

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA LATERITA

Energetic diagnostic in the milling process of the lateritic ore

Reynaldo Laborde Brown

E-mail: rlaborde@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN

El consumo específico de energía en el proceso de molienda del mineral laterítico en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa no muestra un comportamiento estable, lo que repercute en el aumento de los costos de producción. Para determinar las causas que originan estas variaciones se realizó una investigación en la unidad de molienda, específicamente en sus dos equipos principales: el molino de bolas y el ventilador de recirculación. Los resultados arrojaron que la variabilidad observada en el consumo energético se debe, fundamentalmente, a la ausencia de estabilidad en el flujo de alimentación de los molinos. Se obtiene un modelo estadístico que permite predecir el comportamiento del consumo específico de energía en función de la productividad diaria de la sección de molienda.

PALABRAS CLAVE: energía, consumo energético, molienda, laterita.

ABSTRACT

In this paper is developed a methodology to carry out an energetic diagnostic in a given area of a production process. The methodology is particularly applied to the

milling section in an ore improvement plant and it allows to reveal the main factors influencing in the unstable behavior of the specific energy consumption in that section. Regulation of feed to the ball mill, states to be the main factor to be controlled in order to reduce the specific energy consumption in 16 % respect the actual media. It is shown the feasibility to get this reduction, so that can be achieved an important profit when the section moves to a more rational use of electric energy.

KEY WORDS: energy, consumption, milling, laterite, Moa.

INTRODUCCIÓN

El tema energético constituye uno de los de mayor actualidad mundial, y, en particular en Cuba, es una línea de trabajo en cualquier empresa o institución la búsqueda incesante de soluciones que ocasionen la reducción del consumo y al uso cada vez más racional de la energía eléctrica.

Las industrias destinadas a la extracción de níquel en Cuba representan un fuerte consumidor de energía eléctrica, de ahí el empeño en la búsqueda de soluciones para reducir los costos de producción de

dichas instalaciones mediante el mejoramiento de sus índices energéticos.

Esta investigación se desarrolló en la industria que emplea tecnología carbonato-amoniaco. Al analizar el proceso a que se somete el mineral, desde la extracción en la mina hasta la obtención del producto exportable, la sección de molienda se destaca como una de las de mayor consumo de electricidad, y se observan grandes fluctuaciones en los valores de consumo específico de energía (We).

En la sección de molienda se produce la reducción dimensional del mineral mediante los molinos de bolas, de modo que del 80 al 85 % del mineral procesado debe quedar con una granulometría menor de 74 micras, a fin de facilitar en los procesos posteriores la extracción del níquel; para esta operación se cuenta con 4 molinos de bolas con sus respectivos ventiladores de recirculación, estos últimos son los encargados de producir el barrido del mineral que se transporta de forma neumática.

La sección de molienda ha sido objeto de estudios dirigidos a conocer las regularidades de la molienda del material laterítico y a proponer variantes para el control del proceso (Coello, 1993; Coello y Marrero, 1994). Otros trabajos han estado orientados a determinar la influencia de petróleo aditivo sobre la productividad del proceso (Llorente, 2003).

Esta investigación tuvo el objetivo de determinar las causas que inciden en las variaciones del consumo específico de energía en el proceso de molienda de la laterita, con la finalidad de elaborar un modelo para predecir el comportamiento de este indicador energético y formular las recomendaciones pertinentes con el objetivo de lograr un uso más racional de la electricidad y la consecuente reducción de los costos de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante un período de seis meses se registró y midió el consumo de energía eléctrica en las ocho plantas que integran el proceso de beneficio del mineral. La sección de molienda, por ser la de mayor consumo, se sometió a un estudio más exhaustivo. Fueron objeto de investigación, específicamente, los dos equipos principales de la unidad de molienda: el molino de bolas y el ventilador de recirculación. Las características técnicas de estos equipos son las siguientes:

Molino de bolas

Capacidad: 120 t/h
Carga de bolas: 54 t
Diámetro: 3 200 mm

Largo: 5 700 mm

Motor del molino: motor sincrónico; Voltaje: 10 kV;
Potencia: 800 kW; n: 720 r/min.

Ventilador de recirculación

Capacidad: 134 000 m³/h

Motor eléctrico: asincrónico; Voltaje: 6 kV; Potencia: 400 kW; n = 1 180 r/min.

