

CORRELACION ENTRE ELEMENTOS QUIMICOS PASO PREVIO A LA MICROSCOPIA

Jose Manzaneda Cabala- Edmundo Alfaro Delgado

jmanzedacabala@yahoo.com - ealfaro@pucp.edu.pe

RESUMEN

La geometalurgia es una disciplina que se basa de modo importante en las relaciones que existen entre la Mineralogía y los procesos de la metalurgia extractiva. Una novedosa forma de correlacionar estos dos aspectos se muestra en el presente trabajo.

El análisis químico de una muestra por si solo no es de gran ayuda, pero si se tiene un set de muestras es posible correlacionar entre elementos por regresión lineal y establecer algunas pautas importantes para el inicio de un estudio microscópico. El presente trabajo presenta tres ejemplos en los cuales la regresión estadística entre elementos proporcionó pautas importantes que finalmente fueron corroboradas o por microscopia óptica o de Barrido, mostrando que efectivamente había una relación entre elementos químicos y que confirmaban una presencia importante de una nueva especie mineral o en su defecto una asociación de dos especies mineralógicas cuyo conocimiento seria fundamental en el criterio metalúrgico posterior.

INTRODUCCION

La Geometalurgia es una herramienta de evaluación predictiva en la actividad minera. Se orienta a la actividad de evaluar el yacimiento minero (Geología) en términos de las respuestas metalúrgicas del mineral objeto de evaluación (Metalurgia). En ese contexto, la mineralogía es una herramienta de enorme importancia. El presente trabajo presenta una novedosa forma de correlacionar la mineralogía con evaluaciones metalúrgicas.

REGRESIÓN ESTADÍSTICA

Dados un conjunto de pares (X_i, Y_i) , podemos calcular separadamente para el conjunto de valores X todas las medidas descriptivas (media, moda, mediana, varianza, etc.); similar para los valores de Y_i . Si solo nos interesa el grado de relación entre las variables estamos ante un problema de CORRELACION. Si nos interesa el grado y también el tipo de relación funcional (ecuación) entre las variables estamos ante un tema de REGRESION. Ambas se determinan muy fácilmente con hoja de cálculo.

CORRELACIÓN Y T-STUDENT

La relación entre dos variables esta explicada a través del Coeficiente de Determinación R^2 o también por "r" correlación de Spearman que es la raíz cuadrada del Coeficiente de determinación. Si al usar regresión se establece que hay correlación R^2 (siempre positiva), la relación directa o indirecta estará definida por el signo del Coeficiente, si el coeficiente que entrega la regresión se divide entre el error aparece un nuevo valor estadístico denominado "t" o t-student que es también una varianza, un numero representativo de "significancia" muy utilizado en la estadística moderna y aplicado en calibración de equipos tan importantes como el Analizador en Línea Courier. Generalmente cuando la correlación es alta también el t-student lo es en valor absoluto, existe una relación directa entre las variables si el valor "t" es positivo y una relación indirecta si es negativo, pero lo importante es que habrá significancia estadística si los valores son mayores que 2 (positivo o negativo); obviamente los valores de t tienen límites según un grado de confianza estadística y pueden ser determinados a partir de Tablas Estadísticas corrientes y conocidas, por ejemplo para $n=9$ al 95% de confianza el valor de t es 1.82 y a medida que aumenta el numero de eventos va incrementando ese valor; la calibración del Courier establece t mayor que 2 (en valor absoluto) para que el coeficiente sea significativo en la

ecuación. El valor estadístico t-student también se aplica en los análisis de regresión del Diseño Experimental

MICROSCOPIA

El estudio microscópico utiliza esencialmente dos tecnologías: Microscopía Óptica (MO) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)); en la primera, como su nombre lo indica la identificación se basa esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible, mientras que en la segunda se utiliza el nivel de brillo de una imagen electrónica generada por electrones retrodispersados (Rayos X) generados por los minerales del campo de observación

