

CARACTERIZACIÓN DE CARBONES ARGENTINOS Y VIABILIDAD DE UTILIZACIÓN EN COQUERÍA¹

Silvina Ramos²
Edgardo Benavídez²

Resumen

Cambios, cada vez más pronunciados, en las fuentes originarias de recursos naturales y materias primas de buena calidad (minerales de hierro, carbones etc.) al igual que su costo, ha originado que diversas plantas del mundo evalúen vías alternativas de reemplazo parcial de materias primas importadas por materiales nacionales de menor calidad y costo, así como también de reutilización de subproductos. Este trabajo, parte experimental de una tesis doctoral, tiene como objetivo caracterizar tres muestras de carbón mineral argentino tendiente a su posible aplicación en coquería. Este estudio incluye ensayos básicos, tales como: contenido de cenizas, materias volátiles, azufre y ensayos específicos para uso en coquería tales como: hinchamiento de crisol, plasticidad, dilatación, análisis petrográfico y estudio de mezclas de carbón mineral con carbón de buenas propiedades coquizantes. Además un ensayo de lavado de carbón a escala laboratorio evaluando el efecto sobre el porcentaje de cenizas.

Palabras clave: Carbones minerales; Coque; Reciclado; Subproductos.

CHARACTERIZATION OF ARGENTINE COALS AND VIABILITY OF UTILIZATION IN COKEMAKING PROCESS

Abstract

Important change in the natural resources and the raw materials of good quality (iron ore, coal, etc.) as well as their costs carried out to evaluate alternative ways of partial replacement of imported raw materials for domestic materials as well as recycling of byproducts in various world's plants. This work aims to characterize three Argentinean coal samples, experimental part of a doctoral thesis, with emphasis on application in cokemaking process. This study includes basic tests, such as proximate analysis, sulfur content and specific tests for use in cokemaking such as crucible swelling, plasticity, petrographic analysis and mixing between argentinian coal and coal with good coking properties. Furthermore, a coal-washing test was carried out in laboratory to evaluate the effect on the ash content.

Key words: Coal; Coke; Recycling; By products.

¹ *Contribución técnica al 43° Seminario de Reducción de Mineral de Hierro y Materias Primas, 14° Simposio Brasileño de Mineral de Hierro y 1° Simposio Brasileño de Aglomeración de Mineral de Hierro, 1al 4 de setiembre de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Alumna de Doctorado en Ingeniería–Mención Materiales, y Ingeniera Metalúrgica, Laboratorio de Materias primas y Reducción, Instituto Argentino de Siderurgia, San Nicolás, Argentina.*

³ *Dr. en Física, Director de tesis Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás, San Nicolás, Argentina.*

1 INTRODUCCION

Mundialmente nos encontramos frente a una problemática que se va acentuando cada vez más respecto a la utilización racional de recursos, en especial aquellos relacionados con la producción industrial.

En el caso particular de carbones minerales para coquizarse, su costo altamente incrementado, ha derivado en que las empresas tiendan a la búsqueda de materias primas alternativas de menor costo pero que no interfieran negativamente sobre la calidad del producto.

En Argentina las principales reservas de carbón mineral se encuentran en el sur de este país. Las más reconocidas son la reserva de Río Turbio en la provincia de Santa Cruz, que corresponde a un carbón térmico y Pico Quemado en la provincia de Río Negro, cuyos yacimientos se encuentran en exploración (Figura 1).

