

Análisis de la relación mineral de alimentación vs eficiencia de una empresa niequelífera con proceso caron

Analysis of the ore feed ratio vs efficiency of a business process niequelífera with caron

**MSc. Ramón Eddie Peña-Abreu^I, Lic. Andys Marcos Ramírez-Aberasturis^I,
Ing. Leonel García-Olivero^I, Ing. Gerardo Menes-Vueltas^{II}**

I: Centro de Investigaciones del Níquel. rpena@cil.moa.minbas.cu

II: Empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna

RESUMEN

Durante un año de operaciones mineras e industriales en el que se presentaron inestabilidades en ambos eslabones del proceso, en una planta niquelífera con tecnología Caron, sucedieron problemas con la eficiencia, no se conocía con claridad los orígenes de tal situación y se dudaba de la calidad de los materiales alimentados, se estimaba que la introducción de minerales atípicos fuesen la causa del problema; por lo que se hizo necesario evaluar el comportamiento metalúrgico y su relación con la alimentación de la materia prima procedente de los diferentes yacimientos en explotación. Se planteó como objetivo la evaluación de la influencia que sobre el comportamiento del proceso metalúrgico ejercieron los minerales alimentados. La estadística multivariada fue la herramienta que permitió validar los comportamientos, con ella se determinó que las malas operaciones fueron la causa fundamental de la ineficiencia. Se obtuvo la distribución de probabilidad en cada una de las variables, lo que permitió conocer la naturaleza de los procesos de alimentación y la correspondencia con las salidas.

Palabras claves: análisis de procesos, componentes principales, clasificación.

ABSTRACT

During a year of mining and industrial operations in which instabilities occurred in both links of the process, at a nickel plant with Caron technology; efficiency problems occurred, the origin of this situation was not known clearly and there were doubts about the quality materials supplied, it was estimated that the introduction of atypical minerals were the cause of the problem so that it became necessary to evaluate the metallurgical performance and its relation to feeding the raw material from different sites in operation. The evaluation of the influence exerted by the fed minerals on the performance of metallurgical process was set as objective. The multi varied statistical study was the tool that allowed us to validate the performances, it was determined that poor operations were the main cause of inefficiency. We obtained the probability distribution in each of the variables; which allowed knowing the nature of the feeding processes and its correspondence with the outputs.

Keywords: industrial process analysis, main components, classification.

INTRODUCCIÓN

Son muchas las fuentes que originan ineficiencia en las industrias metalúrgicas de procesamiento de minerales. Las fallas y deterioro de los equipos, las malas operaciones, así como las fluctuaciones en la calidad del mineral, pueden ser las fuentes de comportamientos indeseables. Cuando se conocen las causas de las inestabilidades es sencillo tomar una decisión acertada, sin embargo, no siempre es esta la situación en dichas empresas. En la dinámica de la industria ocurren fenómenos transitorios, que en ocasiones aparecen y desaparecen, sin que se conozca el motivo; puede ser por la combinación de diferentes situaciones negativas o por una desconocida [7]. La insuficiencia en el conocimiento de las causas que provocan las anomalías en el proceso constituyó el problema que se enfrentó en la presente investigación.

Durante un año de operaciones se pueden encontrar inestabilidades en todas los eslabones del proceso, que afectan la eficiencia metalúrgica, sin que se puedan definir los orígenes de cada situación; en el período elegido para el estudio se sospechaba que los materiales alimentados habían incorporado minerales atípicos y se desconfiaba de la representatividad en las pruebas metalúrgicas realizadas a uno de los yacimiento incorporados en explotación. Por lo que el objetivo fundamental de la investigación fue la evaluación de la influencia que los minerales alimentados ejercieron sobre el comportamiento del proceso metalúrgico.

Se expone un estudio retrospectivo del comportamiento industrial, con vistas a definir la procedencia de las ineficiencias que ocurrieron durante el período de un año. Con ello se pretendió establecer el conocimiento del proceso para la toma de decisiones en el futuro.

