

Diseño y Planificación de Minas a Cielo Abierto

Definición económica de mineral

Prof. Juan Luis Yarmuch

Definición

La **ley de corte (x_c)** es la cantidad mínima de producto o metal que una tonelada de material debe contener antes de tomar la decisión de procesarlo.

Se utiliza la ley de corte para **separar** el material que no se debe minar, el que se podría enviar a botadero y el que se debería procesar.

La importancia de la Ley de Corte

Define la rentabilidad y la duración de la mina

Los ingresos netos por venta son determinados por:

Tonelaje procesado T_{+c}

Ley promedio de mineral x_{+c}

Recuperación Metalúrgica (r)

Precio de mercado del producto V

$$T_{+c} \cdot x_{+c} \cdot r \cdot V$$

Donde T_{+c} y x_{+c} son función de la ley de corte x_c

La importancia de la Ley de Corte

Leyes de corte elevadas pueden ser utilizadas para:

Incrementar la rentabilidad de corto plazo.

Incrementar el valor presente neto y el retorno de capital.

Reducir el riesgo político

Leyes de corte elevadas pueden:

Reducir la vida de la mina.

Reducir oportunidades dependientes del tiempo (ciclos de precios).

Incrementar el impacto socio económico (trabajo).

La importancia de la Ley de Corte

Leyes de corte marginales pueden ser utilizadas para:

Incrementar los flujos de caja (sin descontar).

Incrementar la vida de la mina.

Optimizar el uso de los recursos geológicos.

Incrementar las oportunidades dependientes del tiempo (ciclos de precios).

Leyes de corte marginales pueden resultar en:

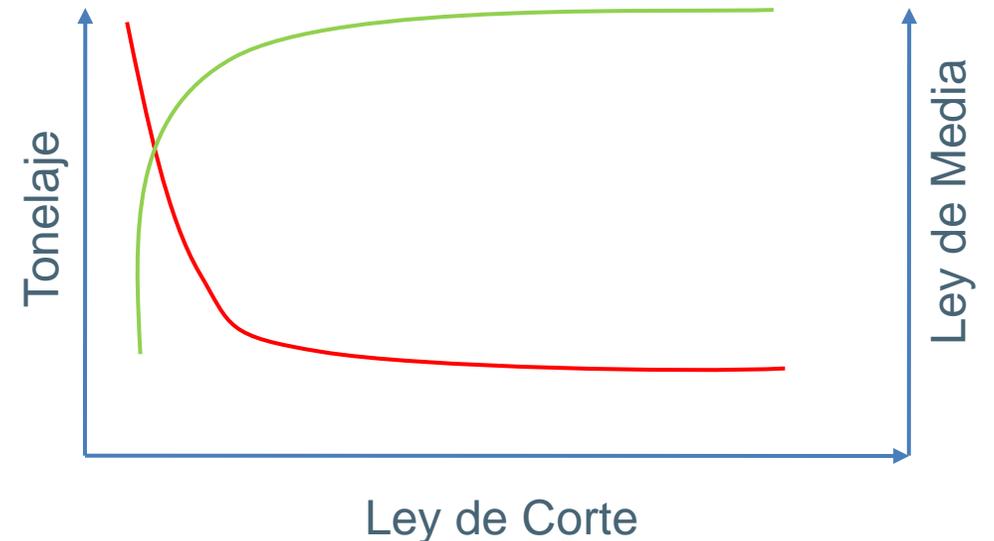
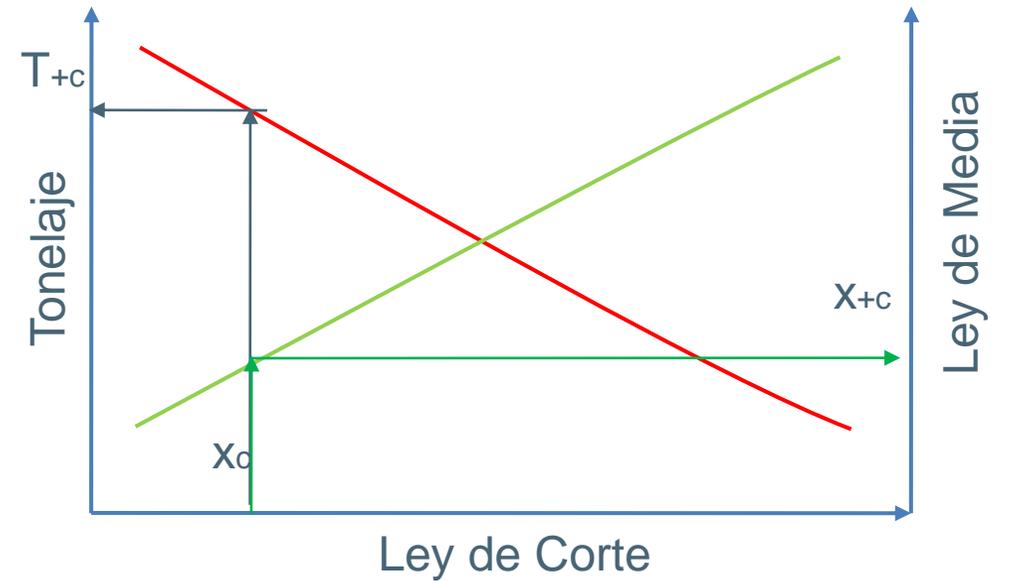
Sobredimensionar las instalaciones en etapas de ingeniería.