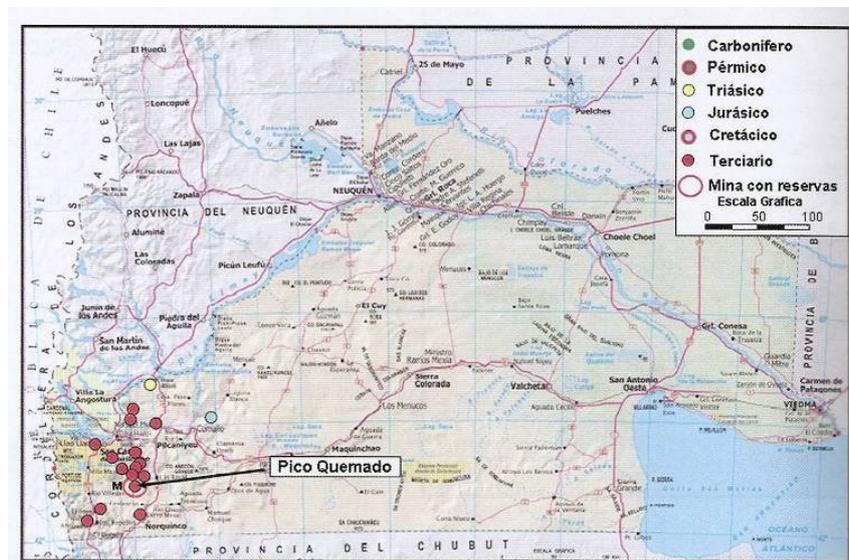


Figura 1. Ubicación del yacimiento de Pico quemado en Argentina.

En este trabajo se presenta la caracterización de tres muestras de carbón mineral de Pico Quemado, cuyas reservas estimadas son 2.640.000 toneladas y ensayos en una de las muestras destinados a determinar su posible utilización en mezclas coquizantes en reemplazo parcial de un carbón importado de mejores cualidades. Varios países⁽¹⁻⁶⁾ han investigado diferentes alternativas para el uso de carbón de menor calidad en mayores proporciones, tales como Corea, India, Japón, Brasil.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de estudio corresponden a carbón mineral de tres mantos diferentes de la mina. La identificación de las muestras como se indica en la Figura 2.

Para comparación de resultados obtenidos se analiza una muestra de carbón coquizable importado identificada como muestra de referencia.



Muestra PQ-01

Muestra CH-03

Muestra CH-05

Figura 2. Identificación de las muestras de estudio.

Los ensayos realizados sobre las muestras incluyen:

- análisis inmediato;
- contenido de azufre;
- análisis químico de las cenizas;
- hinchamiento de crisol;
- plasticidad;
- dilatometría;
- petrografía (conteo de macerales y medición de reflectividad);
- lavado por flotación.

El ensayo de lavado del carbón a escala laboratorio con posterior filtración al vacío, empleando la fracción menor a 2 mm, se realiza para evaluar la disminución del contenido de cenizas. Para ello se utiliza el dispositivo de la Figura 3.



Figura 3. Dispositivo empleado para el lavado del carbón. 1- Salida de material que flota, 2- Entrada de aire para burbujeo, 3- Entrada de agua para rebalse, 4- Filtro de porcelana, 5- Bomba de vacío.

3 RESULTADOS

3.1 Análisis Inmediato y Contenido de Azufre

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para cada muestra de estudio y para la muestra de referencia.

Tabla 1. Resultados de análisis inmediato y contenido de azufre

Muestra	% Cenizas (base seca)	% Materias volátiles (base seca)	% Carbono fijo (base seca)	% Azufre
PQ-01	20,81	34,09	45,11	0,45
CH-03	26,68	28,02	47,30	0,42
CH-05	32,00	27,55	40,45	1,48
Carbón de referencia	8,29	27,46	64,25	0,91

3.2 Análisis Químico de las Cenizas

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos mediante análisis FRX.

Tabla 2. Resultados del análisis químico de las cenizas

Elemento	PQ-01	CH-03	CH-05	Carbón referencia
Na ₂ O	0,23	0,72	0,74	0,37
MgO	0,41	0,43	0,38	0,83
Al ₂ O ₃	14,06	11,50	11,40	28,6
SiO ₂	79,60	63,00	62,10	53,3
P ₂ O ₅	0,03	0,12	0,13	0,32
SO ₃	0,53	1,43	1,54	1,78
K ₂ O	0,50	0,64	0,66	2,16
CaO	1,15	2,24	2,23	1,53
TiO ₂	0,68	0,78	0,79	1,44
S	0,21	0,57	0,61	0,71
Fe ₂ O ₃	2,76	18,7	19,5	9,61
MnO	0,04	0,49	0,50	0,03
ZnO	0,0	0,0	0,0	0,01

3.3 Análisis Petrográfico

Los resultados de las mediciones de reflectividad y conteo de macerales en las muestras PQ-01 y el carbón de referencia se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del análisis petrográfico

Muestra	Reflectividad media	% Macerales			
PQ-01	0,580	Vitrinitas	77,0	Fusinitas	0,0
		Exinitas	6,0	Micrinitas	0,0
		Semifusinitas	1,0	M. mineral	16,0
Carbón referencia	1,105	Vitrinitas	73,8	Fusinitas	1,6
		Exinitas	3,4	Micrinita	0,6
		Semifusinitas	16,8	M. mineral	3,8

Los histogramas de distribución de vitrinitas para el carbón PQ-01 y el de referencia se presentan en la Figura 4.