En la MO, la experiencia y el nivel de conocimientos mineralógicos del operador son determinantes y un experto puede efectuar la identificación específica o genérica de la mayoría de los minerales significativos para el tratamiento metalúrgico, en tiempo relativamente corto y con suficiente exactitud. En la MEB, el nivel de brillo de la imagen electrónica es supuestamente característico de una especie mineral por cuanto está relacionado con el número atómico promedio de dicha especie y puede ser utilizado para discriminar entre especies minerales; sin embargo, esto no es siempre posible, debido simplemente a que algunos minerales tienen niveles de brillo casi idénticos o a que la composición química de muchos minerales es bastante variable lo que produce que un mismo mineral presente una gama de valores en sus niveles de brillo. De allí que usualmente la MEB requiere del apoyo de equipos analíticos de alta precisión (esencialmente sensores para registros espectrales de la radiación de rayos X producida) y “softwares” auxiliares, lo que ha dado lugar al desarrollo de tecnologías cada vez mas sofisticadas como el sistema automatizado de análisis mineralógico QemSCAN o el sistema MLA; en ambos casos, la tecnología auxiliar se aplica simultáneamente con la observación, es decir en tiempo real. Es obvio que la identificación mineralógica efectuada mediante MEB apoyada en los sistemas de análisis automatizados como los mencionados es muchísimo mas veloz que cuando se utiliza MO y esto es especialmente ventajoso cuando se trata de partículas minerales **extremadamente pequeñas** donde la correcta determinación de sus propiedades ópticas se ve fuertemente afectada por las limitaciones instrumentales.

APLICACIÓN EN PROCESAMIENTO DE MINERALES

CABEZA DE MINERAL

Para establecer relaciones típicas entre elementos químicos por regresión, las fracciones que resultan del análisis granulométrico y de las cuales que se confeccionaran las probetas pulidas, también fueron analizadas químicamente, el resultado está en el cuadro siguiente:

PRODUCTOS	Análisis Químico				
	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM
Cabeza malla 70	0.25	6.77	0.09	9.93	0.33
Cabeza malla 100	0.35	12.58	0.16	18.24	0.59
Cabeza malla 140	0.45	13.33	0.16	22.47	0.64
Cabeza malla 200	0.83	13.83	0.17	22.78	0.75
Cabeza malla 325	0.86	14.94	0.18	24.10	0.76
Cabeza malla - 325	1.27	13.38	0.18	22.96	0.89
Total	0.85	12.75	0.16	21.13	0.73

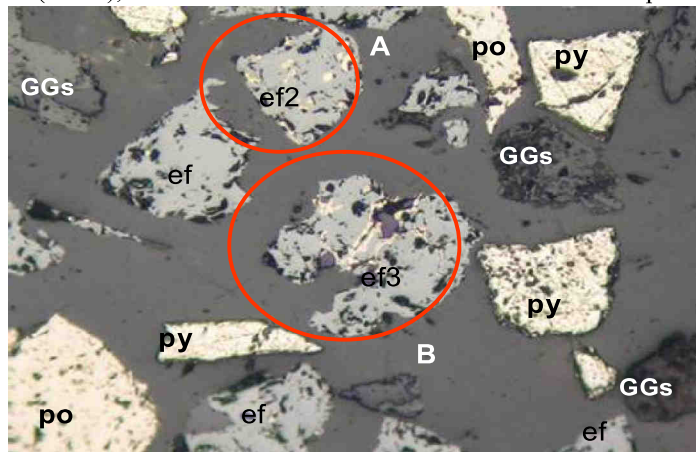
REGRESIONES ENTRE ELEMENTOS

El resumen de las correlaciones y valores estadísticos “t-student” aparece en la siguiente Tabla:

ELEMENTOS	CORR	t
PLOMO-ZINC	0.370	1.71
PLOMO-COBRE	0.513	2.30
PLOMO-HIERRO	0.494	2.21
PLOMO-PLATA	0.822	4.80
ZINC-COBRE	0.956	10.43
ZINC-HIERRO	0.952	9.99
ZINC- PLATA	0.755	3.92
COBRE-HIERRO	0.930	8.13
COBRE-PLATA	0.879	6.03
HIERRO-PLATA	0.841	5.14

Considerando que un valor estadístico t POSITIVO y mayor de 2 es una posible relación mineralógica y que, por el contrario, si el signo es NEGATIVO, es posiblemente un resultado de contaminación por el proceso de flotación; el análisis de la tabla anterior nos indica lo siguiente:

- En lo que se refiere a la ley de PLOMO en la cabeza de mineral, es muy posible que a mayor contenido de Plomo haya mas plata (+4,80) y que el COBRE y HIERRO sean elementos ligeramente importantes (+2.30 y +2.21), probablemente teniendo que ver con mixtos más que con especies nuevas. No hay una relación directa de ley de cabeza de Plomo con Zinc (+1.71).
- La ley de cabeza en ZINC tiene una importante correlación con COBRE (+10.43) y además con HIERRO (+9.99), esto debe referirse a la presencia de cobre como calcopirita incluida en esfalerita o lo que corrientemente ya conocemos como ef2 por lo tanto será un tema importante a considerar durante la microscopia cuantitativa.
- La presencia del COBRE en cabeza de mineral aparentemente esta relacionada con el HIERRO (+8.13), tal vez como calcopirita (CuS_2Fe), y posibles cobres grises por la relación con PLATA (+6.03), eso debe determinarse en el examen al microscopio



Fotografía No. 1 La microscopia confirma la presencia de ef2 (calcopirita incluida en esfalerita). Luego ef3 (pirrotita incluida en esfalerita), además determina la presencia de pirrotita y piritita. Todos estos factores son importantes para la flotación de este tipo de mineral.

