

CDU : 553.08.549.263: 669.02: 661.523 (729.16)

ACERCA DE LA VALORACION INTEGRAL DE LAS MENAS FERRONIQUELIFERAS

Ing. Alain Carballo P. Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN

En el trabajo se realiza, inicialmente, un análisis de la variante de cálculo idónea para la determinación del valor de las menas ferroniquelíferas destinadas al procesamiento metalúrgico carbonato-amoniaco, según los factores condicionales que influyen en la actualidad sobre este problema. Se argumenta la obligatoriedad de utilización del método de valoración basado en el cálculo del contenido condicional de níquel. Además, se esclarecen las ventajas del método de los valores recuperados por componente útil en cada producto.

El desarrollo ulterior del trabajo se destina a la determinación de los pagos adicionales, que hay que considerar según el contenido de cobalto, en cada producto final previsto en el proceso, con lo cual se solucionaría la dificultad fundamental para la valoración de estas menas ferroniquelíferas.

ABSTRACT

This work deals, first, with an analysis of the most convenient estimation variant to determine the potential value of the ferronickeliferous ores, which will be used in the carbonate-ammoniacal metallurgical process, according to the conditional factors that exert influence on this problem at present. Arguments are provided to corroborate the compulsory use of the valuation method based on the estimation of the conditional nickel content.

The advantages of the method of regained value by useful component in each product are underlined, as well. The remaining part of this work is devoted to determine the additional payment that is to be considered according to the cobalt content, in each final product foreseen in the process. By so doing, the main difficulty in the valuation of these ferronickeliferous ores would be overcome.