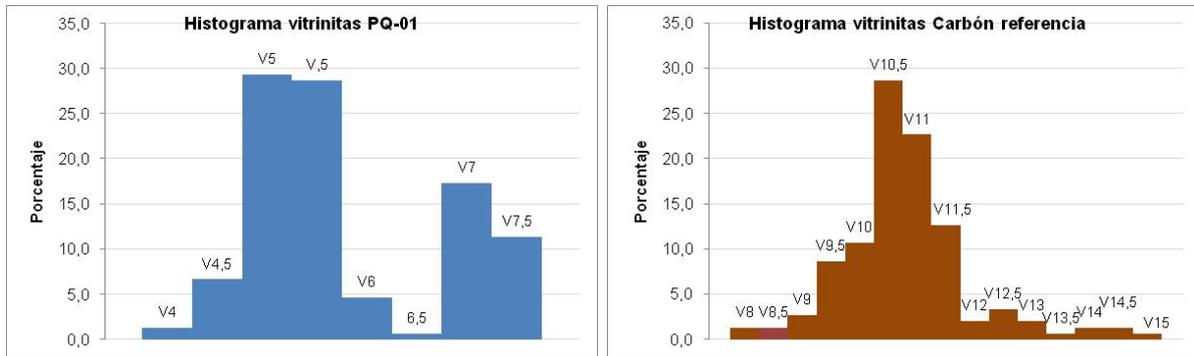


Figura 4. Histograma de vitrinitas para el carbón PQ-01 (izq) y el de referencia (der).

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se puede identificar la distribución de la materia mineral en el carbón PQ-01.



Figura 5. Grano con vitrinita y materia mineral distribuída al azar.



Figura 6. Grano con vitrinita y materia mineral en bandas. Esclerotia.



Figura 7. Semifusinita en bandas blancas y vitrinita de apariencia poco transformada con escasa presencia de materia mineral.



Figura 8. Grano conteniendo esclerotia y materia mineral.

3.4 Hinchamiento

Los resultados obtenidos para cada uno de los carbones de estudio y el de referencia se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del ensayo de hinchamiento

Hinchamiento de crisol	PQ-01	CH-03	CH-05	Carbón referencia
N°	1	0	0	7

3.5 Comportamiento plástico y de contracción-dilatación

En la Tabla 5 se presentan los resultados del comportamiento plástico del carbón PQ-01 y del referencia.

Tabla 5. Resultados del ensayo de plasticidad y dilatométrico

Comportamiento plástico		
	PQ-01	Carbón referencia
T máx fluidez (°C)	No se logró determinar	446
T ablandamiento inicial		389
T resolidificación		490
Dilatación-contracción		
T1, temp. ablandamiento	385	365
T2, temp. máx.contracción	460	410
T3, temp. máx.dilatación	460	475
% contracción	24	24
% dilatación	24	250

3.6 Mezcla de Carbón Importado y Carbón Argentino

Para estimar el efecto de la adición de un carbón de baja calidad sobre las propiedades de un carbón de buena calidad para coquización se realizan las siguientes mezclas:

- Mezcla 1: 97,5% carbón importado + 2,5% carbón argentino (PQ-01)
- Mezcla 2: 92,5% carbón importado + 7,5% carbón argentino (PQ-01)

Los resultados del análisis inmediato de las mezclas resultantes se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis inmediato de las mezclas

Muestra	% Cenizas (base seca)	% Materias volátiles (base seca)	% Carbono fijo (base seca)
Mezcla 1	8,61	27,02	64,37
Mezcla 2	9,54	27,51	62,94

En la Tabla 7 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de plasticidad de la mezcla con mayor contenido de carbón argentino (PQ-01) y se compara con los resultados obtenidos para el carbón importado individual.