Se ha supuesto que con la utilización de la estadística multivariada para el procesamiento de la información disponible del proceso, se puede establecer la combinación de situaciones que dieron origen a los períodos de ineficiencia en el

año estudiado. Se realizó un estudio total de las variedades de comportamientos industriales y de los minerales alimentados, así como de su influencia en los resultados metalúrgicos; de esta se reveló que el eslabón metalúrgico generó las ineficiencias y no los minerales alimentados.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El análisis de procesos con técnicas multivariada ha sido utilizado con éxito en diversas ramas de la ingeniería, en [1] se utiliza en el estudio del comportamiento de las Variedades de Tabaco; en [5] se implementa para la Clasificación de Kerosinas; en [6] se determinan las causas de degradación del óxido de níquel, todos han seguido una secuencia que comienza con un Análisis en Componentes Principales (ACP) y luego con el Análisis de Clasificación (AC), propuesta también por varios autores, pero que sintéticamente se expone en [3,4]. Por lo anterior se ha propuesto realizar el análisis de la relación mineral de alimentación vs eficiencia con métodos multivariado utilizando el software Spad, para identificar las variedades de comportamientos y las variables que rigen el proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados en la investigación fueron la cantidad de mineral alimentado de cada yacimiento, los índices de eficiencia, así como las variables de operación y control industrial, tomadas por fechas y turnos. La captación y preparación de los datos se realizó mediante el uso de las herramientas de Microsoft Excel; en el procesamiento estadístico se utilizaron dos software, la versión 5.1 del Statgraphics y la versión 5.6 del Spad. Es válido aclarar que los datos fueron elegidos de los períodos de mayor representatividad, aquellos en que hubo estabilidad y otros en que ocurrieron los comportamientos extremos.

En el presente artículo se le denomina variables de entrada a todas aquellas que describen el mineral alimentado así como los parámetros del proceso y variables de salida a las que muestran los resultados después del procesamiento de los minerales. En la base de datos los campos contienen las variables de entrada y salida. Las variables que dependen funcionalmente de otras no participan directamente en el cálculo estadístico y se le denominan variables suplementarias, tal es el caso de los extractables que dependen de la contracción de los elementos de interés, Ni, Co y Fe. A todas las que participan en los cálculos estadísticos las denominaremos variables activas, y son solo a aquellas que son el resultado de las mediciones en el mineral o en el proceso. Las variables suplementarias dependen funcionalmente de las variables activas. Se entenderá por individuo a una muestra que tiene valores en cada una de las variables estudiadas, que se corresponden con los datos de la operación en los turnos de una fecha dada, los cuales se encuentran en un registro de la base de datos.

La búsqueda de regularidades estadísticas en las variables activas se inició con un estudio descriptivo básico y con pruebas de bondad de ajuste para definir el tipo de distribución probabilística de cada una de ellas, lo que indicó en cada comportamiento los parámetros a tener en cuenta durante la interpretación de la información.

Se realizó un estudio multivariado utilizando el software Spad, en una secuencia que comienza con un Análisis en Componentes Principales (ACP) y luego con el Análisis de Clasificación (AC), este último permite identificar las variedades de comportamientos. Esta secuencia de métodos han tenido éxito en estudios similares [1, 7-8]. Se introdujo una tabla de datos con 136 registros y 47 variables.

El Spad devuelve un gráfico del ACP que toma la forma de un círculo de radio unitario, en el cual cada variable está representada por un vector. Las más representativas se muestran con una longitud cercana o igual al extremo del círculo y viceversa, las de menor longitud son menos representativas en ese plano factorial. La correlación se lee en el ángulo formado entre los vectores que representan las variables, los ángulos más agudos muestran buenas correlaciones positivas; los llanos o cercanos a este, negativas y los rectos o cercanos a él, muestran independencia. La matriz de correlación se devuelve en ficheros de texto y en formato de M. S. Excel. El gráfico representa el plano factorial que acumula el mayor porcentaje de información.