Se analizó también la influencia de la variación del flujo de alimentación sobre la productividad del molino, para ello se incrementó paulatinamente la alimentación y se observó el comportamiento del molino.

Las variables eléctricas analizadas fueron: las corrientes, las tensiones, las potencias, factor de potencia y frecuencia. Como magnitudes tecnológicas se analizaron: la productividad, el contenido de las clases granulométricas en el producto final de la molienda, la humedad, la composición química del mineral y el porcentaje de petróleo aditivo. La información sobre el comportamiento de las variables tecnológicas se tomó directamente a partir de los registros estadísticos de la empresa.

Para la medición de las principales magnitudes eléctricas se utilizaron los contadores de energía instalados en los paneles de las subestaciones y los analizadores de redes digitales tipo PQM (MULTILIN) e INTERLOGGER. A fin de determinar la influencia de las principales variables tecnológicas sobre las irregularidades que se observan en el consumo específico de energía, fueron determinados los factores de correlación entre dichas variables y el indicador energético.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se pudo verificar que de las ocho plantas analizadas, la de preparación de mineral y dentro de ella, la sección de molienda, arrojó los mayores valores de consumo energético (Fig. 1), lo cual encuentra explicación en el hecho de que los molinos de bolas son equipos que demandan una alta potencia.

Se encontró, además, que el rango de variación del consumo específico de energía osciló entre 10 y 26 kWh/t con un valor medio de 16,6 kWh/t (Fig. 2). La Tabla 1 muestra el comportamiento, por turnos de trabajo, de los valores de consumo específico y de la productividad de la sección de molienda. No se observaron diferencias significativas en el comportamiento de estas variables entre los tres turnos de trabajo, por lo que las fluctuaciones observadas en el consumo específico no son debidas a factores operacionales.

Los factores de correlación entre las variables y el indicador energético se muestran en la Tabla 2; estos mostraron valores muy bajos, lo que indica que las variables permanecen, por lo general, dentro de límites tales que no ejercen influencia significativa sobre el consumo de energía; no obstante, el contenido de humedad en el mineral y el petróleo aditivo son variables que deben ser bien controladas.

Se pudo concluir que la inestabilidad en el flujo de alimentación de mineral a los molinos, es una de las causas principales de las amplias oscilaciones del consumo específico de energía (ver Fig. 2). Esto se explica a partir del propio comportamiento de las potencias que demandan el molino y el ventilador en función de la carga de mineral.

Se conoce que la potencia que demanda el motor del accionamiento de un molino de bolas depende en lo fundamental de la carga de bolas y no de la carga de mineral (Avilov y otros, 1987; Coello, 1993). Por otro lado, el molino funciona como una especie de volante desequilibrado, siendo máximo el desequilibrio en ausencia de mineral, cuando el molino funciona solamente con la carga de bolas, caso en que también se hace máxima la potencia demandada; por tanto, cuando el molino está cargado de mineral se reduce el desequilibrio y con éste la potencia demandada.

Se pudo comprobar que en los molinos bajo estudio, la diferencia de la potencia demandada osciló alrededor de un 8 % entre el molino con carga de mineral y sin esta. Los valores pico (Fig. 3) corresponden a los momentos en que el molino se encuentra prácticamente sin mineral, mientras que los valores más bajos de potencia, a los instantes en que existe una carga de mineral determinada en el interior del molino.

Por otra parte, se conoce que la potencia que demanda un ventilador centrífugo es directamente proporcional al caudal de aire que éste desplaza (Ramos, 1995). Cuando en el sistema aerodinámico de la sección de molienda existe poco mineral o ninguno, entonces el caudal de aire tiende hacia un máximo, por lo que la potencia demandada por el ventilador también crece hacia su valor máximo; por el contrario, con mineral en el sistema el caudal de aire disminuye debido a que el mineral actúa como una especie de válvula reguladora y en este caso disminuye la potencia demandada por el ventilador. Se comprobó que para los ventiladores objeto de estudio, la diferencia de la potencia demandada en un caso y otro puede alcanzar hasta un 6 %. En la Figura 4 se obser-

van las variaciones de la potencia de un ventilador de recirculación en correspondencia con lo explicado.