Tabla 7. Resultados de ensayo de plasticidad de la mezcla 2 (+7,5 % PQ-01)

Comportamiento plástico		
	Carbón de referencia individual	Carbón referencia + 7,5 % carbón PQ-01
T máx fluidez (°C)	446	449
T ablandamiento inicial	389	402
T resolidificación	490	484

3.7 Concentración del Carbón por Lavado

El ensayo de lavado del carbón PQ-01 arrojó los resultados que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados del ensayo de lavado del carbón PQ-01

Peso material alimentado	Peso material que flota	Peso material en el fondo	% Recuperado	% Pérdida
77,01 gr	29,21 gr	46,63 gr	37,93	1,52

En la Tabla 9 se detallan los resultados del análisis inmediato del carbón antes y posterior al lavado

Tabla 9. Análisis inmediato del carbón PQ-01 antes y después del lavado

Muestra	% Cenizas (base seca)	% Materias volátiles (base seca)	% Carbono fijo (base seca)
PQ 01 tal cual	20,81	34,09	45,11
PQ 01 lavado	16,65	36,65	46,70

4 DISCUSIÓN

La caracterización básica realizada a las tres muestras de carbón mineral argentino permite determinar que se tratan de carbones de calidad pobre, esto es, un elevado contenido de cenizas y bajo contenido de carbono fijo (Figura 9). Este hecho hace que puedan ser empleados en mezclas coquizantes en pequeña proporción.

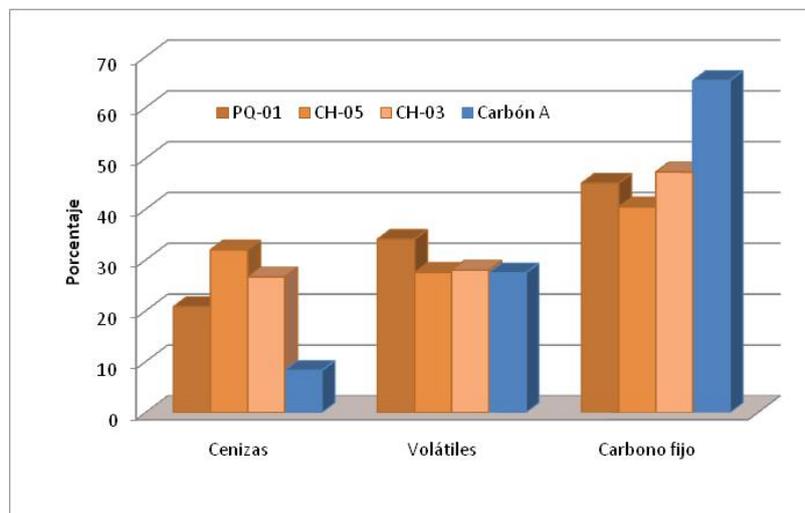


Figura 9. Análisis inmediato.

Por otro lado los contenidos de azufre en dos de las muestras (PQ-01 y CH-03) es un parámetro alentador ya que incluso son valores inferiores al obtenido en un carbón importado de buena calidad (Figura 10).

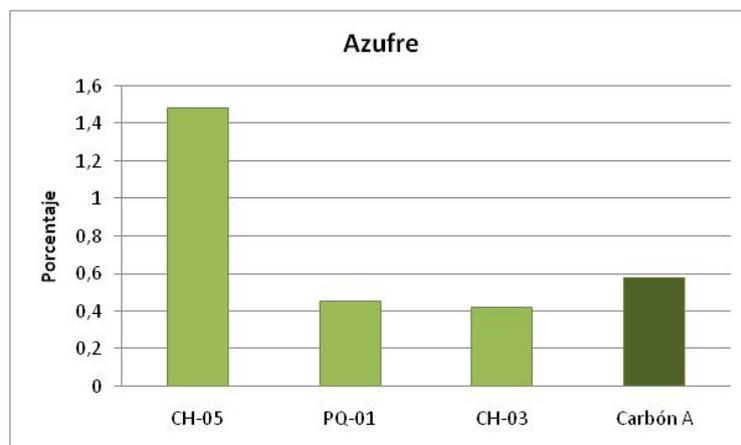


Figura 10. Análisis inmediato.