En el AC, se evalúa la relación entre los individuos utilizando medidas de similitud y disimilitud, utilizando un algoritmo jerárquico y otro mixto, los detalles se exponen en [3]. Los resultados se muestran en un gráfico factorial, los ejes definen las tendencias del comportamiento, representando con puntos los individuos, esto facilita agruparlos por su similitud a simple vista. El resultado de la clasificación se muestra coloreando los puntos de cada clase. En procesos o fenómenos cuyos estados se diferencian nitidamente, es fácil identificar las clases de forma visual. Cuando la cantidad de datos es amplia, como en el presente trabajo, es necesaria la clasificación automática.

El software devuelve: un informe con el aporte de cada individuo a todo el sistema, su representatividad en cada eje factorial y la pertenencia a cada una a las clases; además caracteriza las clases en las variables activas y suplementarias valorando su contribución en la formación de cada clase. La retroalimentación con los datos originales facilita el establecimiento de las tendencias de comportamiento en los ejes factoriales.

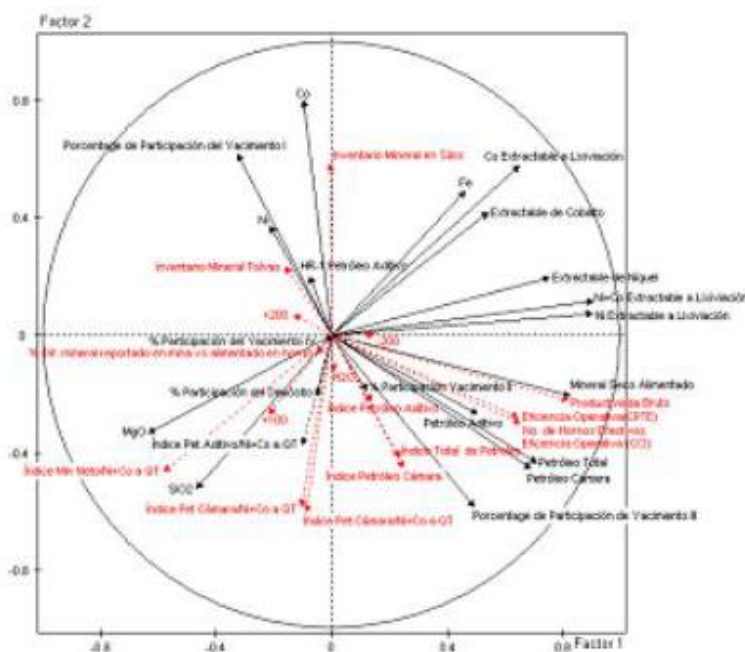
El análisis del especialista contribuye a complementar el cálculo del software y a corregir puntos fronterizos entre clases.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Análisis estadístico preliminar

En la alimentación al proceso, el Ni, el Fe y el Co muestran un comportamiento que se ajusta a una distribución de Erlang, evidenciando un comportamiento discreto en el período estudiado. La sílice (SiO_2) y el óxido de magnesio (MgO) no mostraron ajuste a ninguna de las distribuciones conocidas, lo que indica la existencia de una mezcla de poblaciones, donde resulta difícil encontrar leyes que relacionen el comportamiento probabilístico de estas variables con las de interés metalúrgico. Es opinión de los autores que esta situación puede estar relacionada con el tratamiento de beneficio que se le realiza a los minerales antes de arribar a la reducción, influenciado por el caótico comportamiento mineralógico del material laterítico, que además está directamente relacionado con la composición granulométrica [9-11].

Ver a continuación el gráfico 1.



Del gráfico 1 se deduce que el porcentaje de participación de los yacimientos en las fechas elegidas para el análisis, no presentan correlación alguna con las variables que indican la eficiencia extractiva del proceso (extractables de Ni y Co). Durante el año, la mayor cantidad de mineral alimentada en la industria procedió del Yacimiento I, le siguió en aporte el Yacimiento III. Entre ellos la relación es de 0,36; la alimentación del depósito y de los Yacimientos IV, II, fue pequeña y esporádica por lo que no se tiene en cuenta. La correlación entre los aportes de los Yacimientos I y III, se muestra inversa y es la expresión de que ambos participaron complementando el plan diario de producción; así se muestra en la tabla 1.