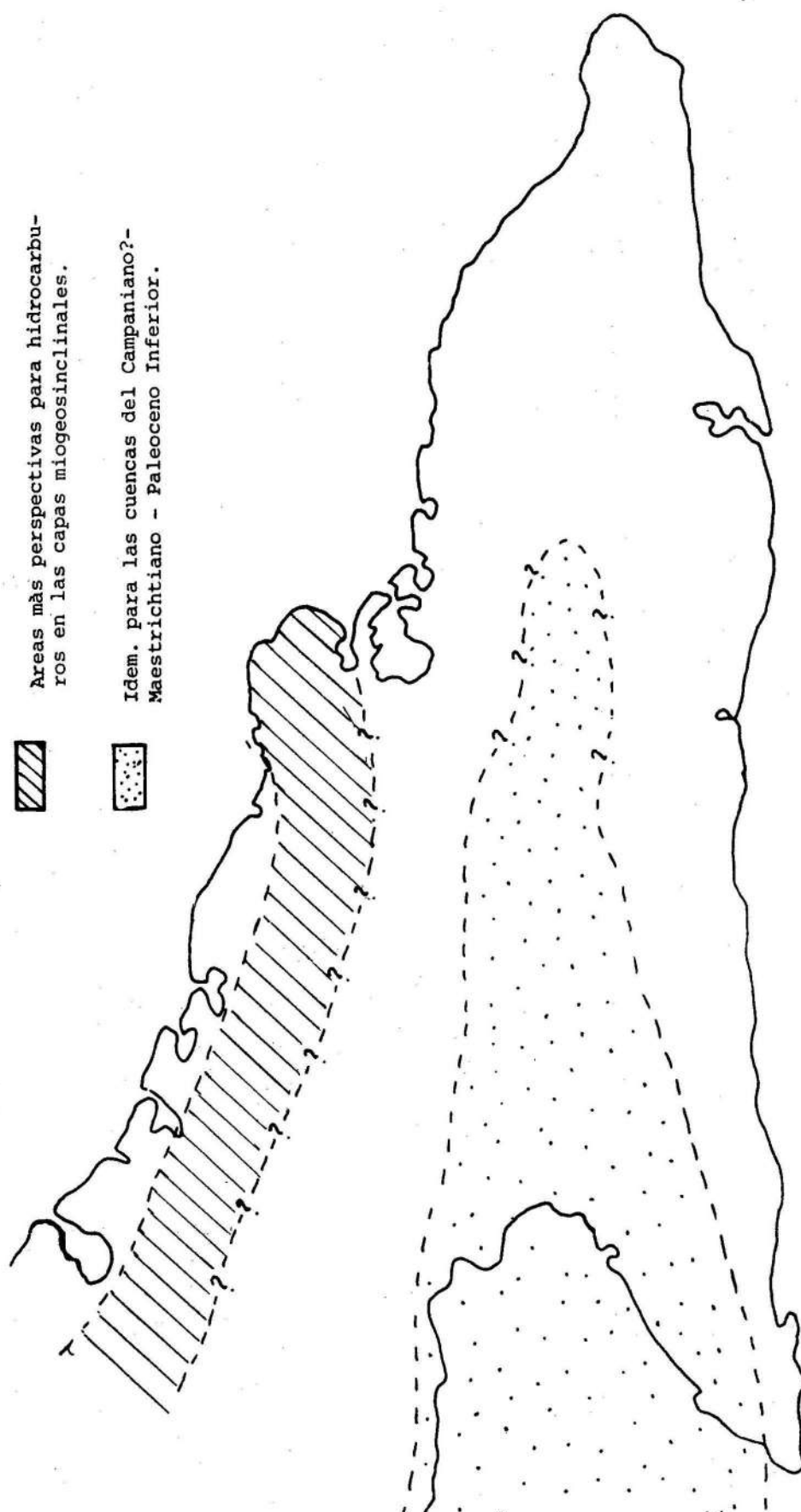


FIG. 4 AREAS FAVORABLES PARA LA BUSQUEDA DE PETROLEO Y GAS EN CUBA OTIENTAL

INTRODUCCION

En este trabajo se abordan los aspectos esenciales acerca de la determinación del valor de las menas ferroniquelíferas destinadas al procesamiento metalúrgico Carbonato-Amóniacal utilizado actualmente en la planta Cmdte. René Ramos Latour y a emplear en las nuevas plantas destinadas a la asimilación de los yacimientos ubicados al este del río Moa y cuyos productos finales según el proyecto técnico, lo constituyen el sinter y el óxido de níquel, aunque se prevé la diversificación de los productos sobre la base de nuevas inversiones que contribuyan a mejorar la eficiencia económica de las mismas.

La determinación del valor recuperado a partir de una tonelada de mena ferroniquelífera se debe realizar considerando siempre la forma en que se valoran los productos finales previstos en el procesamiento metalúrgico, de manera tal, que exista la mayor objetividad en estos cálculos. Además, debe prestarse especial atención a la observancia estricta de los principios y factores de la evaluación geólogo-económica. En correspondencia con ello, debe preverse la valoración de los principales componentes útiles que son recuperados en el proceso, teniendo en cuenta su importancia, contenido y valoración comercial, la posibilidad de separarlos a través de un proce-

samiento ulterior, el destino del producto, las perspectivas del aprovechamiento futuro de otros componentes útiles acompañantes que se pierden en las labores mineras, en el rechazo, en las colas, etc. Dentro de estos componentes se encuentran el Fe, Al, Cr, Mn, cuyas perspectivas de utilización no pueden dejar de preverse.

DESARROLLO

Sobre la base de las particularidades mencionadas anteriormente, la valoración de estas menas se puede realizar utilizando los siguientes métodos:

1. Calculando el valor recuperado (Zr) de los componentes principales (Níquel y Cobalto) en los productos finales y determinando posteriormente el valor recuperado total (mediante las siguientes fórmulas):

$$Z_{r-sint}^{Ni+Co} = \delta_s^{Ni} \cdot P_s^{Ni} + \delta_s^{Co} \cdot P_s^{Co} \quad (1)$$

$$Z_{r-ox}^{Ni+Co} = \delta_{ox}^{Ni} \cdot P_{ox}^{Ni} + \delta_{ox}^{Co} \cdot P_{ox}^{Co} \quad (2)$$

$$Z_{r-tot}^{Ni+Co} = Z_{r-s}^{Ni+Co} + Z_{r-ox}^{Ni+Co} \quad (3)$$

Donde

Z_{r-sint}^{Ni+Co} : Valor recuperado de Ni+Co a partir de una tonelada de mena en el sinter.