El análisis mediante microscopía óptica de la muestra de carbón PQ-01 revela que la materia mineral está distribuida al azar dentro de las partículas de carbón y también en forma de vetas de diferente espesor.

En las cenizas de los carbones de estudio se encuentran principalmente SiO_2 , Al_2O_3 , CaO y Fe_2O_3 (Figura 11a) mientras que elementos considerados nocivos tales como álcalis, cinc y azufre corresponden a trazas (Figura 11b).

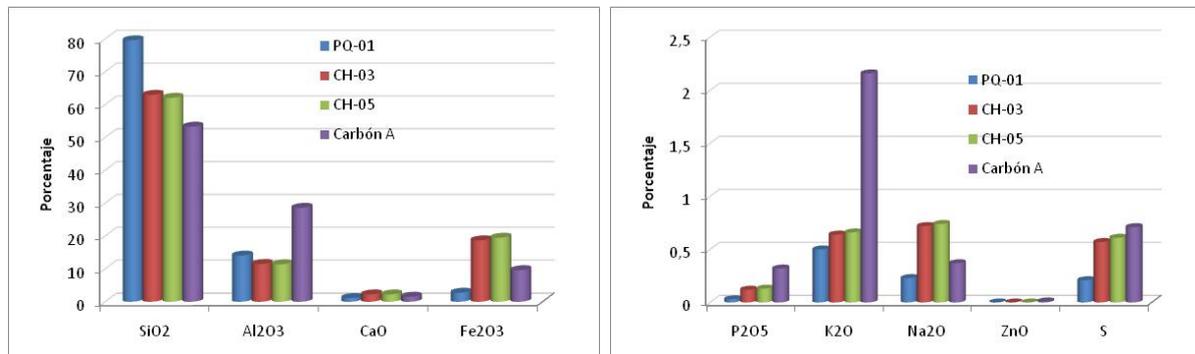


Figura 11. Análisis químico de cenizas.

El valor de reflectividad media de 0,58 obtenido para el carbón PQ-01 nos indica que estamos en presencia de un carbón de tipo sub bituminoso con un contenido de materia volátil que lo encuadra dentro del rango de los carbones altos en volátiles.

El maceral de mayor proporción presente en el carbón PQ-01 es la vitrinita, le sigue en porcentaje la materia mineral y porcentajes menores para las exinitas y semifusinitas.

La vitrinita a pesar de ser el maceral más importante y que se encuentra en mayor cantidad en este carbón, corresponde a vitrinitas no fusibles. Las vitrinitas fusibles, que van desde la V7 a la V20 se encuentran en menor proporción.

En el ensayo de hinchamiento de los carbones de estudio, sólo el carbón PQ-01 se presentó formando un botón coherente de poca altura, es decir, el carbón se aglomeró levemente pero no se hinchó, por lo tanto, se le asignó el valor 1.

Los carbones CH-03 y CH-05 no experimentaron ningún cambio por calentamiento. A pesar que el carbón PQ-01 tenga un cierto metamorfismo pro ser un carbón sub-bituminoso el elevado contenido de cenizas (20,8%) hace que su índice de hinchamiento sea muy bajo comparado con carbones de menores contenidos en cenizas.

El ensayo de dilatación, justificado para el carbón PQ-01 por mostrar respuesta leve al hinchamiento, revela una curva típica de un carbón con pobre poder coquizante. Se puede inferir una leve fusión, sin embargo la contracción y dilatación son iguales para este carbón.

El comportamiento plástico para el carbón PQ-01 no fue satisfactorio. La evaluación del material luego del ensayo indica que el carbón se contrajo pero no se aglomeró demasiado desprendiéndose durante el ensayo movimiento registrado por el giro del dial. Es por ello que no pudieron ser determinadas las temperaturas de ablandamiento, fusión y resolidificación.

Al mezcla de carbón de buenas propiedades coquizantes y el carbón PQ-01 se observa que para no sobrepasar el 10% de cenizas, este último carbón puede incorporarse en una proporción de 7,5%.

Con este porcentaje, además, no se vió significativamente modificada la propiedad de plasticidad del carbón importado (Figura 12).

