



Simposio Internacional de Industria y Energía

Título

Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de materiales abrasivos y refractarios

Ing. Anniel Heriberto Martín Delgado¹, Dr. Lorenzo Perdomo González². Dr. Sc.

Rafael Quintana Puchol³, Ing. Roily Ruiz Pérez⁴

1- Anniel Heriberto Martín Delgado. UCLV, Cuba. amdelgado@uclv.cu

2- Lorenzo Perdomo González. UCLV, Cuba. lperdomo@uclv.edu.cu

3- Rafael Quintana Puchol. UCLV, Cuba. rquin@uclv.edu.cu

4- Roily Ruiz Pérez. UCLV, Cuba. rolyrp@uclv.cu

Resumen:

- **Problemática:** Los polvos abrasivos usados en Cuba, en la fabricación de muelas son importados a los precios del mercado mundial.
- **Objetivo:** Obtener polvos con características abrasivas a partir del procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales.
- **Metodología:** A las mezclas integradas por cascarilla de laminación y virutas de aluminio se adicionan diferentes proporciones de caliza en dependencia del comportamiento del proceso, de la cantidad de calor generada por unidad de masa y de los resultados obtenidos del procesamiento pirometalúrgico.
- **Resultados y discusión:** Como resultado del proceso se obtiene, como producto principal una escoria formada mayormente por alúmina y un metal como subproducto. Los resultados del proceso son evaluados a partir de los rendimientos de metal y escorias obtenidos con relación al potencial teórico de cada una de las cargas.
- **Conclusiones:** Las cargas conformadas por cascarilla de laminación, virutas de aluminio y caliza permitieron obtener valores de rendimiento metálico entre 54,6 – 87,5 % y de escoria entre 101,1 – 105,7 %, con un adecuado comportamiento tecnológico durante el procesamiento pirometalúrgico para todas las mezclas.

Palabras claves: Aluminotermia, Escorias, Abrasivos, Refractarios, Metal



International Symposium on Industry and Energy

Title

Aluminothermic processing of minerals and industrial residues to obtain abrasive and refractory materials

Summary:

Statement of the problem: The abrasive powders used in Cuba in the manufacture of wheels are imported at world market prices.

Objective: To obtain powders with abrasive characteristics from the aluminothermic processing of minerals and industrial waste.

Methodology: Different proportions of limestone are added to the mixtures of scale and aluminum shavings depending on the behavior of the process, on the amount of heat generated per unit mass and on the results obtained from the pyrometallurgical processing.

Results and discussion: As a result of the process, a slag formed mainly by alumina and a metal as a by-product is obtained as the main product. The results of the process are evaluated from the yields of metal and slag obtained in relation to the theoretical potential of each of the charges.

Conclusions: The loads formed by scale, aluminum shavings and limestone allowed to obtain values of metallic yield between 54.6 - 87.5% and of slag between 101.1 - 105.7%, with an adequate technological behavior during the pyrometallurgical processing for all the mixtures.

Keywords: Aluminothermy, Slag, Abrasives, Refractories, Metal.

1. Introducción

Los materiales abrasivos son sustancias que tienen como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico (trituration, molienda, corte y pulido), son de elevada dureza y se emplean en todos los tipos de procesos industriales y artesanales (Ortega, 2014).

Los abrasivos se pueden encontrar en el mercado en múltiples formas (muelas, discos, papel, polvos, pastas, discos, etc.) (Saavedra, 2019).



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad. UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de
materiales abrasivos y refractarios

La estructura se divide generalmente en tres partes: el soporte, el mineral, el adhesivo o aglutinante (Fernández et al., 2018).

En la práctica industrial existen diferentes variantes tecnológicas de procesamiento de minerales las que son usadas como alternativas viables para el desarrollo de materiales abrasivos (Ballester et al., 2011).