Z_{r-ox}^{Ni+Co} : Valor recuperado de Ni+Co a partir de una tonelada de mena en óxido de níquel.

δ_s^{Ni} , δ_s^{Co} : rendimiento de níquel y cobalto en el sinter.

δ_{ox}^{Ni} , δ_{ox}^{Co} : rendimiento de níquel y cobalto en el óxido.

P_s^{Ni} , P_s^{Co} : valoración de una tonelada de sinter, según los contenidos de níquel y cobalto, respectivamente.

P_{ox}^{Ni} , P_{ox}^{Co} : valoración de una tonelada de óxido, según los contenidos de níquel y cobalto, respectivamente.

2. Calculando el rendimiento total Ni+Co a partir de una tonelada de mena para cada producto, y considerando el precio de estos determinar el valor recuperado total (Z_{r-tot}^{Ni+Co}) según la fórmula (3) utilizando previamente las siguientes relaciones:

$$Z_{r-sint}^{Ni+Co} = \delta_s^{Ni+Co} \cdot P_s^{Ni+Co} \quad (4)$$

$$Z_{r-ox}^{Ni+Co} = \delta_{ox}^{Ni+Co} \cdot P_{ox}^{Ni+Co} \quad (5)$$

Donde

δ_s^{Ni+Co} , δ_{ox}^{Ni+Co} : rendimiento total de Ni+Co en una tonelada de mena en el sinter y en el óxido, respectivamente.

P_s^{Ni+Co} , P_{ox}^{Ni+Co} : precio de una tonelada de sinter y óxido, respectivamente, según la valoración actual de estos productos, que considera el contenido total de Ni+Co.

3. Utilizando el contenido de níquel condicional, que considera el contenido de cobalto para el cálculo de rendimiento en cada producto y sobre esa

base determinar el valor recuperado en cada uno de ellos, y con posterioridad utilizando la fórmula (3) calcular el valor recuperado total, utilizando previamente las siguientes relaciones:

$$Z_{r-sint}^{Ni+Co} = \delta_s^{Ni(*)} \cdot P_s^{Ni+Co} \quad (6)$$

$$Z_{r-ox}^{Ni+Co} = \delta_{ox}^{Ni(*)} \cdot P_{ox}^{Ni+Co} \quad (7)$$

Donde

$\delta_s^{Ni(*)}$, $\delta_{ox}^{Ni(*)}$: rendimiento de níquel más cobalto a partir de una tonelada de mena en el sinter y óxido, respectivamente, utilizando el concepto de níquel condicional.

Como se aprecia, cada uno de estos métodos constituyen variantes de cálculo que se diferencian entre sí sólo en la forma óptima para determinar el valor recuperado de una tonelada de mena para cada producto. Por este motivo analizaremos a continuación los métodos expuestos:

La primera variante de cálculo se puede desarrollar solamente cuando para la formación del precio del producto final se considera la valoración diferenciada de cada uno de los componentes útiles principales, sobre la base del contenido de metal.

Sin embargo, para la valoración del sinter y el óxido no se tiene en cuenta esta particularidad, ya

que el precio de una tonelada de estos productos se ha establecido fundamentalmente según su contenido total de níquel más cobalto, por ejemplo, para el sinter 88 % y para el óxido 77 % , esto según las especificaciones de calidad para ambos.

A nuestro juicio esta valoración no refleja una plena justeza debido a las siguientes causas: Al considerar el contenido de cobalto dentro de las especificaciones del producto se le brinda un tratamiento discriminatorio, equivalente a una impureza, elevándose el costo de producción debido al control sistemático de su contenido límite (para el sinter 1,6 % y para el óxido 1,3 %) para mantener la calidad del producto.