Una operación no rentable. Si no se consideran todos los costos apropiadamente, incluyendo los costos de capital.

Curvas Tonelaje Ley

¿Qué representa la curva tonelaje ley?

¿Cuál curva parece más atractiva para la **optimización** de leyes de corte?



Función de Utilidad

La utilidad $U(x)$ de enviar material con ley x a un determinado proceso es:

$$U(x) = U_{\text{dir}}(x) + U_{\text{op}}(x) + U_{\text{ot}}(x)$$

donde:

$U_{\text{dir}}(x)$ = beneficio o pérdida directa de procesar una tonelada de ley x .

$U_{\text{op}}(x)$ = costo de oportunidad o beneficio en el cambiar el proceso agendado.

$U_{\text{ot}}(x)$ = otros costos y beneficios difícilmente cuantificables.

Función de Utilidad

Definamos:

- x la ley del material.
- $U_1(x)$ es la utilidad del proceso 1.
- $U_2(x)$ es la utilidad del proceso 2.
- x_c es la ley de corte de **equilibrio** entre el proceso 1 y el proceso 2

$$U_1(x_c) = U_2(x_c)$$

$$U_1(x) > U_2(x)$$

$$U_1(x) < U_2(x)$$

Ley de corte Marginal

La ley de corte **Marginal** se calcula solo tomando en cuenta los ingresos y costos directos resultantes de extraer y procesar (o botar) una tonelada de material con ley x

Es independiente del impacto en:

Las toneladas totales minadas.

El plan de producción.

La curva tonelaje ley.

El costo de oportunidad y otros costos.

Ley de corte Marginal

Material enviado a Concentradora

$$Udir(x) = x \cdot r \cdot (V - R) - (Mo + Po + Oo)$$

x = ley promedio.

r = recuperación.

V = valor en el mercado de una unidad vendida.

R = costo de refinación.

Mo = costo mina por tonelada.

Po = costo de proceso por tonelada.

Oo = costo overhead por tonelada.

Ley de corte Marginal

Material enviado a Botadero

$$U_{dir}(x) = - (M_w + P_w + O_w)$$

x = ley promedio.

M_w = costo mina por tonelada.

P_w = costo de proceso (de requerirse) por tonelada.

O_w = costo overhead por tonelada.

Ley de corte Marginal

- **Ley de Corte Lastre Mineral:**
- Bloque dentro del pit, **MillCutoff:**

$$x_c \cdot r \cdot (V - R) - (M_o + P_o + O_o) = - (M_w + P_w + O_w)$$

$$x_c = \frac{-(M_w + P_w + O_w) + (M_o + P_o + O_o)}{r \cdot (V - R)}$$

- ¿Qué ocurre si el bloque está en el fondo del pit?