BISMUTO

Para detectar la relación mineralógica de bismuto, que es una impureza penalizada en concentrados, en una muestra suministrada por geología de una zona especial, se hizo una prueba de flotación cuyos resultados son los siguientes:

Datos y Regresión

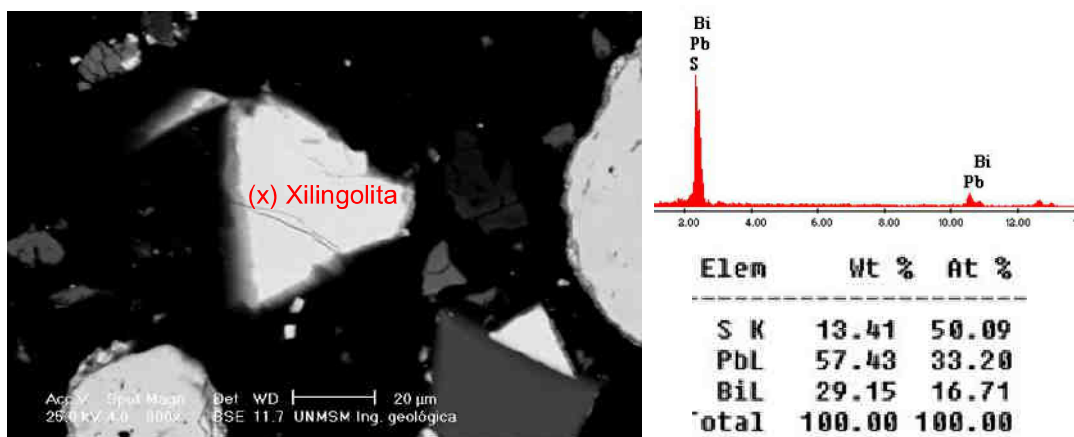
prueba	DESCRIPCION	%PB	%Bi	%Zn	%Cu	%Fe	Onz/TM Ag	%Mn
4	Espuma Pb 1	33,76	3,238	17,53	5,46	7,61	54,50	0,18
4	Espuma Pb 3	12,21	1,688	30,41	5,95	9,48	27,01	0,30
4	Espuma Pb 7	2,22	0,498	39,95	3,65	8,96	7,07	0,39
4	Relave intermed	0,14	0,026	36,94	0,35	9,24	0,16	0,53

El cuadro resumen de las correlaciones y los valores t-student entre elementos químicos, descartando los menores a 2 en valor absoluto, es el siguiente:

	CORR.	t
BISMUTO-PLOMO	0.97	8.37
BISMUTO-ZINC	0.93	-4.97
BISMUTO-COBRE	0.62	1.79
BISMUTO-HIERRO	0.58	-1.66
BISMUTO-PLATA	1.00	51.41
BISMUTO-MANGANESO	0.92	-4.96
COBRE-PLATA	0.59	1.69
COBRE-HIERRO	0.10	-0.48

Análisis del Cuadro t-student

El análisis de regresión indica que hay una alta correlación entre valores de PLOMO-BISMUTO (+8.37) y una importante valor t para la relación BISMUTO-PLATA (+51.41) con lo que se espera una importante asociación mineralógica entre los valores Pb-Bi-Ag que debe ser corroborada por MEB. Esta posible relación mineralógica fue parcialmente confirmada por C. Cánepa quien identificó la presencia de “Xilingolita” (Pb₃Bi₂S₆) o sulfosal de plomo-bismuto



Fotografía No. 2 Muestra el punto de análisis de rayos X del MEB que define la presencia de Xilingolita

ARSÉNICO Y ANTIMONIO

Estos dos contaminantes están presentes en ambos concentrados de una separación de Plomo-Cobre por flotación. El análisis se hace con muestras de FLOTACIÓN Pb-Cu