Si se tiene en cuenta que el precio del cobalto en el mercado mundial es aproximadamente cuatro veces mayor que el precio del níquel, no sería correcto valorar éstos componentes en su conjunto como dos elementos totalmente equivalentes, es decir con igual valor.

La valoración equivalente de los componentes útiles principales sólo es factible en aquellos casos donde existe una igualdad del valor individual por la compensación del valor por los contenidos, con los costos de recuperación en el proceso o con sus costos de separación por un proceso ulterior, has-

ta la obtención del metal correspondiente .

No obstante debemos aclarar que la utilización de esta primera variante sería la más objetiva y racional, ya que se orienta a la valoración integral de las menas ferroniquelíferas . Sin embargo, para desarrollarla se necesita eliminar la dificultad más importante que está relacionada con la subvaloración del cobalto contenido en los productos finales.

La utilización del segundo método de valoración equivale a admitir directamente las dificultades y limitaciones planteadas anteriormente para el primer método, por lo cual lo consideramos sin perspectivas y utilidad para nuestro análisis. Esta variante de cálculo puede ser utilizada únicamente bajo la condición de la equivalencia casuística de costos y valores planteada anteriormente.

La utilización del tercer método permite evaluar con la objetividad requerida las menas ferroniquelíferas , según las condiciones actuales para la valoración de los productos finales, al posibilitar el incremento del rendimiento sobre la base de la utilización del contenido de níquel condicional para valorar con justicia el contenido de cobalto presente en las menas.

Para la determinación del contenido de níquel condicional, se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_m^{Ni*} = C_m^{Ni} - K_t^{Co} \cdot C_m^{Co} \quad (8)$$

Donde

C_m^{Ni} : Contenido promedio de níquel en la mena.

C_m^{Co} : Contenido promedio de cobalto en la mena.

K_t^{Co} : Coeficiente de conversión para el cobalto

C_m^{Ni*} : Contenido de níquel en la mena.

Para el cálculo del coeficiente de conversión (K_t^{Co}) se utiliza la siguiente fórmula

$$K_t^{Co} = \frac{P^{Co} \cdot K_r^{Co}}{P^{Ni} \cdot K_r^{Ni}} \quad (9)$$

Donde

P^{Ni} , P^{Co} : precio de una tonelada de níquel y cobalto en el mercado mundial.

K_r^{Ni} , K_r^{Co} : coeficiente de recuperación de níquel y cobalto en el producto final.

Para nuestras condiciones de cálculo:

1. Para el sinter

$$K_{t-s}^{Co} = \frac{22\,000 \cdot 15,31}{5\,500 \cdot 56,38} = 1,086$$

Para calcular el precio de una tonelada de níquel se toma el valor aproximado para el sinter de Punta Gorda, y en el caso del cobalto una magnitud cuatro veces mayor, lo cual no influye en los cálculos del K_t pues se mantiene la relación 4:1 .

2. Para el óxido de níquel

$$K_{t-ox}^{Co} = \frac{22\,000 \cdot 5,13}{5\,500 \cdot 18} = 1,091$$

Para el cálculo del rendimiento del níquel y el cobalto en cada producto se utilizará la siguiente fórmula:

$$\delta_{Ni+Co} = \frac{(C_m^{Ni} + K_t^{Co} C_m^{Co}) K_r^{Ni} K_{em}^{Ni}}{C_k^{Ni}}$$

Donde

K_{em}^{Ni} : coeficiente de empobrecimiento del níquel.