MineCutoff(Breakeven)

Ley de entre dos procesos

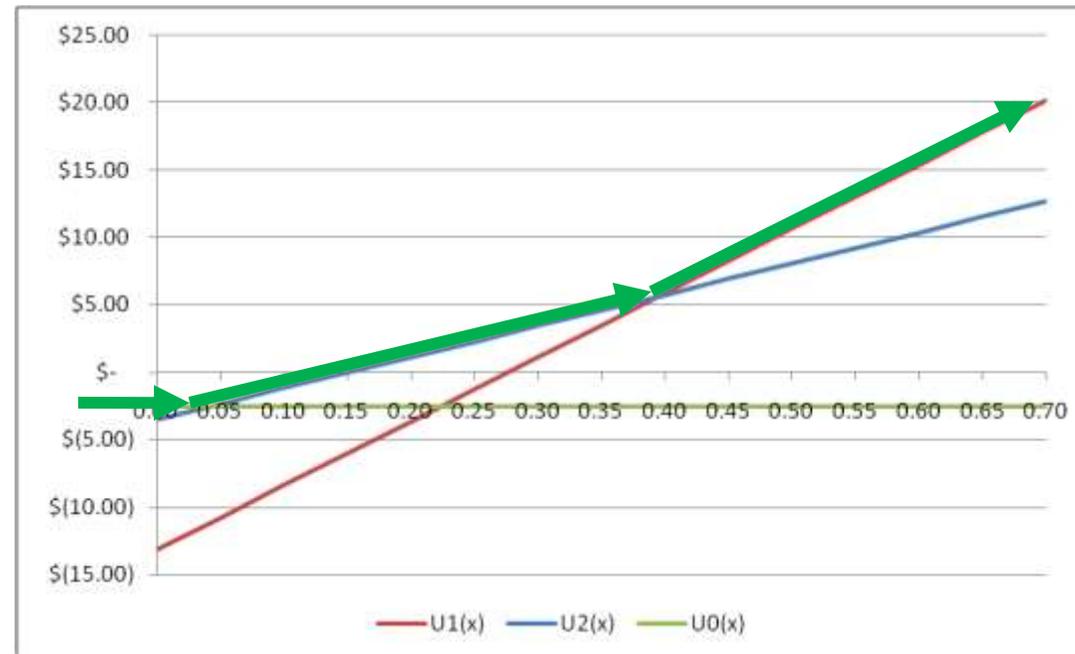
- **Ya existen** dos instalaciones que pueden procesar el mismo material.
- **¿Cómo decidimos** cual material debe ser enviado al proceso 1 o al proceso 2?
- **La decisión depende de la ley, de la recuperación, de los costos y posiblemente de otras propiedades:**
 - Contenido de Azufre.
 - Contaminantes (ej. Arsénico).
 - Contenido de Arcillas.

Ley de corte entre dos procesos

Bloque dentro del pit:

$$x_c \cdot r_1 \cdot (V - R_1) - (M_{o1} + P_{o1} + O_{o1}) = x_c \cdot r_2 \cdot (V - R_2) - (M_{o2} + P_{o2} + O_{o2})$$

$$x_c = \frac{(M_{o1} + P_{o1} + O_{o1}) - (M_{o2} + P_{o2} + O_{o2})}{r_1 \cdot (V - R_1) - r_2 \cdot (V - R_2)}$$