La aluminotermia es un proceso fisicoquímico basado en la posibilidad de reducción de óxidos metálicos (hierro, cromo, manganeso, cobre, etc.) por metales altamente afines por el oxígeno, como son el aluminio, magnesio y titanio, resultando la reacción altamente exotérmica (Blay et al., 2004).

La escoria del proceso contiene más del 90 % de alúmina (Al_2O_3), la cual presenta gran dureza, lo que justifica su uso como abrasivo y como material refractario (ANFA, 2020).

Las materias primas que se utilizan en el procesamiento aluminotérmico pueden ser: concentrados de óxidos de metales, minerales de alta pureza, siendo también posible el uso de residuales sólidos industriales (Perdomo et al., 2018).

Trabajar en función de obtener productos que sustituyan importaciones y contribuyan al programa de vivienda constituye un aspecto de gran importancia para el país.

Entre los materiales para la construcción se encuentran los elementos de piso como: baldosas, rodapié y pisos de granitos, los cuales para su producción requieren de operaciones básicas como el desbaste y pulido, las cuales se realizan utilizando materiales abrasivos, por lo general muelas abrasivas de diversos tipos y formas.

Una parte de las muelas son importadas y otra es fabricada en el país, importándose la totalidad del grano abrasivo utilizado en su fabricación, existiendo en Cuba sólo una fábrica encargada de estas producciones, lo cual provoca un desabastecimiento de estos productos.

La reducción de las importaciones y la disminución de las reservas de los polvos abrasivos, ha limitado significativamente la producción de las muelas abrasivas, comprometiendo los compromisos de producción.

El estudio de diferentes formulaciones de cargas conformadas por minerales y residuales industriales, evaluando su comportamiento durante el proceso permite seleccionar la mezcla de mejor comportamiento durante la obtención de materiales abrasivos y refractarios. Este aspecto constituye el objetivo fundamental del presente trabajo.



2. Metodología

2.1. Materias primas

Las materias primas empleadas, en el procesamiento aluminotérmico son las siguientes:

- Cascarilla de laminación, procedente de Acinox-Tunas.
- Viruta de aluminio, proveniente de la Empresa de Recuperación de Materias Primas de Villa Clara.
- Caliza (polvo de piedra), procede del yacimiento El Purio, perteneciente a la Empresa de Materiales de Construcción de Villa Clara.

La composición química de las materias primas se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Composición química de las materias primas a utilizar

Virutas de aluminio								
Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	Balance
Cascarilla de laminación								
Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	FeO	Fe	Fe prom	O ₂ prom	Impurezas		
20-30	40-60	15-20	2-5	70,3	24,1	5		
Caliza								
CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	PPI			
55,20	0,68	0,34	0,23	0,17	44,38			

elaboración propia

Todas las materias primas utilizadas para el procesamiento aluminotérmico son residuales sólidos industriales y minerales cubanos.

2.2. Equipamiento

El equipamiento utilizado para la obtención de las aleaciones fue el siguiente:

Mezcladora tipo tambor, tamices, tamizadora, balanza técnica, estufa, mortero manual y molino de bolas, reactor aluminotérmico con crisol de grafito.

2.3. Formulación de las cargas

Para el estudio se formularon varias cargas, desde la 0 hasta la 4, donde el número de cargas dependió de la cantidad de calor generada por unidad de masa por cada una de ellas, de forma tal que la cantidad de calor de las reacciones fuera capaz de garantizar el autosostenimiento del proceso y la adecuada separación del metal de la escoria.



Por tanto, a una mezcla constante de cascarilla de laminación con virutas de aluminio, tomada como referencia, se le fue incrementando la cantidad de caliza adicionada a la carga. En la Tabla 2.2 se muestra la conformación de las diferentes cargas.

