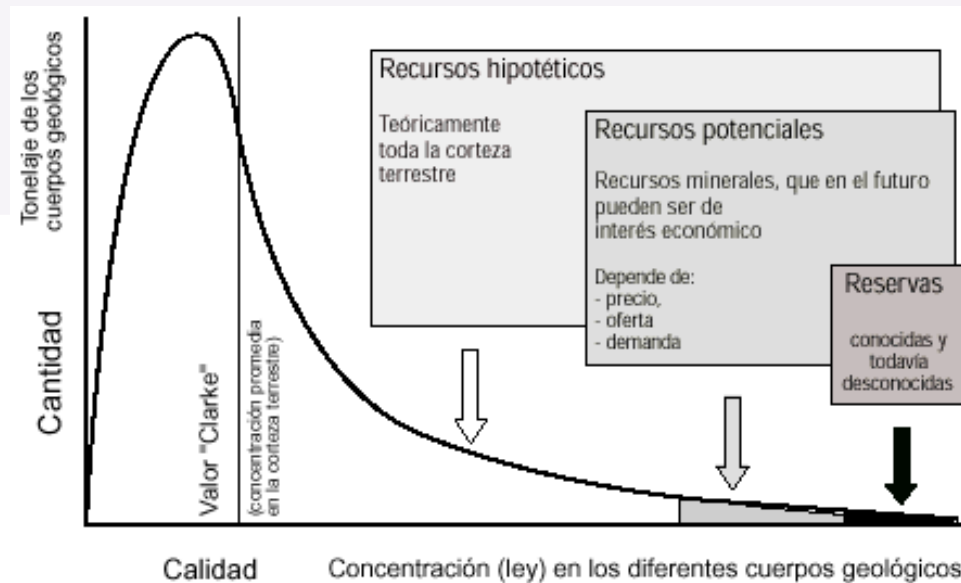
Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DEFINICIONES

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|---------------------------|--|
| RECURSO | Concentración natural de sólidos o gases en el interior de la corteza terrestre o sobre la misma, en tal forma y cantidad que hacen factible una explotación económica actual o potencial. |
| RECURSOS MINERALES | Conjunto de minerales útiles en un volumen determinado de la corteza terrestre. |
| RESERVAS | Recursos minerales que pueden ser extraídos actualmente de forma legal y económicamente rentable. |



DEFINICIONES

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|---------------------------|---|
| RECURSO | Concentración natural de sólidos o gases en el interior de la corteza terrestre o sobre la misma, en tal forma y cantidad que hacen factible una explotación económica actual o potencial. |
| RECURSOS MINERALES | Conjunto de minerales útiles en un volumen determinado de la corteza terrestre. |
| RESERVAS | Recursos minerales que pueden ser extraídos actualmente de forma legal y económicamente rentable. |
| MENAS | Recursos metálicos que pueden ser beneficiados de forma rentable y legal. |
| TÉCNICA MINERA | Conjunto de actividades, realizadas conforme a determinados y específicos procedimientos, que siendo propios de la investigación y explotación de los recursos geológicos y de su racional aprovechamiento, es aplicada por razones tecnológicas, de seguridad, o por requerir el empleo de explosivos, en determinadas obras y trabajos no mineros, tanto superficiales como subterráneos, utilizando los conocimientos y la metodología de la ciencia minera, por requerir dichas obras y dichos trabajos de su aplicación. |

DEFINICIONES

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|------------------------|---|
| GALERÍA | Labor interior horizontal con sección determinada. |
| SOCAVÓN | Galería de acceso desde el exterior con mayor o menor horizontalidad. |
| POZO | Labor vertical de acceso, extracción y/o ventilación. |
| PLANO INCLINADO | Labor inclinada de acceso o extracción. |
| RAMPA | Labor inclinada de acceso a la mineralización. |
| GUÍA | Galería en mineral y en la dirección del yacimiento. |
| LATERAL/REAL | Galería en roca encajante y en la dirección del yacimiento. |
| TRANSVERSAL | Galería normal a la dirección que une la lateral con la guía. |