1. Cálculo del rendimiento de Ni+Co en el sinter

$$\delta_{s}^{Ni+Co} = \frac{1,32 + (1,086 \cdot 0,09) \cdot 56,38 \cdot 0,015}{86,4} = 0,013\ 877\ 1$$

2. Cálculo del rendimiento de Ni + Co en el óxido

$$\delta_{ox}^{Ni+Co} = \frac{1,32 + (1,091 \cdot 0,09) \cdot 18,80 \cdot 0,015}{76,7} = 0,005\ 214\ 367$$

De tal forma, el cálculo del valor límite recuperado de ambos

componentes en los productos finales es como sigue:

$$\begin{aligned} Z_{r-s}^{Ni+Co} &= 0,013\ 877\ 1 \cdot 5\ 500 \text{ pesos/t - sinter} \\ &= 76,324\ 05 \text{ pesos/t de mena} \end{aligned}$$

Para el óxido

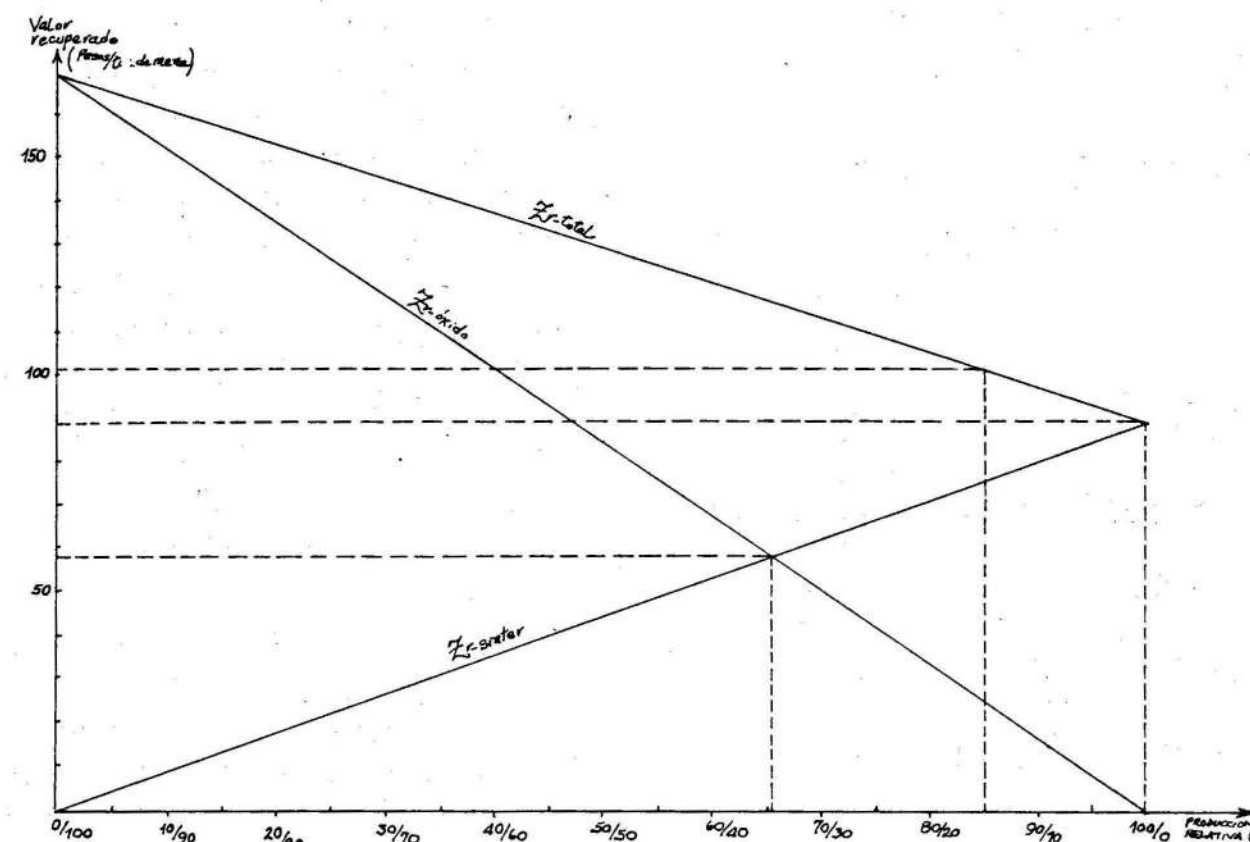
$$\begin{aligned} Z_{r-ox}^{Ni+Co} &= 0,005\ 214\ 367 \cdot 4\ 793,25 \text{ pesos/t - óxido} \\ &= 24,993\ 443 \text{ pesos/t de mena} \end{aligned}$$

Estos valores obtenidos anteriormente están referidos a una producción anual de 25 570 t de níquel + cobalto en el sinter y 4 430 en el óxido.