	Yacimiento I	Yacimiento II	Yacimiento III	Yacimiento IV	Depósito	Masa Total
Relación con el Yacimiento I	1.00	0.02	0.36	0.04	0.19	0.62
%	62.04%	1.30%	22.42%	2.19%	12.03%	100.00%

La matriz de la tabla 2, que corresponde al gráfico 1, muestra los valores de las correlaciones entre las variables; al contrastar los resultados en el gráfico, se pudo

observar que Algunos valores de las correlaciones no alcanzan valores significativos (<0.5), sin embargo tampoco son sustancialmente pequeños y en algunos casos pudieran indicar una tendencia a la relación, esta situación se puede observar entre las variables alimentación de mineral de los Yacimientos I y II con el % Ni, de interpretarse como una posible relación a tener en cuenta en futuras investigaciones, se incurriría en un error de interpretación. Desde el punto de vista estadístico implicaría un estudio adicional sobre estas variables que permitiera aclarar la existencia o no de esta relación. Si se analiza con mayor detalle no es difícil esclarecer que estas tendencias no se pueden tomar como válidas; se conoce que el Ni se ha medido después del beneficio del mineral, donde resulta imposible definir su relación con la participación de los yacimientos en el proceso.

Tabla 2
Matriz de correlación

	Mineral Seco Alimentado	Extractable Ni	Extractable Co	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Petróleo en Cámara	Petróleo Aditivo	% Participación Yacimiento I	% Participación Yacimiento III
Mineral Seco Alimentado	1,00											
Extractable Ni	0,44	1,00										
Extractable Co	0,29	0,67	1,00									
Ni	-0,15	-0,25	-0,09	1,00								
Co	-0,19	-0,07	0,19	0,35	1,00							
Fe	0,15	0,53	0,29	-0,15	0,23	1,00						
SiO ₂	-0,23	-0,37	-0,23	0,11	-0,29	-0,65	1,00					
MgO	-0,34	-0,56	-0,30	0,21	-0,09	-0,70	0,88	1,00				
Petróleo en Cámara	0,65	0,44	0,21	-0,26	-0,46	0,15	-0,08	-0,28	1,00			
Petróleo Aditivo	0,35	0,23	0,07	-0,09	-0,09	0,08	-0,10	-0,20	0,24	1,00		
% Participación Yacimiento I	-0,29	-0,27	-0,03	0,37	0,46	0,07	-0,11	0,14	-0,37	-0,11	1,00	
% Participación Yacimiento III	0,42	0,32	0,11	-0,36	-0,53	-0,03	0,03	-0,25	0,52	0,27	-0,55	1,00

Una situación similar ocurre con la relación: por ciento de participación de los yacimientos vs extractable de níquel, puede deducirse del gráfico y los valores de la tabla 2, que el mineral proveniente del Yacimiento III pudiera influir en el aumento del extractable de Ni y que el Yacimiento I los empeora. Al profundizar en las relaciones de las variables de operación (Activas) y a los índices de eficiencia dados (Variables complementarias), se nota la tendencia positiva de la correlación del petróleo en cámara con el Yacimiento III; por el contrario, muestra una relación negativa con el por ciento de participación del Yacimiento I. Lo anterior explica la diferencia de condiciones a las que fueron sometidos los minerales de ambos yacimientos. Esta conclusión deja sin valor cualquier interpretación en contra o a favor, de la influencia de los yacimientos en la formación de la eficiencia extractiva; se hace evidente además que los parámetros de operación ejercieron influencia en el comportamiento de dicha eficiencia. Las relaciones se observan de manera evidente en la figura 1, los índices de eficiencia y de operación, se encuentran alineados de forma directa con la participación del Yacimiento III e inverso al Yacimiento I, reafirmando las diferencias de condiciones a las que fueron sometidos los materiales de ambos yacimientos en el proceso durante el período estudiado, siempre favorables durante la alimentación del Yacimiento III.

Ver a continuación el gráfico 2.