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|---------------------|---|
| CHIMENEA | Conexión vertical entre galerías, para ventilación o vertido de mineral. |
| NIVEL | Conjunto de galerías a igual cota, unidas al acceso principal. |
| SUBNIVEL | Labores a igual cota, dispuestas entre niveles principales. |
| COLADERO | Chimenea destinada siempre a descarga de mineral o estéril. |
| HASTIAL | Pared de una galería o contacto de la mineralización con la roca encajante. |
| TECHO Y MURO | Contactos superior e inferior de la mena con la roca encajante. |
| CÁMARA | Hueco creado por la extracción, limitado por pilares. |
| TALLER | Frente o tajo de arranque. Unidad de trabajo subterráneo. |

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|-------------------|---|
| CORRIDA | Longitud en la dirección del yacimiento. |
| BUZAMIENTO | Ángulo del depósito con la horizontal. |
| POTENCIA | Espesor de la mineralización (normal al buzamiento). |
| DILUCIÓN | Porcentaje de estéril extraído con el mineral. |
| CIELO | Límite físico superior de un hueco/cámara. |
| CORONA | Límite físico superior de una galería. |
| PISO | Límite físico inferior de un hueco, cámara o galería. |
| REFUGIO | Lugar de protección o refugio para personal o maquinaria. |

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|------------------------------|---|
| MENA | Sustancia sólida enriquecida en elementos minerales de posible utilidad para el hombre. |
| MINERAL | Sustancia que investigada, extraída, concentrada y vendida, produce beneficio económico. |
| ESTÉRIL | Sustancia sin valor aparente que acompaña al mineral. Se aplica generalmente al que resulta al tratar el mineral. |
| ESCOMBRO | Estéril de material grueso que se produce al explotar. |
| TODO-UNO | Mezcla de mineral y estéril que se produce al explotar. |
| INDICIO MINERO | También denominado protomena, corresponde a un yacimiento cuya explotación no es rentable con la tecnología disponible. Esto no quiere decir que en un futuro no pueda ser explotable. |
| YACIMIENTO O CRIADERO | Acumulación de una o más sustancias útiles (metálicas y no metálicas), del tipo minerales, rocas y sus derivados por actuación de los diferentes procesos geológicos, que pueden ser explotables económicamente. Para que un yacimiento se convierta en una mina, es necesario que la ley media del yacimiento sea mayor que la <i>“ley límite económica”</i> , y mayor que el Clark (concentración media del mineral). |
| LEY MINERAL | Contenido en % del elemento útil del mineral. |

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|--------------------------------|--|
| LEY MEDIA | Es la concentración que presenta el elemento químico de interés minero en el yacimiento. Se expresa como tantos por ciento, o como gramos por tonelada (g/t) (equivale a partes por millón, ppm) u onzas por tonelada (oz/t). La oz = 31,10 g para minerales preciosos y 28,34 g para el resto de materias expresadas en esa unidad, Quilate = oz / 155,5. |
| LEY LÍMITE ECONÓMICA | Corresponde a la ley o conjunto de leyes de los diferentes elementos que componen el yacimiento, que hace que su explotación, con la tecnología conocida y disponible, sea económicamente explotable (beneficio económico). Ley por encima de la cual el yacimiento es económicamente explotable. |
| LEY DE CORTE O CUT-OFF | Es la concentración mínima que debe tener un elemento en un yacimiento para ser explotable, es decir, la concentración que hace posible pagar los costes de su extracción, tratamiento y comercialización. Es un factor que depende a su vez de otros factores, que pueden no tener nada que ver con la naturaleza del yacimiento, como por ejemplo pueden ser su proximidad o lejanía a vías de transporte, avances tecnológicos en la extracción, etc. |
| FACTOR DE CONCENTRACIÓN | Es el grado de enriquecimiento que tiene que presentar un elemento con respecto a su concentración normal (Clark) para que resulte explotable. |

| Elemento | Contenido promedio de la corteza | Ley promedio mínima explotable | Factor de concentración |
|----------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Al | 8% | 30% | 3,75 |
| Fe | 5% | 25% | 5 |
| Cu | 50 ppm | 0,4% | 80 |
| Ni | 70 ppm | 0,5% | 71 |
| Zn | 70 ppm | 4,0% | 571 |
| Mn | 900 ppm | 35% | 389 |
| Sn | 2 ppm | 0,5% | 2500 |
| Cr | 100 ppm | 30% | 3000 |
| Pb | 10 ppm | 4,0% | 4000 |
| Au | 4 ppb | 1 g/t | 250 |