ANALISIS DE MALLAS EN PRODUCTOS DE FLOTACION PLOMO COMUN

PRODUCTOS		%Pb	%Zn	%Cu	Oz/TCAg	%Fe	%As	%Sb
Espuma Ok30	Malla 100	64.44	3.24	2.56	68.96	1.36	1.148	1.760
	Malla 200	69.08	4.46	3.04	78.73	1.48	1.260	1.788
	Malla 325	73.10	3.62	2.42	72.90	1.00	0.890	1.115
	Malla -325	73.32	2.84	2.42	69.40	0.80	0.982	1.128
Bulk Pb-Cu	Malla 100	50.56	9.52	4.28	77.56	3.74	1.148	1.410
	Malla 200	47.52	9.50	5.78	93.75	5.92	1.774	2.056
	Malla 325	38.10	14.60	5.20	79.02	6.98	1.672	1.794
	Malla -325	47.90	12.38	3.92	70.13	3.62	1.366	1.538
2da. Limpieza	Malla 200	25.04	6.46	22.62	292.47	1.72	5.942	9.760
	Malla 325	44.06	7.92	12.94	181.38	1.40	3.644	4.624
	Malla -325	57.20	9.90	5.46	98.27	1.18	1.890	2.378

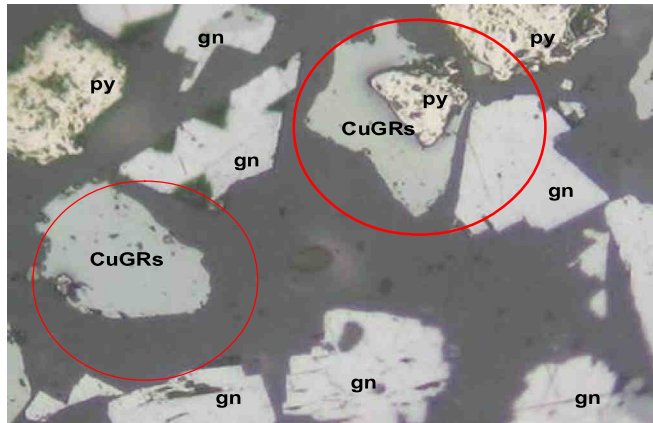
El resultado del análisis de regresión está en el siguiente cuadro :

	Correlacion	t-student
ARSENICO-PLOMO	0.583	-3.55
ARSENICO-ZINC	0.004	0.19
ARSENICO-COBRE	0.993	36.08
ARSENICO-PLATA	0.985	24.24
ARSENICO-HIERRO	0.012	-0.33
ARSENICO-ANTIMONIO	0.976	19.02
ANTIMONIO-PLOMO	0.509	-3.05
ANTIMONIO-ZINC	0.001	-0.09
ANTIMONIO-COBRE	0.971	17.36
ANTIMONIO-PLATA	0.982	22.07
ANTIMONIO-HIERRO	0.029	-0.52
PLATA-COBRE	0.986	25.50
PLATA-PLOMO	0.493	-2.96
COBRE-PLOMO	0.607	-3.73

El análisis del resultado expresa lo siguiente:

1. El arsénico esta muy ligado al cobre y plata (+36.08, +24.24)
2. El antimonio también esta ligado al cobre y plata (+17.36, +22.07)
3. El cobre esta altamente ligado a la plata (+25.50)
4. La ley de plomo tiene una relación negativa con cobre (-3.73), plata(-2.96), arsénico(-3.55) y Antimonio (-3.05)
5. El arsénico no tiene relación con zinc (+0.19), ni Hierro (-0.33)
6. El antimonio no tiene relación con zinc(-0.09), ni Hierro (-0.52)

Lo anterior significa en pocas palabras: “Un mayor contenido de arsénico y antimonio en los concentrados de cobre tiene relación con la presencia de un mayor contenido de plata; posible presencia de COBRES GRISES (Tetrahedrita-Tennantita)”



Fotografía No. 3 Por microscopia se confirma la presencia de cobres grises en el bulk plomo-cobre y esto significará altas leyes de plata pero también de arsénico y antimonio en los dos concentrados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo indica que el análisis de regresión entre elementos químicos es una herramienta importante previa a un trabajo de microscopia aplicada en productos de un proceso metalúrgico Por consiguiente, esta aplicación también se convierte en un elemento de apoyo en la elaboración de los planes Geometalurgicos.

BIBLIOGRAFIA

- Rincoin, M.E. 2005. Regresión Lineal Curso Estadística Universidad Nacional Federico Villarreal
Cánepa, C y Manzaneda J. 2005. La Microscopia Óptica y los Proceso Metalúrgicos XXVII Convención Minera. Trabajo Técnico TT-105
Manzaneda, J 2004. Presencia de Arsénico y Antimonio en Atacocha Documento Interno CMA
Cánepa, C 2004 .Informe de estudio No. 03-004 MEB en concentrados de Atacocha. Documento Interno CMA
Manzaneda, J 2004. Bismuto en cuatro tajeos de Atacocha. Documento interno CMA