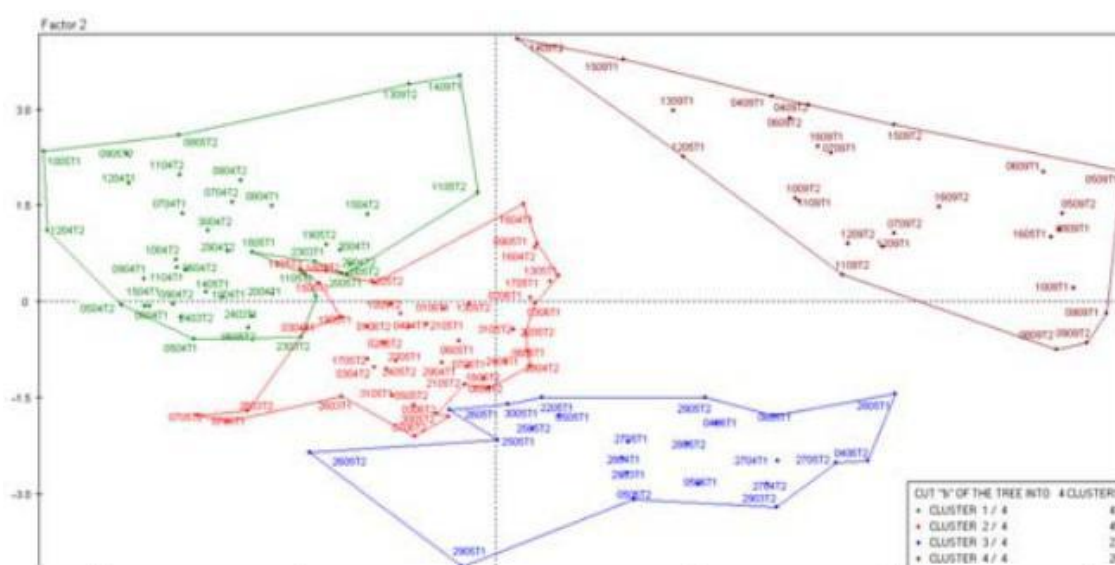


Gráfico 2. Clasificación en cuatro clases para los datos de la industria.

Clasificación de los comportamientos

Un análisis detallado del comportamiento en el proceso y su relación con los minerales alimentados, se obtuvo con una clasificación no supervisada. En el gráfico 2 se muestran cuatro clases de comportamientos en los turnos de las fechas elegidas, valoradas en las variables más significativas, seleccionadas del análisis en componentes principales (Ni, Fe, Co, MgO, SiO₂, Extractable de Níquel, Extractable de Co, Mineral Seco Alimentado, por ciento de participación de los Yacimientos I y III, Petróleo Aditivo y Petróleo en Cámara).

En la tabla 3 se expone la caracterización de las clases; el comportamiento en las variables de operación y los índices de eficiencia metalúrgica, así como la participación de los Yacimientos I y III. De ella se corrobora nuevamente la escasa relación entre los extractables con la alimentación de uno u otro yacimiento, por el contrario, se observa la influencia de los parámetros energéticos, fundamentalmente del petróleo aditivo que decrece de clase en clase a partir de la primera, al igual que los extractables. Una relación menos evidente, se ha corroborado con la ayuda del gráfico 1, los mejores valores de las eficiencias y del número de hornos efectivos, estuvo contrapuesto al porcentaje de participación del Yacimiento I y mejor correlacionado con el Yacimiento III, lo que evidencia la diferencia de condiciones en las que fueron procesados los minerales de ambos yacimientos.

Tabla 3
Caracterización de las clases en las variables activas

Clases	Nº de Muestras	Extractable Ni				Extractable Co				% Participación Yacimiento				% Participación			
		Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max
1	41	80,4	2,7	71,4	84,8	54,4	3,9	43,9	60,6	60,7	19,1	6,5	100,0	26,2	12,1	0,0	48,7
2	46	77,3	2,3	72,3	83,4	50,7	4,0	40,1	58,9	53,3	21,0	0,0	93,0	26,7	12,7	0,0	48,3
3	23	73,7	3,5	64,1	79,5	46,4	4,6	40,5	54,9	49,7	8,8	27,9	63,6	28,0	9,8	6,8	45,3
4	26	71,5	5,1	61,3	81,0	49,0	5,6	35,9	57,2	89,7	10,8	62,5	100,0	0,7	3,7	0,0	19,2
Todos	135	76,5	4,7	61,3	84,8	50,8	5,2	35,9	60,6	62,0	22,2	0,0	100,0	21,8	14,9	0,0	48,7