No obstante, como la demanda de estos productos varía por diversos factores en el tiempo y debido a que el valor recuperable

de níquel - cobalto es función de la producción relativa de ambos, fueron determinados los valores de "Zr" en dependencia de este factor condicional (tabla 1).

Estos resultados se reflejan en el gráfico No.1 del cual se desprenden las siguientes conclusiones.



Anexo gráfico No. 1

Variación del valor recuperado de Ni + Co desde 1 t de mena según la producción relativa Sinter-Óxido de Níquel

TABLA 1. CÁLCULO DEL VALOR RECUPERADO DE NI+CO DESDE 1 T DE MENA SEGÚN LA DEMANDA RELATIVA SINTER-ÓXIDO DE NIQUEL EN PESOS/T DE MENA

Demanda Relativa (%)	0/100	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10	100/0
Valor recuperado											
En el sinter (Z_{r-s}^{Ni+Co})	0,00	8,95	17,91	26,86	35,82	44,77	53,73	62,68	71,64	80,59	89,55
En el Óxido de Níquel (Z_{r-ox}^{Ni+Co})	169,26	152,34	135,41	118,48	101,56	84,63	67,71	50,78	33,85	16,93	0,00
En ambos productos (Z_{tot}^{Ni+Co})	169,26	161,29	153,32	145,34	137,38	129,40	121,44	113,46	105,50	97,52	89,55

$$\delta_{s}^{Ni} = \frac{1,32 \cdot 56,38 \cdot 0,015}{86,4} = 0,012 \ 920 \ 417$$

$$\delta_{s}^{Co} = \frac{0,09 \cdot 15,31 \cdot 0,004}{1,6} = 0,003 \ 444 \ 75$$

2. En el óxido de níquel:

$$\delta_{ox}^{Ni} = \frac{1,32 \cdot 18,80 \cdot 0,015}{76,7} = 0,004 \ 853 \ 194$$

$$\delta_{ox}^{Co} = \frac{0,09 \cdot 5,13 \cdot 0,004}{1,3} = 0,001 \ 420 \ 615$$