De acuerdo con estos hechos, se deduce que para lograr una explotación racional de una unidad de molienda es imprescindible lograr un flujo de alimentación al molino lo más alto y estable posible, pues con una alimentación baja e inestable no sólo se desaprovecha desmesuradamente la energía, sino que además el consumo de ésta tiende a elevarse con respecto a la media.

Para conocer el rango más conveniente en que debe mantenerse el flujo de mineral, se obtuvo la característica energética (Laborde y otros, 2000; González, 2000) de la sección, $w_e = f(Q)$, que se muestra en la Figura 5. El modelo indica que si las unidades de molienda mantienen una productividad entre 230 a 270 t/h, se logra un mejor indicador energético, mientras que si se reduce la productividad por debajo de las 230 t/h el indicador empeora.

Es factible mantener una productividad por encima de las 67 t/h en los molinos (Tabla 3) sin que éstos se sobrecarguen, por lo que la sección de molienda puede disminuir su consumo específico de energía por debajo de los 14 kWh/t. Como se aprecia en ambas pruebas, el molino trabaja por encima de 67 t/h. Estos experimentos, junto a pruebas realizadas previamente (Pérez y Rodé, 2003), demuestran que los molinos tienen plena capacidad para mantener una alimentación continua por encima de las 67 t/h, de lo que se trata es de lograr que esta alimentación se mantenga de forma sostenida como promedio para la sección completa. De esta manera es posible reducir el consumo específico en un 17 % con respecto al valor medio observado y esto equivale al ahorro de más de 300 000 USD anualmente por concepto de pago de electricidad. Estos resultados muestran la necesidad de que el proceso de molienda sea automatizado para lograr la estabilidad requerida en la alimentación de los molinos y, en consecuencia, en el indicador energético.

CONCLUSIONES

1. La inestabilidad en el flujo de alimentación de mineral a los molinos es una de las causas principales que ocasionan la amplia variación observada en el consumo específico de energía en la sección de molienda de la empresa Che Guevara.
2. La operación de las unidades de molienda con un flujo de alimentación de mineral sostenido por encima de las 67 t/h, representa una reserva energética en el sistema de un 16 %.

3. La reducción del consumo específico de energía hasta 14 kWh/t representa un 18 % de abaratamiento del costo de producción en la sección de molienda, lo que es equivalente al ahorro de 300 990 USD anuales, por concepto de pago de electricidad.
4. El modelo estadístico obtenido permite predecir el comportamiento del consumo específico de energía en función de la productividad diaria de la sección de molienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILOV, B., N. KARNAUJOV Y N. ZIOBROSKI (1987): *Ahorro electroenergético en las plantas beneficiadoras*, Nedra, Moscú.

COELLO, A. (1993): "Algunas consideraciones sobre la molienda seca de los minerales lateríticos", *Minería y Geología*, X (1): 60-68.

COELLO, A. Y S. MARRERO (1994): "Control de la carga interior del molino a través de terceros parámetros", *Minería y Geología*, XI (1): 35-41.

GONZÁLEZ, F. (2000): "Estudio de las características energéticas de una unidad de molienda en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara", Trabajo de Diploma, ISMM, Moa.

LABORDE, R., A. COELLO, S. MARRERO Y O. ANGULO (2000): "Productividad y eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral laterítico", *Minería y Geología*, XVII (2): 79-84.

LLORENTE MELLINA, W.L. (2003): "Valoración del uso de crudo nacional emulsionado en el proceso de combustión de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara", M.A. Guerra Noa R. González Marrero (tutotes). Trabajo de Diploma, ISMM, Moa. 82 pp.

PÉREZ, R. Y A. RODÉ (2003): "Comportamiento energético del proceso de molienda en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara". Trabajo de Diploma, ISMM, Moa.

RAMOS, N. (1995): *Bombas, ventiladores y compresores*, Editora ISPJAE.