$$F_c = \frac{\text{Ley_Corte}}{\text{Clark}}$$



| TÉRMINO | DEFINICIÓN | | | | | | |
|---|--|----------------------------|---|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| LEY TEÓRICA MAXIMA ó LEY GEOLOGICA | <p>Corresponde al máximo contenido posible de un elemento dentro de un compuesto químico. Se calcula recurriendo a la fórmula química y evaluando el porcentaje que representa el elemento en gramos, frente al total del compuesto.</p> <p>Ejemplo:</p> <p>Para un compuesto como la calcopirita cuya fórmula del compuesto químico es: FeCuS_2 (una de las principales menas de Cu), la ley teórica máxima es para el cobre:</p> <p>Pesos moleculares:</p> <table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">$\text{Pm}(\text{S}) = 32$</td> <td rowspan="4" style="font-size: 4em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="4" style="padding-left: 10px;">La “Ley teórica máxima” =</td> </tr> <tr> <td>$\text{Pm}(\text{Fe}) = 55,8$</td> </tr> <tr> <td>$\text{Pm}(\text{Cu}) = 63,5$</td> </tr> <tr> <td>$\text{Pm}(\text{FeCuS}_2) = 183,3$</td> </tr> </table> <p style="padding-left: 10px;">$100 \cdot (63,5 / 183,3) = 34,6 \%$</p> | $\text{Pm}(\text{S}) = 32$ | } | La “Ley teórica máxima” = | $\text{Pm}(\text{Fe}) = 55,8$ | $\text{Pm}(\text{Cu}) = 63,5$ | $\text{Pm}(\text{FeCuS}_2) = 183,3$ |
| $\text{Pm}(\text{S}) = 32$ | } | La “Ley teórica máxima” = | | | | | |
| $\text{Pm}(\text{Fe}) = 55,8$ | | | | | | | |
| $\text{Pm}(\text{Cu}) = 63,5$ | | | | | | | |
| $\text{Pm}(\text{FeCuS}_2) = 183,3$ | | | | | | | |



¿LA EXPLOTACIÓN ES RENTABLE?

LEY DE CORTE (Cut-off)

DEFINICIÓN: Contenido mínimo de sustancia útil en el mineral que produce beneficio.

LEY DE LASKY (LEY LIMITE ECONÓMICA)

Para establecer la relación entre la ley de mineral y el aspecto económico del tratamiento del mineral, planteamos su formulación mediante la siguiente ecuación económica:

$$B_u = P_v - \sum G_u \quad (1)$$

B_u = Beneficio.

P_v = Ingresos e ventas.

$\sum G_u$ = Sumatorio de costes mineros y gastos metalúrgicos.

Introduciendo la ley del mineral (a %) como fuente del precio del producto vendible (P_v), resulta la siguiente ecuación:

$$P_v = P_u \times a \times \eta \quad (2)$$

P_u = Precio unitario de material vendible.

P_v = Ingresos e ventas.

η = Rendimiento del proceso metalúrgico.

a % = Ley del mineral (a % = $Ley_{mena}(L_m) \% + Ley_{ganga}(L_g) \%$).

Sustituyendo ecuación 2 en 1 y despejando la ley del mineral (a %) resulta:

$$a(\%) = \frac{B_u + \sum G_u}{P_u \times \eta}$$

¿LA EXPLOTACIÓN ES RENTABLE?

LEY DE CORTE (Cut-off)

DEFINICIÓN: Contenido mínimo de sustancia útil en el mineral que produce beneficio.

LEY DE LASKY (LEY LIMITE ECONÓMICA)

En función de la definición expresada sobre Ley económica ($L_c = a\%$), resulta que al asociarla al beneficio previsible de obtención en el desarrollo de la explotación y tratamiento mineralúrgica del mineral, resultaría aquella Ley del mineral que hace que el beneficio del cuerpo mineralizado a explotar sea > 0 , y se denomina **Ley de corte, crítica ó mínima explotable**, a la que hace que el beneficio sea 0.