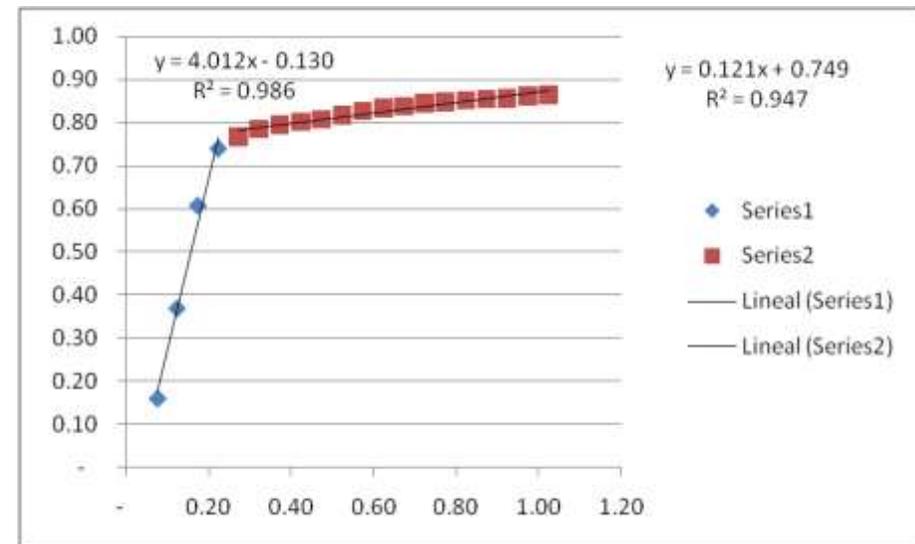
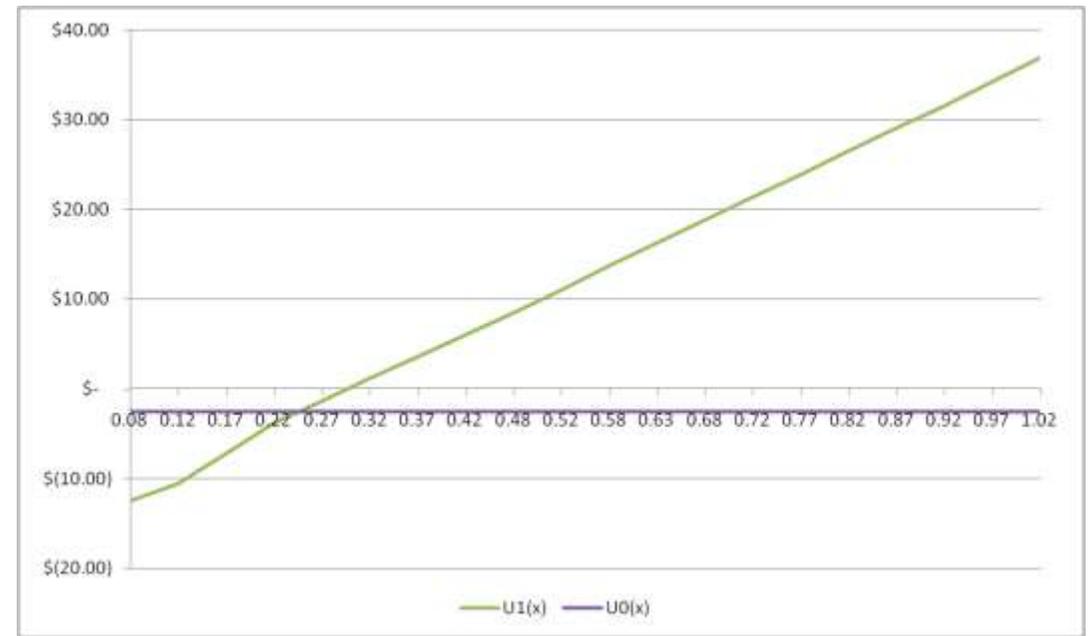
Ley de Corte con Rec Variable

- **Generalmente la recuperación es función de la ley media.**
- **Con recuperación constante:**
$$U_{ore}(x) = x \cdot r \cdot (V - R) - (M_o + P_o + O_o)$$
- **Con recuperación Variable:**
$$U_{ore}(x) = x \cdot r(x) \cdot (V - R) - (M_o + P_o + O_o)$$
- **Se mantiene el método para el cálculo de leyes de corte.**

Ejemplo

Recuperación de sulfuros en función de la ley de alimentación.

Ley de corte marginal obtenida gráficamente.



Ley de corte en yacimientos Polimetálicos

- En depósitos polimetálicos el concepto de ley de corte es una función **compleja** que depende de más de un metal.
- El NSR (Net Smelter Return) representa la relación **monetaria** entre éstos metales.
- NSR = Retorno de las ventas de concentrado, expresado en dolar/ton, **excluye** el costo mina y costo proceso.

$$\text{NSR}(x_1, x_2) = x_1 r_1 p_1 (V_1 - R_1^*) + x_2 r_2 p_2 (V_2 - R_2^*) - (C_s + C_t)/K$$