D ía	Turno 1		Turno 2		Turno 3		TotalD ía	
	We (kW h/t)	Q (t)	We (kW h/t)	Q (t)	We (kW h/t)	Q (t)	We (kW h/t)	Q (t)
Prom .	17,20	1704,2	16,04	1822,50	16,58	1735,38	16,70	5276,18
M áx.	34,74	2073,2	22,45	2184,08	21,49	2319,98	26,39	6417,88
M ín.	10,64	884,34	10,85	1381,59	13,73	1205,67	9,98	3321,77

We	Granulometría (mm)			Composición química			
	100	200	-200	Ni	Co	Fe	H ₂ O
Turno	%	%	%	%	%	%	%
1	-0,1019	0,0381	0,0899	-0,3272	0,2644	-0,2459	-0,0728
2	-0,0821	-0,0725	0,0425	-0,0280	-0,1366	0,1592	0,0424
3	-0,1728	0,0491	0,1740	-0,1028	-0,2128	-0,0758	0,1895
Total	0,1270	-0,0786	0,0895	-0,0684	0,2491	0,1064	0,1127

Valor	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Total
	0,2533	0,2917	0,1741	0,1529

TABLA 3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS PARA DETERMINAR EL FLUJO DE ALIMENTACIÓN DE MINERAL A UNO DE LOS MOLINOS DE BOLAS						
No	Tiempo		Peso de la muestra, kg		Flujo de alimentación que representa, t/h	
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1	Exp. 2
1	3:10 p.m.	11:05 a.m.	17,8	16,2	73,692	67,068
2	3:55 p.m.	11:34 a.m.	18,8	16,2	77,832	67,068
3	4:45 p.m.	12:00 m.	18,6	16,7	77,004	69,138
4	5:25 p.m.	12:36 p.m.	20	17,2	82,8	71,208
5	6:00 p.m.	1:14 p.m.	19,4	16,2	80,316	67,068
6	6:35 p.m.	-	19,6	-	81,144	-
Prom.	3	2	19,17	16,5	79,36	68,31

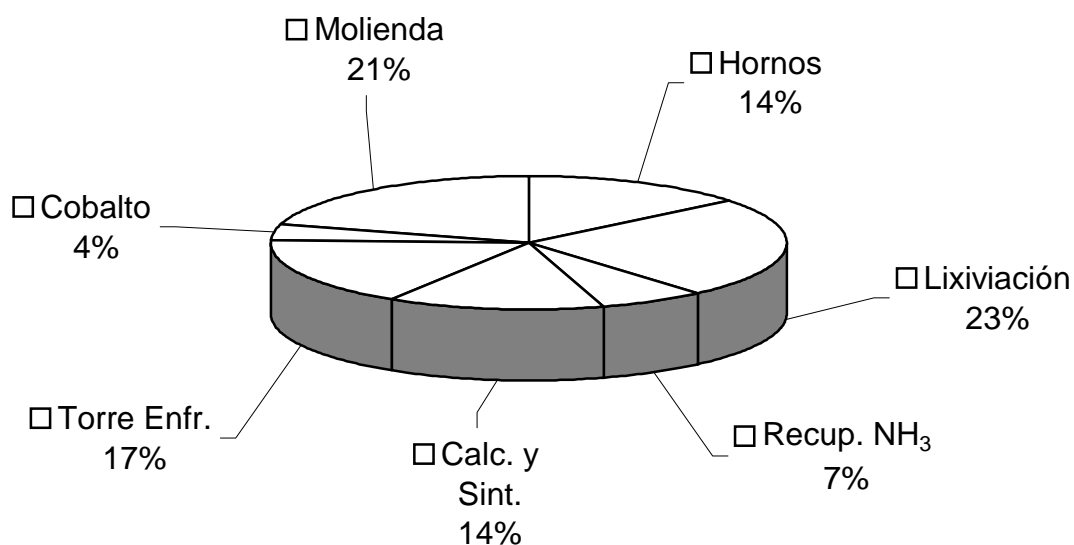


Figura 1. Comportamiento del consumo de energía en el proceso de beneficio de mineral.