Clases	Nº de Muestras	Hierro				Níquel				Cobalto				Silicio			
		Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max
1	41	42,9	0,7	41,5	44,3	1,22	0,05	1,10	1,32	0,11	0,01	0,09	0,13	4,7	2,0	0,0	6,5
2	46	41,9	1,0	39,5	43,8	1,25	0,05	1,12	1,33	0,10	0,01	0,09	0,11	7,4	1,0	5,8	9,6
3	23	40,3	1,4	37,8	42,9	1,23	0,06	1,08	1,31	0,09	0,01	0,08	0,11	9,5	1,1	7,3	11,4
4	26	41,5	1,3	39,5	44,5	1,29	0,03	1,21	1,34	0,12	0,01	0,10	0,14	7,1	1,5	3,8	9,8
Todos	135	41,8	1,4	37,8	44,5	1,25	0,05	1,08	1,34	0,11	0,01	0,08	0,14	6,9	2,2	0,0	11,4

Clases	Nº de Muestra	Óxido de Magnesio				Mineral Seco Alimentado				Petróleo en Cámara				Petróleo Aditivo			
		Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max	Prom.	D. Est.	Min	Max
1	41	1,6	0,7	0,0	2,4	4419,64	172,91	3958,06	4625,12	221,12	13,25	190,46	244,61	131,48	16,07	94,85	157,29
2	46	2,7	0,3	1,9	3,6	4389,54	122,83	4183,21	4638,89	221,67	11,50	208,13	252,25	123,22	15,72	76,70	144,44
3	23	3,9	0,8	2,6	5,4	4081,51	439,41	3116,32	4641,88	214,15	29,39	167,19	328,01	119,03	18,04	90,40	153,55
4	26	3,5	1,0	1,6	6,1	3812,94	278,35	3100,07	4356,26	181,30	13,31	154,48	201,88	107,45	20,50	76,95	151,88
Todos	135	2,7	1,1	0,0	6,1	4235,15	344,33	3100,07	4641,88	212,45	22,74	154,48	328,01	121,98	19,16	76,70	157,29

En la tabla 4 se relacionan los individuos por clases y las fechas que corresponden con cada comportamiento, esto permitió reconocer los períodos en que ocurrieron las diferentes situaciones operacionales de la industria y de la alimentación del mineral.

Tabla 4
Pertenencia de los individuos a las clases de comportamientos

Individuos de la Clase Nº 1			Individuos de la Clase Nº 2			Individuos de la Clase Nº 3			Individuos de la Clase Nº 4		
2303 T1	1004 T1	0905 T2	2603 T1	1205 T2	2405 T1	2903 T1	2805 T2	1205 T1	1009 T2		
2303 T2	1004 T2	1005 T1	2603 T2	1305 T1	2405 T2	2903 T2	2905 T1	1605 T1	1109 T1		
2403 T1	1104 T1	1105 T1	0304 T1	1305 T2	3005 T2	2704 T1	2905 T2	0409 T1	1109 T2		
2403 T2	1104 T2	1105 T2	0304 T2	1405 T2	3105 T1	2704 T2	3005 T1	0409 T2	1209 T1		
0404 T2	1204 T1	1405 T1	0404 T1	1505 T1	3105 T2	2804 T1	0406 T1	0509 T1	1209 T2		
0504 T1	1204 T2	1805 T1	1604 T1	1605 T2	0106 T1	0505 T1	0406 T2	0509 T2	1309 T1		
0504 T2	1504 T1	1905 T2	1604 T2	1705 T1	0106 T2	0805 T1	0506 T1	0609 T1	1409 T2		
0604 T1	1504 T2	2005 T1	2804 T2	1705 T2	0206 T1	2205 T1	0506 T2	0609 T2	1509 T1		
0604 T2	2004 T1	2005 T2	2904 T1	1805 T2	0206 T2	2505 T1		0709 T1	1509 T2		
0704 T1	2004 T2	1309 T2	0505 T2	1905 T1	0306 T1	2505 T2		0709 T2	1609 T1		
0704 T2	2904 T2	1409 T1	0605 T1	2105 T1	0306 T2	2605 T1		0809 T1	1609 T2		
0804 T1	3004 T1		0705 T1	2105 T2	0606 T1	2605 T2		0809 T2			
0804 T2	3004 T2		0705 T2	2205 T2	0606 T2	2705 T1		0909 T1			
0904 T1	0605 T2		0905 T1	2305 T1	0706 T1	2705 T2		0909 T2			
0904 T2	0805 T2		1005 T2	2305 T2	0706 T2	2805 T1		1009 T1			