Ley económica:

$$L_c = a(\%) = \frac{B_u + \sum G_u}{P_u \times \eta}$$

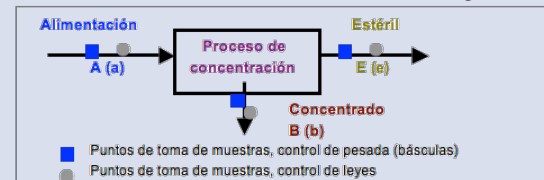
Ley Crítica ó Ley Mínima Explotable:

$$L_m = \frac{\sum G_u}{P_u \times \eta}$$

RENDIMIENTO PARA UN ÚNICO METAL

Considerándose la $A=1$ t de mineral a alimentar al concentrado, para el caso en el que la explotación cuenta con un único mineral beneficiable, el rendimiento de la operación se calcula conociendo las leyes de entrada a la planta de tratamiento, del estéril vertido y del concentrado obtenido ($B = P_c$):

- ❖ **Alimentación**
 A: Cantidad de la alimentación en peso, t ó t/h
 a: ley en la mena principal
 (1 - a) : ley de la ganga en la alimentación
- ❖ **Concentrado**
 B: Cantidad de concentrado en peso, t ó t/h
 b: ley de la mena principal en el concentrado
 (1 - b) : ley de la ganga en el concentrado
- ❖ **Estéril**
 E: Cantidad de estéril en peso, t ó t/h
 e: ley de la mena principal en el estéril
 (1 - e) : ley de la ganga en el estéril



Leyes que regulan el proceso mineralúrgico:

- (1) Balance de la masa constante: $A = B + E$
- (2) Balance de la masa en leyes: $A.a = B.b + E.e$

Rendimiento ponderal ($\eta_{ponderal}$): Relación en peso de material concentrado (B) con respecto al material alimentado (A).

Rendimiento metálico ($\eta_{metálico}$): Relación de la fracción de mineral concentrado (Bxb) con respecto a la fracción del mineral alimentado (Axa).

$$\left. \begin{aligned} \eta_{ponderal} &= \frac{B}{A} \\ Bx \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ b & e \end{vmatrix} &= Ax \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ a & e \end{vmatrix} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \eta_{ponderal} = \frac{(a - e)}{(b - e)} ; \eta_{metálico} = \frac{B}{A} \times \frac{b}{a} = \eta_{ponderal} \times \frac{b}{a} = \frac{(a - e)xb}{(b - e)xa}$$

Factor de concentración: Tn de mineral necesaria para producir 1 Tn de concentrado.

$$F_c = \frac{b}{\eta_{metálico} \times a}$$

RENDIMIENTO PARA UN ÚNICO METAL (Ejemplo)

Para un proceso de concentración de mineral de cobre, calcúlese la cantidad de concentrado que se obtiene al tratar 1 t de mineral y el rendimiento del proceso.

$$\left. \begin{array}{l}
 a = \text{Ley de entrada (5 \% de Cu).} \\
 e = \text{ley de estéril (0,5 \% de Cu).} \\
 b = \text{ley del concentrado (25 \% de Cu).} \\
 P_c(B) = \text{Producción del concentrado.}
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \text{Balance: } 1 \cdot a = (P_c \cdot b) + (1 - P_c) \cdot e \\
 P_c x \left| \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ b & e \end{array} \right| = Ax \left| \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ a & e \end{array} \right| \Rightarrow P_c = \frac{Ax(a - e)}{(b - e)} \\
 P_c = \frac{Ax(a - e)}{(b - e)} = \frac{1Tnx(5 - 0,5)}{(25 - 0,5)} = 0,184 Tn
 \end{array}$$

$$\text{Rendimiento: } \eta_{\text{metálico}} = \frac{(a - e)xb}{(b - e)xa} = \frac{(5 - 0,5)x25}{(25 - 0,5)x5} = 0,92 \%$$

El 92 % del cobre contenido en una Tn de mineral bruto de ley 5 %, se separa.

$$\text{Factor de Concentración: } F_c = \frac{\text{Ley_Concentrado}}{\eta \times \text{Ley_Mineral}} = \frac{25}{0,92 \times 5} = 5,43Tn$$

¿EXPLOTACIÓN DE INTERIOR, O A CIELO ABIERTO?

LÍMITE ECONÓMICO / RATIO

Ratio de explotación: Relación entre estéril y mineral producidos al explotar a cielo abierto (m^3 de estéril para la extracción de una tonelada de mineral).

Límite económico: Ratio para el que se iguala el coste del m^3 de mineral producido a cielo abierto con el producido por mina de interior.