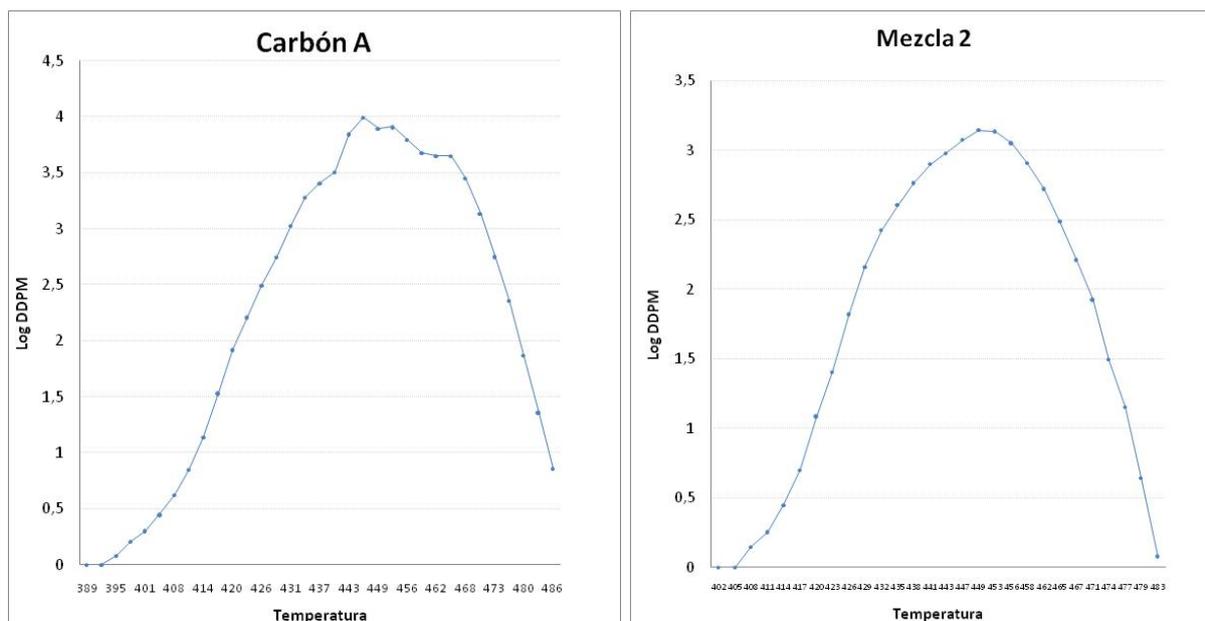


Figura 12. (a) Curva plasticidad carbón importado individual; y (b) mezcla carbón importado +7,5% Carbón PQ-01.

Considerando que las propiedades pueden ser mejoradas mediante un proceso de concentración se seleccionó el lavado por flotación del carbón como un método sencillo y económico.

El empleo de partículas de carbón menores a 2 mm para el proceso de lavado permitió la recuperación de aproximadamente 38% de material concentrado.

Sin embargo el análisis inmediato de esta fracción indica que sólo pudo reducirse en un 4% el contenido de cenizas (Figura 13). Por otro lado el carbono fijo, fue aumentado en un 2% aproximadamente.

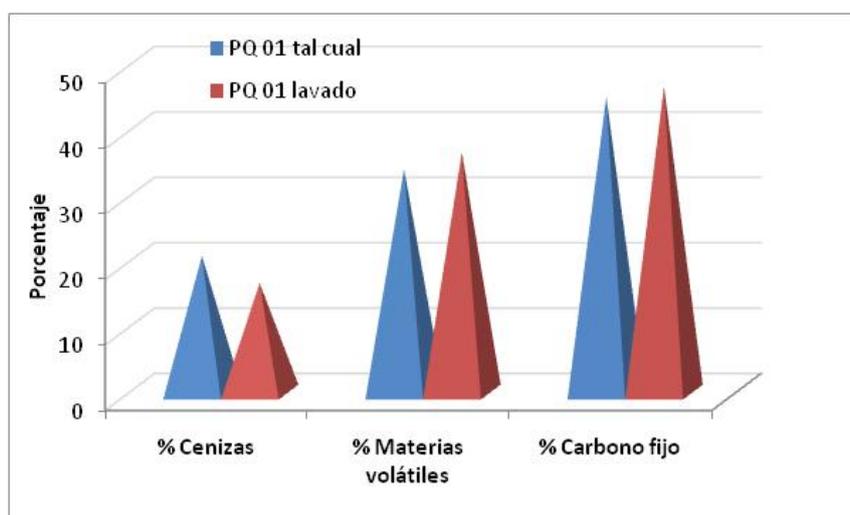


Figura 13. Análisis inmediato antes y posterior la lavado del carbón PQ-01.