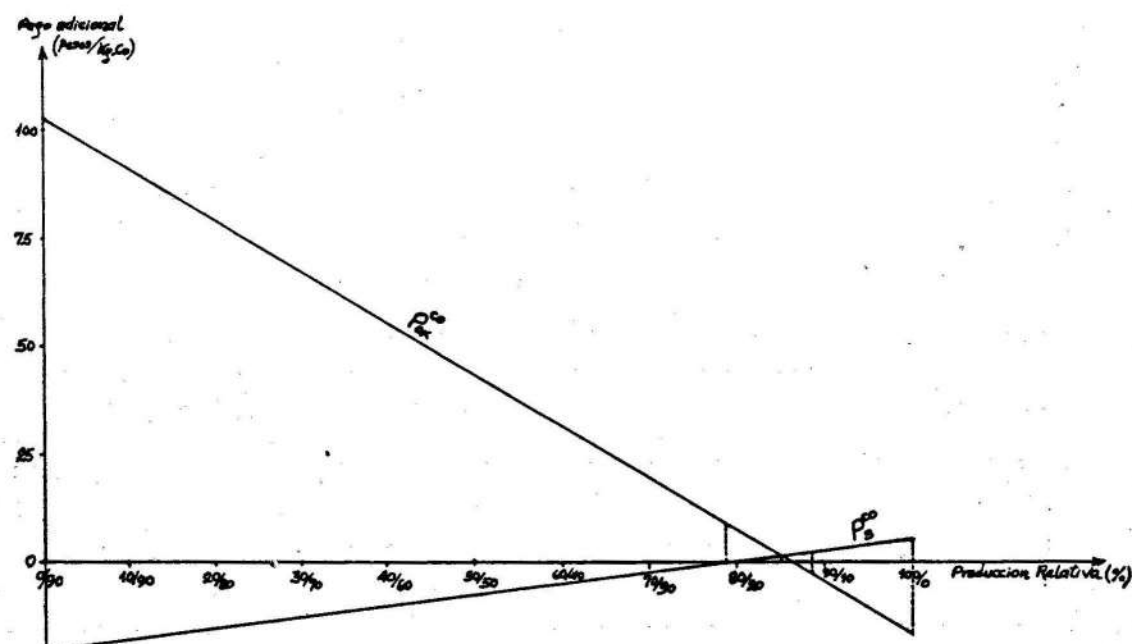
De donde

$$P_{s}^{Co} = \frac{Z_{r-s}^{Ni+Co} - 69,770 \ 16}{3,444 \ 75} = 1,90$$

pesos / kg de cobalto en el sinter

$$P_{ox}^{Co} = \frac{Z_{r-s}^{Ni+Co} - 22,770 \ 16}{1,420 \ 615} = 1,43$$

pesos / kg de cobalto en el óxido



Anexo gráfico No. 2

Determinación del pago adicional por el contenido de "Co" en cada producto según la producción relativa Sinter-Oxido de Níquel

Como se puede apreciar de estos últimos resultados, el pago adicional por el contenido de cobalto es función de los valores recuperados en cada producto los cuales, como ya se ha analizado, pueden variar en el tiempo de acuerdo con la producción relativa establecida o concretada por el organismo comercializador de estos productos (CUBANIQUEL).

Debido a este carácter funcional, fueron calculadas todas las posibles magnitudes de los mismos, las cuales están contenidas en la tabla 2 y reflejadas en el gráfico No. 2 del cual se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El valor recuperado total es función de la producción relativa sinter-óxido de níquel, disminuyendo linealmente respecto a la misma desde 169,26 hasta 89,55 pesos a partir de una tonelada de mena para las magnitudes límites de este parámetro, desde 0/100 hasta 100/0 respectivamente.

2. Para las condiciones del proyecto, con una estructura de la producción final (vease producción relativa) equivalente a 85,23/14,77 de sinter óxido, el valor extraíble total de Ni + Co partiendo de una tonelada de mena equivale a 101,31 pesos, sin considerar la diversificación de los productos finales, ni la recuperación de otros componentes útiles presentes en las menas ferroniquelíferas.

Debido a que las magnitudes de los valores recuperados que han sido determinados, sólo representan valores potenciales que no están respaldados por el sistema de valoración actual, es imprescindible la propuesta del mecanismo que permita la solución de las dificultades existentes, que en esencia consiste en enfoques que subestiman el valor de nuestras menas ferroniquelíferas.

Este mecanismo no puede ser otro que el pago adicional, que es necesario considerar, por cada kilogramo de cobalto presente en

los productos finales.

Para el cálculo del pago adicional por el contenido de cobalto en cada producto, se pueden utilizar los resultados obtenidos despejando en las fórmulas (1) y (2) según las siguientes relaciones:

1. Para sinter

$$P_{s}^{Co} = \frac{Z_{r-s}^{Ni+Co} - \delta_{s}^{Ni} \cdot P_{s}^{Ni}}{1 \ 000 \ \delta_{s}^{Co}}$$

pesos /kg de cobalto en el sinter

2. Para el óxido de níquel

$$P_{ox}^{Co} = \frac{Z_{r-ox}^{Ni+Co} - \delta_{ox}^{Ni} \cdot P_{ox}^{Ni}}{1 \ 000 \ \delta_{ox}^{Co}}$$

pesos /kg de cobalto en el óxido

P_{s}^{Ni} , P_{ox}^{Ni} : Precio de una tonelada de sinter y óxido respectivamente, considerando únicamente el contenido de níquel en estos productos.

