Balance metalúrgico: masa, metal y recuperación

MyM Ingenierías

Guía visual para interpretar un balance de concentradora de cobre.

La misma ecuación puede cerrar con datos buenos o malos.

La revisión necesita entender qué representa cada cifra.

El límite y el período del balance



Diagrama conceptual: no representa equipos de una planta real.

$$r = E - S - (I_f - I_i)$$

r residuo no explicado; E entradas; S salidas; I_f inventario final; I_i inventario inicial.

Definir el período y qué corrientes cruzan el límite. Las recirculaciones dentro de ese límite no se suman otra vez como entradas externas.

Fuente: **Gaylard, Randolph y Wortley (2014), pp. 84 y 89**.

Masa, humedad y ley deben compartir una base

Tonelada métrica: 1.000 kg.

$$M_s = M_h\left(1 - \frac{w_h}{100}\right)$$

M_s masa seca y M_h masa húmeda, en toneladas; w_h humedad porcentual sobre masa húmeda.

$$m_{\mathrm{Cu}} = M_s \frac{g_{\mathrm{Cu}}}{100}$$

m_{Cu} cobre contenido en toneladas; g_{Cu} ley porcentual de cobre sobre masa seca.

La humedad del lote y la humedad higroscópica de la muestra analítica son conceptos distintos. Confirmar la base declarada en el informe de laboratorio.

Fuentes: **ISO 10251:2006, resumen público**; **ISO 9599:2015, resumen público**.

Ejemplo ilustrativo de dos productos

Supuestos: mismo período, sin acumulación de sólidos ni cobre; una alimentación y dos productos; sin otras entradas o salidas. Datos ilustrativos, no mediciones de una planta.

Corriente	Masa seca, t	Ley de cobre, % en base seca	Cobre contenido, t
Alimentación	1.000	1,00	10,00
Concentrado	35	25,00	8,75
Relave	965	0,129534 (calculada y redondeada)	1,25

La masa y la ley del relave se obtienen por diferencia. En los cálculos se conserva la fracción sin redondear.

$$g_T = 100\,\frac{1{,}25}{965} \approx 0{,}129534\%$$

Fuente: ejemplo didáctico de MyM, calculado con los supuestos indicados.

Recuperación, ley y rendimiento másico

87,5 %

Recuperación de cobre

$$R_{\mathrm{Cu}} = \frac{8{,}75}{10} \times 100 = 87{,}5\%$$

Proporción del cobre de alimentación que llega al concentrado.

25 %

Ley del concentrado

Cobre en sus sólidos secos.

3,5 %

Rendimiento másico

$$Y_m = \frac{35}{1000} \times 100 = 3{,}5\%$$

Proporción de los sólidos secos de alimentación que llega al concentrado.

Son tres magnitudes diferentes. Estas fórmulas corresponden al ejemplo sin acumulación.

Fuente: cálculo del ejemplo de la tarjeta anterior.

Un cierre construido no verifica las mediciones

$1000 = 35 + 965$	$10 = 8{,}75 + 1{,}25$
Sólidos secos, toneladas (t)	Cobre contenido, toneladas (t)

El cierre exacto resulta de calcular el relave por diferencia; no es una validación independiente.

En un balance real, un residuo puede reflejar inventarios, desfases, corrientes omitidas o errores de medición. No equivale automáticamente a pérdida física.

Mantener identificados los datos medidos, estimados y ajustados, con el motivo de cada ajuste. La tolerancia de cierre depende del propósito y la incertidumbre; no existe aquí un umbral universal.

Fuente: **Gaylard, Randolph y Wortley (2014), pp. 84 y 89-90**.

La cadena que debe poder reconstruirse

01	02	03	04
Masa y período	**Muestreo y preparación**	**Humedad y ensaye**	**Cálculo y reporte**

Documentación: registros originales de masa; identificación e intervalo de las muestras; resultados y base de humedad/ley; inventarios de inicio y cierre; fórmulas y registro de cambios.

El desempeño del laboratorio no reemplaza la calidad del muestreo ni de la medición de masa.

Fuente: Gaylard (2017), ***Variances in Metal Accounting***, LBMA.

Comprobación antes de usar la recuperación

01 ¿Coinciden período y límite físico?

02 ¿Las masas son secas y las leyes declaran su base?

03 ¿Se identifican inventarios y corrientes adicionales?

04 ¿Se distinguen mediciones de valores calculados o ajustados?

05 ¿Se conservan fuentes, fórmulas y controles de calidad?

Lecturas

Gaylard, Randolph y Wortley (2014), ***Metal accounting and corporate governance***.

ISO 10251:2006 y 9599:2015: humedad de lote y muestra analítica.

ISO 10251:2006 · **ISO 9599:2015**

Eurachem/CITAC (2026), ***Guide to Quality in Analytical Chemistry***, sección 28.