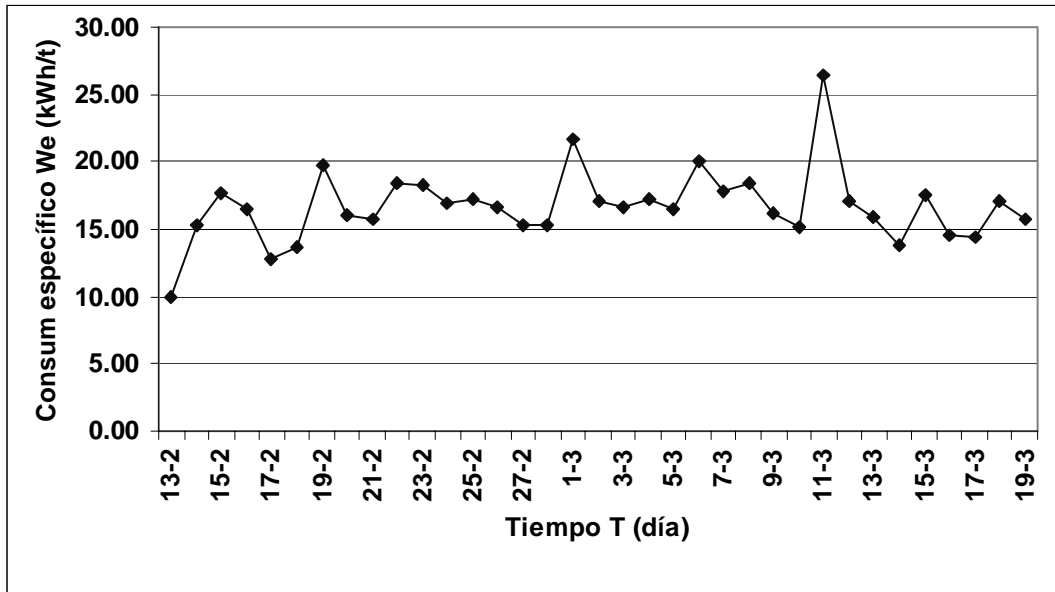


Figura 2. Comportamiento diario del consumo específico de energía en la sección de molienda.

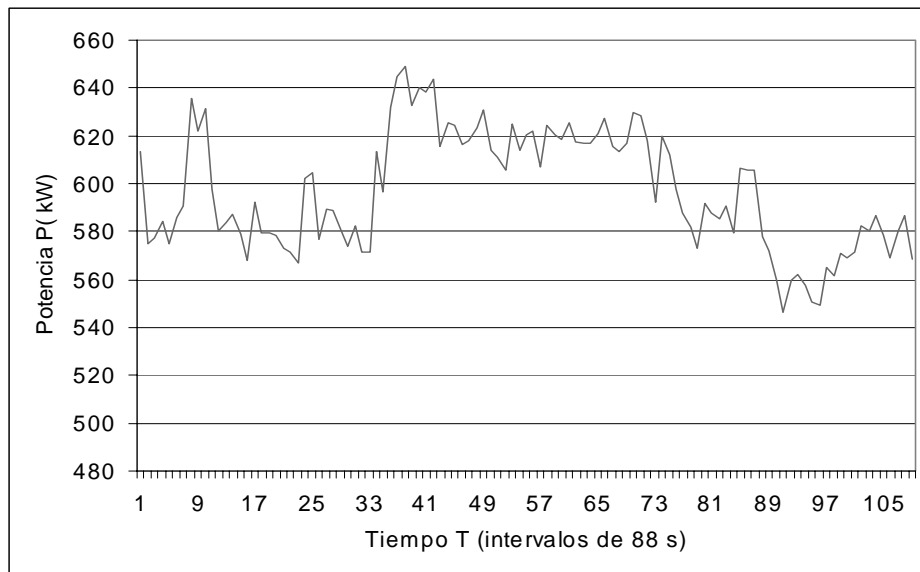


Figura 3 Comportamiento de la potencia demandada por el molino de bolas.