Las fechas pertenecientes a la primera clase, la de mayor valor promedio del extractable, corresponden con los meses de abril y mayo, con dos días de marzo y dos de septiembre. La segunda clase que también es de altos extractables, está compuesta por fechas fundamentalmente de mayo, cinco fechas de abril, cinco de junio y una de marzo. La tercera clase cuyo valor de extractable es inferior a la anterior, aproximadamente en un cuarto de magnitud porcentual, está compuesta de fechas de abril, mayo y junio, la mayoría corresponden con los últimos días de

estos meses. La cuarta y última clase presenta el valor más bajo de extractable de níquel, está compuesta por fechas de los primeros 15 d de septiembre y dos fechas de mayo.

El gráfico 2 refleja la posición de cada muestra y de las clases en el plano factorial, de ello se infiere que los grupos con menores extractables presentan las mayores dispersiones, mientras que el primero y el segundo son los menos dispersos y presentan los mayores extractables; se observa además que los peores comportamientos se encuentran en los últimos días de los meses abril, mayo, junio y en la primera quincena de septiembre.

Ver a continuación la tabla 5.

Tabla 5
Tabla de contingencia: Turno vs clases de comportamientos

%de la Clase en el Turno	Turnos	%de Turnos en la Clase	CLASE 1/4	CLASE 2/4	CLASE 3/4	CLASE 4/4	Todos					
Primer Turno	19	27,9	46,3	21	30,9	14	20,6	20,6	53,8	68	100,0	50,4
	22	32,8	53,7	24	35,8	9	13,4	12	17,9	67	100,0	49,6
	41	30,4	100,0	45	33,3	23	17,0	26	19,3	135	100,0	100,0
Segundo Turno	19	27,9	46,3	21	30,9	14	20,6	20,6	53,8	68	100,0	50,4
	22	32,8	53,7	24	35,8	9	13,4	12	17,9	67	100,0	49,6
	41	30,4	100,0	45	33,3	23	17,0	26	19,3	135	100,0	100,0
Todos	19	27,9	46,3	21	30,9	14	20,6	20,6	53,8	68	100,0	50,4
	22	32,8	53,7	24	35,8	9	13,4	12	17,9	67	100,0	49,6
	41	30,4	100,0	45	33,3	23	17,0	26	19,3	135	100,0	100,0

La tabla 5 muestra la relación turnos de trabajo vs clases, contiene la cantidad de coincidencias y el porcentaje de la clase en el turno y viceversa. Al leer el primer cuadro (primera clase vs primer turno), se identificó que contiene 19 muestras que representan un 46,3 % de la primera clase y el 27,9 % del primer turno. En este contraste se tiene que el 63,7 % de las muestras estudiadas corresponden al primer y el segundo grupo, los de mayores extractables, de ellos un 29,6 % pertenecen al primer turno y un 34 % al segundo. La tercera y cuarta clase se consideran menos favorables en el proceso, lo que previene a los tecnólogos para que ajusten las operaciones hacia las mejores condiciones de eficiencia.

CONCLUSIONES

1. El porcentaje de participación de los minerales de uno u otro yacimiento en la alimentación de la industria no influyó en la eficiencia de extracción en el período estudiado, durante el cual tuvieron mayor incidencia los factores de operación.
2. Se logró establecer las distribuciones probabilísticas de la alimentación de mineral y el comportamiento en las variables de salidas al proceso industrial, lo que permitirá la simulación del proceso en investigaciones futuras. Con ello se infiere que el proceso no afecta la naturaleza probabilística de las principales variables.
3. Se diferenciaron cuatro clases de comportamientos, de altos y bajos extractables. Dos se corresponden con altos valores y contienen la mayoría de las muestras estudiadas y dos con los valores más bajos de este índice.