$$P_{s}^{Ni} = 5 \ 500 \text{ pesos / t - sinter}$$

$$\frac{86,4 \% \text{ de níquel}}{88,0 \% \text{ de Ni+Co}} = 5 \ 400 \text{ pesos}$$

$$P_{ox}^{Ni} = 4 \ 812,50 \text{ pesos / t - óxido}$$

$$\frac{75,7 \% \text{ de Ni}}{77,0 \% \text{ de Ni+Co}} = 4 \ 731,25 \text{ pesos}$$

Cálculos de los rendimientos en cada producto

1. En el sinter

TABLA 2 . DETERMINACIÓN DEL PAGO ADICIONAL POR EL CONTENIDO DE COBALTO EN CADA PRODUCTO, SEGÚN EL VALOR RECUPERADO CON LA VARIACIÓN DE LA DEMANDA RELATIVA, EN PESOS/KG DE COBALTO

No.	Indicadores de cálculo	Demanda Relativa (%)	0/100	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10	100/0
1	En el Sinter (P_s^{Co})		-20,25	-17,66	-15,05	-12,46	-9,85	-7,85	-4,66	-2,058	0,54	3,14	5,74
2	En el Óxido (P_{ox}^{Co})		102,98	91,07	79,15	67,23	55,32	43,41	31,50	19,58	7,66	-4,25	-16,16
3	Valor Medio		41,37	36,71	32,05	27,39	22,74	17,78	13,42	8,76	4,1	-0,55	-5,21

CONCLUSIONES

1. Para la producción relativa de proyecto, el pago adicional a considerar por cada kilogramo de cobalto contenido en los productos, corresponde a 1,90 y 1,43 pesos para el sinter y óxido respectivamente.
2. Estos valores adicionales por el contenido de cobalto, conducen a una elevación del precio de los productos finales sobre la base de los siguientes incrementos:
para el sinter: 30,44 pesos/t
para el óxido : 18,59 pesos/t
3. De lo anterior se deduce un efecto económico anual (Ea) equivalente a:

Para el sinter

$$Ea = 1,90 \text{ pesos / Kg-Co} \cdot 16 \text{ Kg-Co / t-sinter} \cdot 25\,570 \text{ t-sinter/año} = 778\,369,90 \text{ pesos/año.}$$

Para el óxido

$$Ea = 1,43 \text{ pesos / Kg-Co} \cdot 13 \text{ kg-Co / t-óxido} \cdot 4430 \text{ t-óxido/año} = 82\,353,70 \text{ pesos/año.}$$

Para ambos productos

Total

$$Ea = 778\,369,90 + 82\,353,70 = 860\,723,60 \text{ pesos/año}$$

4. De acuerdo con los resultados obtenidos, los intervalos que reflejan la estructura de la producción final se pueden caracterizar de la forma siguiente:

No.	Producción relativa		Carácter del intervalo
	Desde	Hasta	
	Para el Sinter		
1	0/100	77,9/22,1	Económicamente desfavorable
2	77,9/22,1	85,23/14,77	Con valores admisibles
3	85,23/14,77	100/0	Con valores inadmisibles
	Para el Óxido		
1	0/100	85,23/14,77	Con valores inadmisibles
2	85,23/14,77	86,4/13,6	Con valores admisibles
3	86,4/13,6	100/0	Económicamente desfavorables

REFERENCIAS

1. CARBALLO, A.: Notas del Curso de Postgrado de Búsqueda, Exploración y Evaluación de los Yacimientos de Minerales Sólidos, impartido por el Doc. O.V. Lepin, 1984.
2. KAZHDAN, A.B.; Prospección de Yacimientos Minerales. Editorial Nedra, 1977. Traducción al español por la Editorial MIR, 1982.