- p_1 y p_2 corresponden al % de metal pagable en el producto final

Ley de corte en yacimientos Polimetálicos

- El beneficio de enviar una tonelada de mineral a la **planta de proceso** queda definida como:

$$U_{\text{ore}}(x_1, x_2) = \text{NSR}(x_1, x_2) - (M_o + P_o + O_o)$$

- El beneficio de enviar la misma tonelada de mineral a **botadero** queda expresada como:

$$U_{\text{waste}} = - (M_w + P_w + O_w)$$

- El **NSR de corte** entre mineral y lastre dentro del pit final puede calcularse como:

$$\text{NSR}_c(x_1, x_2) = (M_o + P_o + O_o) - (M_w + P_w + O_w)$$

- El **NSR de corte** entre mineral y lastre en el límite (fondo) del pit:

$$\text{NSR}_c(x_1, x_2) = (M_o + P_o + O_o)$$

Ley de corte en yacimientos Polimetálicos

Simplificando la notación de NSR(x1,x2)

$$\text{NSR}(x_1, x_2) = x_1 r_1 p_1 (V_1 - R_1^*) + x_2 r_2 p_2 (V_2 - R_2^*) - (C_s + C_t)/K$$

$$\text{NSR}(x_1, x_2) = a \cdot x_1 + b \cdot x_2 - c$$

Donde a, b, c son constantes,

$$a = r_1 p_1 (V_1 - R_1^*)$$

$$b = r_2 p_2 (V_2 - R_2^*)$$

$$c = (C_s + C_t)/K \text{ (costo de fundición y transporte de concentrado)}$$

Calcule a, b y c para el depósito.

Calcule el NSR de corte entre mineral y lastre dentro del pit final:

$$\text{NSR}_c(x_1, x_2) = (M_o + P_o + O_o) - (M_w + P_w + O_w)$$

Calcule el NSR de corte entre mineral y lastre en el límite (fondo) del pit:

$$\text{NSR}_c(x_1, x_2) = (M_o + P_o + O_o)$$

• Metal 1: Cobre

- Recuperación: 85%
- Pagable en concentrado: 96.6%
- Precio de venta: 2.6US\$/lb
- Costo refinación: 0.15US\$/lb