⊗ E: m^3 de estéril a C.A.

⊗ M: m^3 de mineral.

⊗ P: Precio de coste de cada m^3 , tanto estéril como mineral.

⊗ P_m : (coste de m^3 de mineral producido a C.A.) = $P(E + M)/M$.

⊗ P_s : Coste de m^3 de mineral de interior.

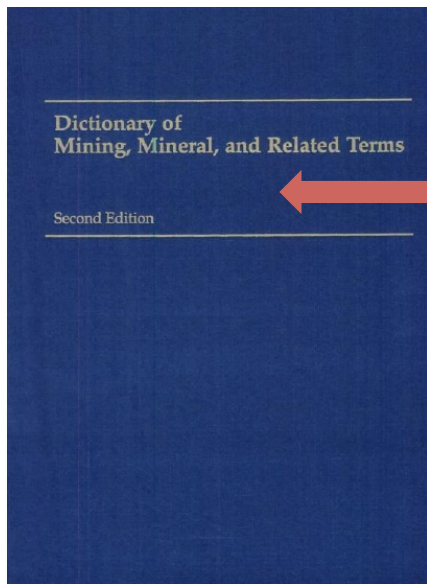
Límite económico: $P_m = P_s$

Ratio o límite económico: $L = E/M \rightarrow L = (P_s / P) - 1$

Ratio real: $Tn(\text{estéril}) / Tn(\text{mineral})$

| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|----------------------|---|
| RELLENO | Material estéril que ocupa y/o sostiene un hueco explotado. |
| CRIADERO | Yacimiento. Formación geológica con concentración en un determinado mineral superior a lo normal. |
| FILÓN | Mineralización estrecha entre dos capas paralelas de estéril, más o menos vertical. |
| CAPA | Mineralización estrecha concordante con la estratificación. |
| LENTEJÓN | Mineralización más o menos alargada. |
| MASA | Mineralización equidimensional. |
| RECUBRIMIENTO | Terreno estéril emplazado sobre el criadero. |

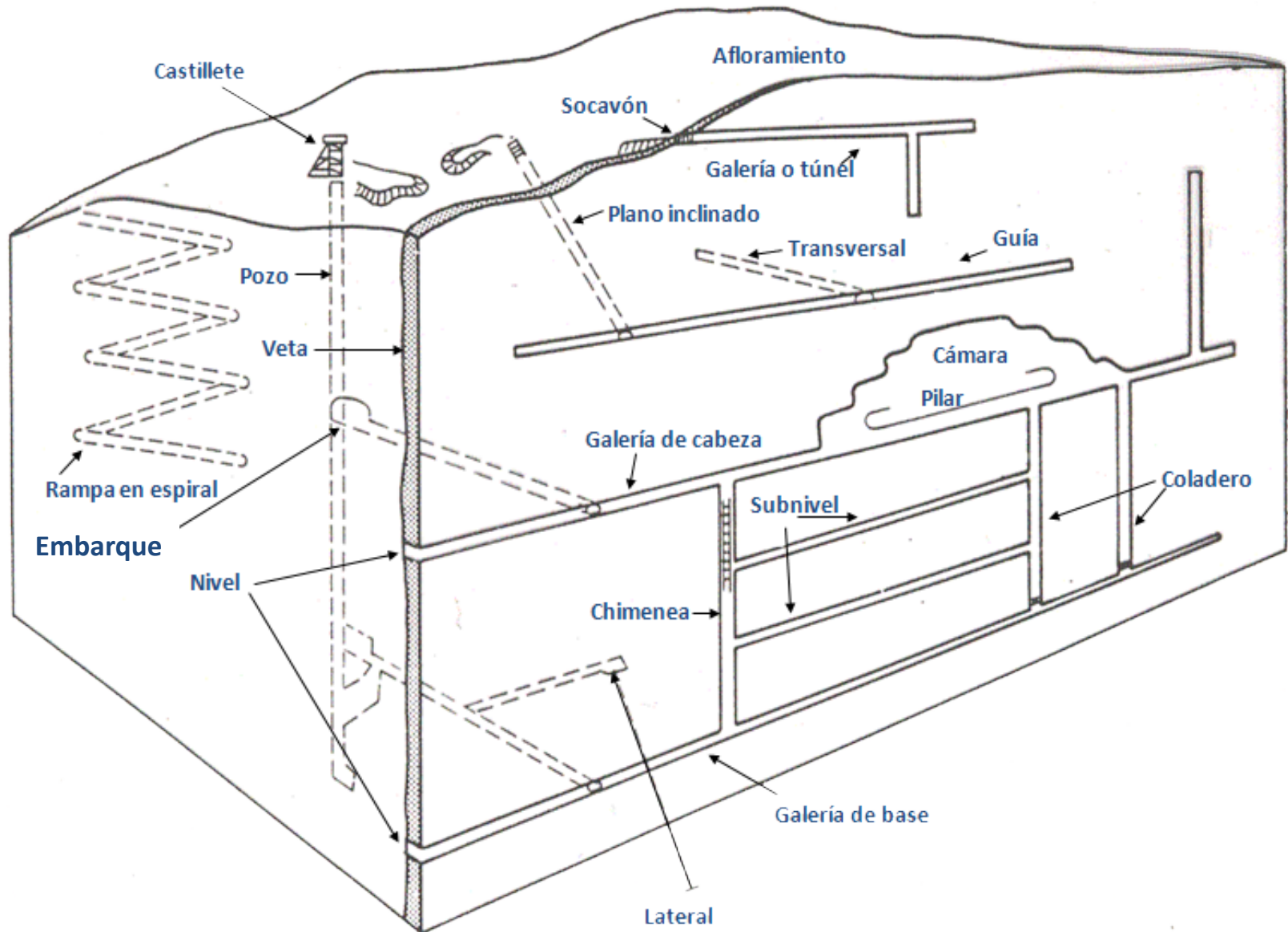
| TÉRMINO | DEFINICIÓN |
|--------------------------|--|
| RAMPA DE ACCESO | Galería inclinada para acceso de máquinas y/o transporte de mineral. |
| EMBARQUE/ENGANCHE | Enlace del pozo con las galerías, para el acceso de vagones, materiales, personal... |
| BROCAL | Boca de un pozo. |
| CUADROS | Estructuras metálicas de sostenimiento. |
| CALAR | Comunicar dos niveles o talleres. En túneles, finalizar la labor iniciada por dos emboquilles. |