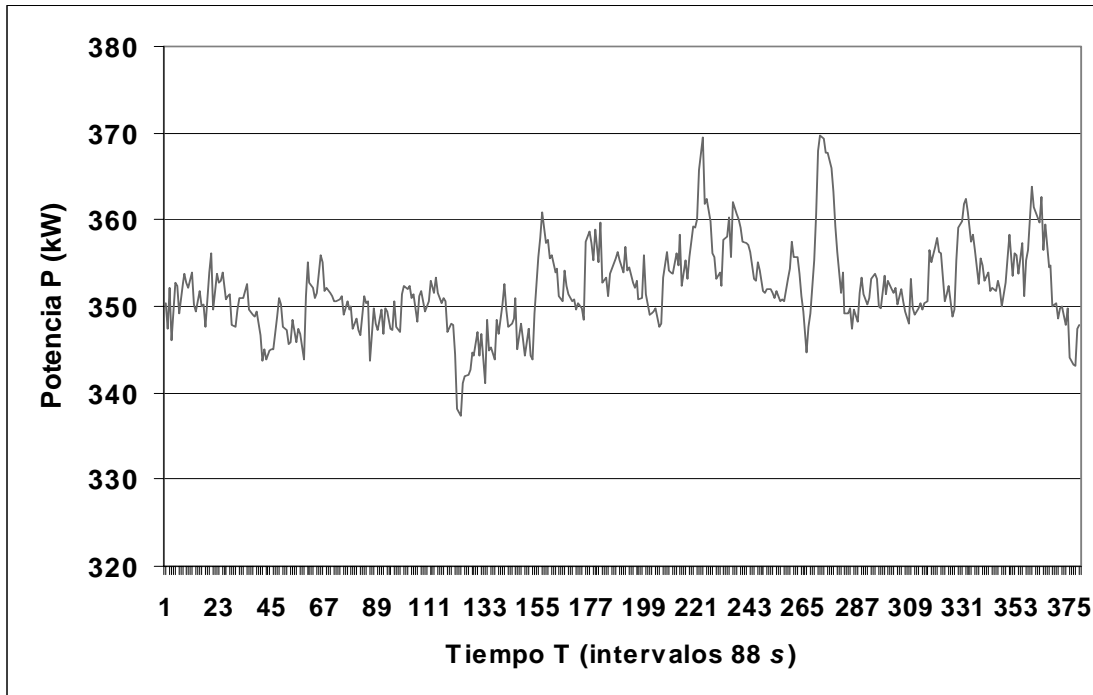


Figura 4. Comportamiento de la potencia demandada por el ventilador de recirculación.

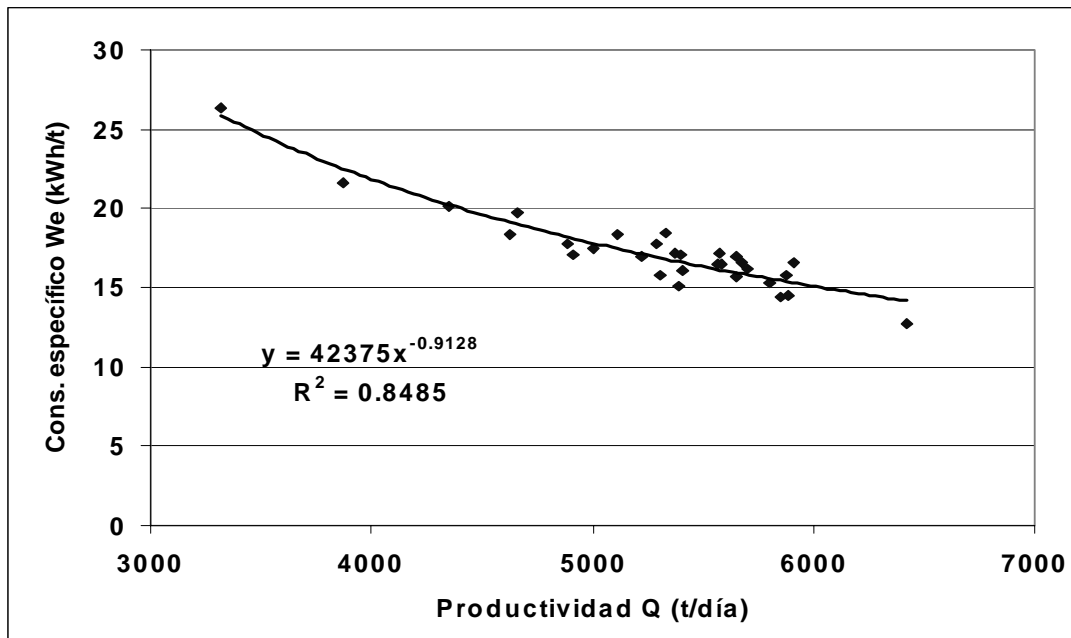


Figura 5. Característica energética de la sección de molienda.