Tal como se pudo observar en la microscopía de este carbón algunas partículas presentan materia mineral distribuida al azar en toda la partícula, por lo que se debería recurrir a una molienda más fina del carbón, por ejemplo a menos de 1 mm, para tratar de liberar mayor cantidad de materia mineral.

5 CONCLUSIONES

Esta primera etapa de estudio de carbones minerales argentinos permite establecer que:

- corresponden a carbones minerales de bajo grado o baja calidad debido al elevado porcentaje de cenizas que poseen. No obstante dos de las muestras (PQ-01 y CH-03) cuentan con la ventaja de poseer muy bajos contenidos de azufre;
- estas características restringen el uso de estos carbones en gran medida en mezclas para la obtención de coque de buena calidad;
- de las tres muestras ensayadas sólo la muestra de carbón PQ-01 mostró una leve aglomeración en el ensayo de hinchamiento, hecho que justifica continuar con los ensayos específicos que se aplican a carbones para coquización;
- el análisis petrográfico del carbón PQ-01 indica que en su composición maceral el componente mayoritario es la vitrinita y le sigue en porcentaje la materia mineral. Esto también se observa cualitativamente mediante microscopía óptica;
- el comportamiento plástico del carbón PQ-01 es poco satisfactorio en tanto que el ensayo dilatométrico intenta revelar que es levemente fusible;
- mezclando el carbón PQ-01 en la proporción de 7,5% con carbón importado de buena calidad no se aprecia un cambio significativo en su contenido de cenizas ni en su fluidez;
- la concentración del carbón PQ-01 empleando el método de flotación y fracción menor a 2mm permite recuperar aproximadamente 38% de concentrado. Sin embargo, esto se ve reflejado en una disminución de aproximadamente 4% en el contenido de cenizas y un aumento de aproximadamente 2% en el carbono fijo;
- el carbón PQ-01 presenta un muy leve poder de coquización por lo que podría considerarse como una fuente alternativa. Un ensayo de coquización en horno piloto de una mezcla coquizante en la que se incorpore este carbón aportaría resultados concluyentes para esta aplicación.

Agradecimientos

A la Facultad Regional San Nicolás, al Dr. Edgardo Benavídez y a la Dra Elena Brandaleze por su apoyo en el desarrollo de esta tesis.

A Daniel Hughes, Director-Gerente de Exploración de Trendix Mining por la donación de las muestras de estudio.

A Ternium Siderar, Laboratorio de Reducción, especialmente al Sr. Alberto Alonso, al Ing Rolando Angeleri y a la Ing. Dalmasso por su colaboración para la realización de ensayos y aporte de conocimiento específico.

Al Instituto Argentino de Siderurgia por compartir sus instalaciones para la realización de ensayos.

REFERENCIAS

- 1 LIM; HYOJUN, Operation of Coke Making Increasing Non-Coking-Coal Ratio at Posco. Proceedings 3rd International Steel Conference on New Developments in Metallurgical Process Technologies, METEC, InSteelCon, 2007.
- 2 PRACHETHAN KP et al. Optimisation of coal blend and bulk density for coke ovens by vibrocompacting technique non-recovery ovens. Ironmaking and Steelmaking, Vol 34, N° 5, 2007.
- 3 SHISHIDO T et al. Effect of hyper coal blending on caking and coking properties of coal blends
- 4 LOURDES GOMES M et al. Thermal analysis evaluation of the reactivity of coal mixtures for injection in the blast furnace, Materials Research, Vol.9, N°1, 2006.
- 5 KUMAR M; PATEL S. Characteristics of Indian non-coking coals and iron ore reduction by their chars for directly reduced iron production, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, N°29, 2008.
- 6 V HARDARSHAN. Coal cost reduction using low-rank coal, Iron and Steel Technology, March 2006.