VOCABULARIO MINERO EN INGLÉS:

<http://xmlwords.infomine.com/xmlwords.htm>

Rampa - *Decline*; **Pozo** - *shaft*; **Guía** - *Drift*; **Transversal** - *Cross-cut*; **Plano ascendente** - *Raise*; **Plano descendente** - *Winze...*



MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

Estrategia global, metodología de trabajo ordenado y repetitivo que permite mediante el empleo de técnicas y maquinaria minera extraer un cuerpo mineralizado, buscando alcanzar en el proceso la mayor eficiencia posible. Define tanto los principios de ejecución de las operaciones, como los criterios relativos al tratamiento de los minados.

Métodos generales de explotación

- Exterior.
- Interior.
- Por sondeos.



SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

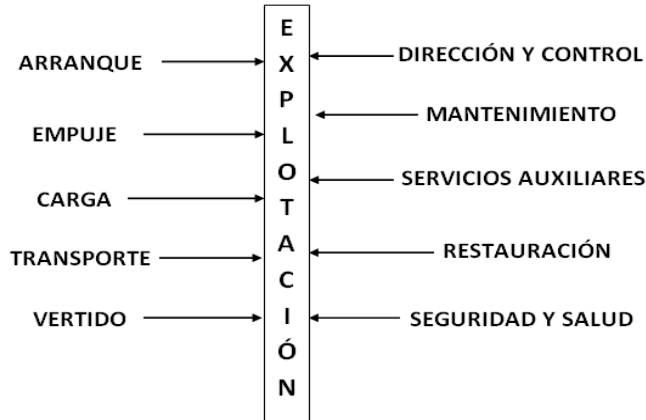
Conjunto de fases de explotación que conforman el proceso, las cuales se realizan con maquinaria minera específica. Las principales fases del ciclo son:

- 👑 El arranque.
- 👑 La carga.
- 👑 El transporte.
- 👑 La extracción (Minería de interior).
- 👑 El vertido (Minería de exterior).



PRINCIPALES

COMPLEMENTARIAS



Sistemas de explotación

- 👑 Continuo.
- 👑 Discontinuo.
- 👑 Mixto.