4. Se lograron diferenciar los períodos en los cuales ocurrieron con mayor frecuencia los bajos extractables. Se diferenció además la correspondencia de los turnos con los mejores y peores resultados.

RECOMENDACIONES

1. Profundizar en el estudio de los comportamientos a partir del análisis estadístico de los resultados en pruebas de banco y su comparación sincronizada con los resultados del proceso industrial.

2. Contrastar las variedades de comportamientos en el mineral con la industria, para establecer criterios de estimación de la eficiencia a partir del procesamiento de muestras a escala de banco.

BIBLIOGRAFÍA

1. HERNÁNDEZ M.E. Cristo, Gustavo BELLO C, PINO PÉREZ L. A. "Aplicación del Análisis de Cluster a la Clasificación de Variedades de Tabaco". COMPUMAT. 2005.

2. CRIVISQUI E., DROESBEKE. J. J. "Le concept mathématique de distance et la comparaison des éléments d'un tableau de dones". Cultures et Sociétés. 1993. Págs. 17-32.

3. Crivisqui, E. "Presentación del Análisis de Clasificación. Página de la asociación PRESTA", Université Libre de Bruxelles. <http://www.ulb.ac.be/assoc/presta/Cursos/cursos.html>. 12/3/2006.

4. Crivisqui, E. "Presentación del Análisis de Componentes Principales". Université Libre de Bruxelles. <http://www.ulb.ac.be/assoc/presta/Cursos/cursos.html>. Febrero 1999.

5. MORALES A, Dago. CAVADO OSORIO A, FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ R; LINCHENAT Dennes E. "Desarrollo de un Modelo SIMCA para la Clasificación de Kerosinas Mediante el Empleo de la Espectroscopia Infrarroja". Química Nova vol.31 no.6, São Paulo, 2008.

6. PEÑA ABREU R. E, SAM PALANCO C. M, MAJENDIÉ CEMITIERE R, RIVERO PIÑA B, LABORÍ LEYVA N. Determinación de las Causas de Degradación del Óxido de Níquel. Diagnóstico Estadístico Multivariado. Tecnología Química Vol. XXVII, No. 1. 2007.

7. PEÑA ABREU R.E, FERNÁNDEZ MARTÍNEZ L. "Estudio del Yacimiento Yagrumaje Sur para la Proyección de un Muestreo Tecnológico a Escala de Banco. Análisis de la Utilidad de la Información Obtenida en Estudios Precedentes". Reporte Técnico. CEINNIQ. 2009. Pág. 157.

8. PEÑA ABREU R. E, RODRÍGUEZ CARDONA A. HERNÁNDEZ Ramsay A. "Estudio Estadístico Multivariado para la Selección de una Muestra Tecnológica". CD, Memorias de la I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. ISBN: 959-7117-03-7. 2005.

9. ROJAS PURÓN A.L. "Principales Fases Minerales Portadoras de Níquel en los Horizontes Lateríticos del Yacimiento Moa", Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas, ISMM, Moa. 1994.

10. ROJAS PURÓN A.L. "Evidencias a Favor de que la Goethita es la Principal Portadora de Níquel en los Horizontes Lateríticos de las Cortezas Ferroniquelíferas". Revista Minería y Geología. vol. 18. Nº. 3-4. 21-31. 2001.

11. ROJAS PURÓN A.L, RÓMULO SIMÓES A, OROZCO MELGAR G. "Presencia de Fases de Óxidos de Manganeso en Perfiles Lateríticos de Níquel del Yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba". MIN2-06. CD de Memorias de la II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. ISBN: 978-959-7117-16-2. La Habana. 2007.

Recibido: Julio de 2011

Aprobado: Mayo de 2012

MSc. Ramón Eddie Peña-Abreu^I. Centro de Investigaciones del Níquel.
rpena@cil.moa.minbas.cu