• Metal 2: Oro

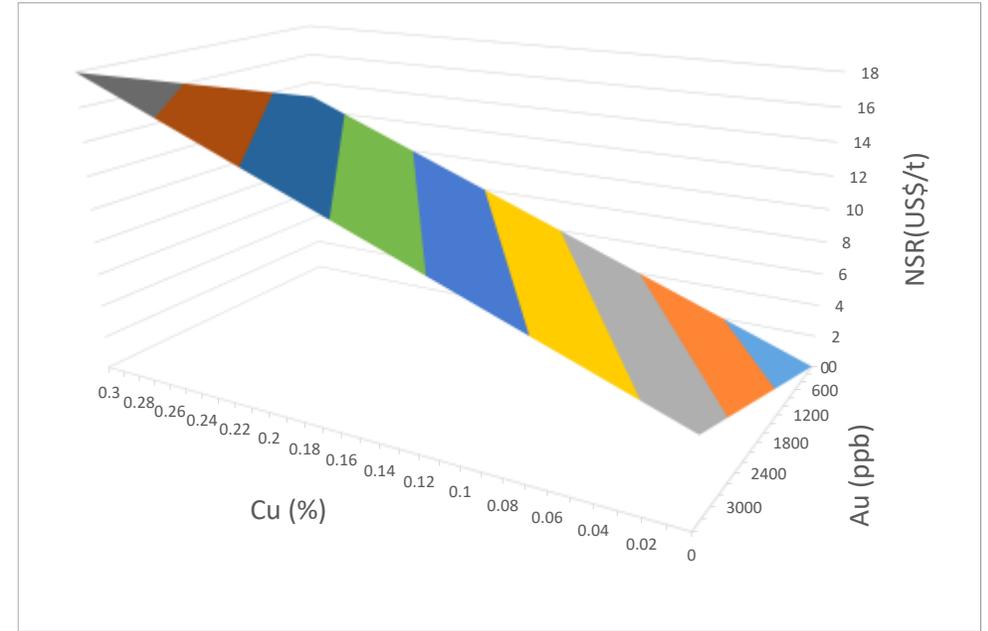
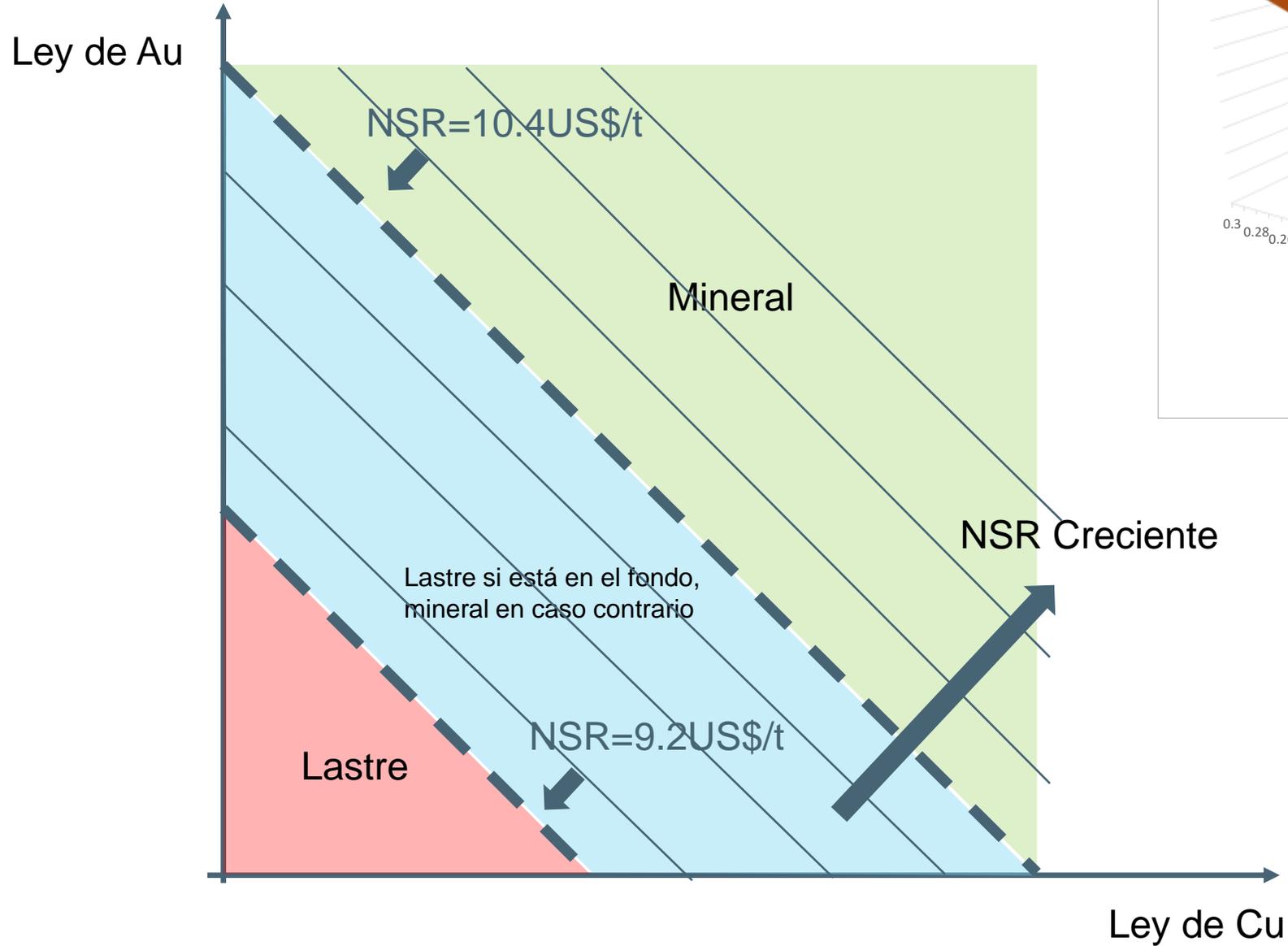
- Recuperación: 60%
- Pagable en concentrado: 95.3%
- Precio de venta: 1000US\$/oz
- Costo de refinación: 200US\$/oz

• Otros costos:

- Costo mina: 1.2US\$/t
- Costo proceso: 7US\$/t
- Overheads: 2.2US\$/t
- Costo fundición y transporte de concentrado: 80US\$/t
- Ley de Cu en concentrado: 28%



NSR de corte Caso 1



Problemas con la Ley de Equivalente

- **Función** del precio de los metales y de las recuperaciones metalúrgicas.
- **Rara vez** es una herramienta útil para calcular las leyes de corte, excepto si la contribución del elemento secundario es pequeña.
- Publicación de reservas en términos del metal equivalente son **muy poco** comunes.
- Agencias reguladoras requieren información **adicional** cuando informan públicamente la reservas usando metal equivalente.