Tabla 2.2: Conformación de las cargas aluminotérmicas (en g)

Carga	Cascarilla de laminación	Viruta de aluminio	Caliza
0	150	52	0
1	150	52	10 % (15 g)
2	150	52	20 % (30 g)
3	150	52	30 % (45 g)
4	150	52	40 % (60 g)

elaboración propia

2.4. Obtención de los abrasivos

Los diferentes componentes de la carga, una vez pesados en balanza técnica, se introducen en un mezclador de tambor. El mezclado se realiza durante 30 minutos. Posteriormente cada mezcla fue sometida a un precalentamiento en una estufa entre 250 y 300 °C durante 1 h, luego fue colocada, caliente, en el reactor de grafito, iniciándose la reacción por la acción del arco eléctrico. El proceso de obtención de las termitas se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1: Obtención de las termitas. A) Alimentación al reactor e ignición de la reacción, B) Autosostenimiento de la reacción, C) Enfriamiento de la termita (elaboración propia).

Una vez concluido el proceso de fusión, la mezcla se deja enfriar en el reactor para su posterior extracción en una bandeja, separándose la termita del tapón del reactor, quedando el metal en la parte inferior y la escoria en la superior, los que son separados manualmente (ver Figura 2.2).

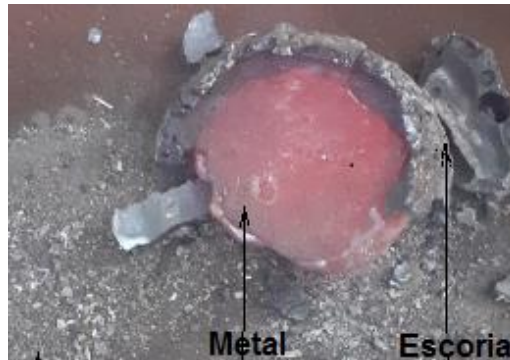


Figura 2.2: Productos obtenidos. Metal, escoria y mezcla sin reaccionar (elaboración propia).

Finalmente, la carga 1 fue reproducida 20 veces para obtener mayor cantidad de escoria donde los productos obtenidos fueron evaluados en la fabricación de materiales abrasivos y refractarios. En la Tabla 2.3 se muestra la conformación de la carga para la colada grande.

Tabla 2.3: Conformación de la colada aluminotérmica grande (en g)

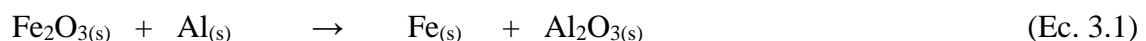
Cascarilla de laminación	Viruta de aluminio	Caliza
3000	1040	10 % (300 g)

elaboración propia

3. Presentación y discusión de resultados

3.1. Balance de masa

A partir de los datos de conformación de cada una de las cargas (Tabla 2.2 y 2.3), la composición química de cada una de las materias primas (Tabla 2.1) y la reacción química fundamental a ocurrir entre el Fe_2O_3 y el aluminio (Ecuación 3.1), se realiza un balance de masas para estimar los resultados potenciales de cada una de las cargas, asumiendo que todo el hierro de la cascarilla está en forma de Fe_2O_3 .





III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad. UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de
materiales abrasivos y refractarios

El balance se realiza a partir del principio de Conservación de la Masa, cuya expresión general se muestra en la Ecuación 3.4 (Castellanos, 2001).

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

A partir de los resultados obtenidos en los balances de masa se determina la cantidad teórica de metal, escoria y gases posibles a obtener en cada una de las cargas, así como la composición química de todos los productos generados durante el procesamiento metalúrgico.

Los resultados potenciales (teóricos) de cada una de las cargas en cuanto a cantidad de metal, escoria y gases se muestran a continuación en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Resultados potenciales teóricos de cada una de las cargas (en g)

Mezcla	Metal	Escoria	Gases
0	106,32	95,68	0,10
1	106,25	104,14	6,61
2	106,28	112,63	13,09
3	106,28	121,12	19,60
4	106,29	129,61	26,11

elaboración propia

La composición química teórica de las aleaciones y las escorias se muestran en las Tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2: Composición química teórica de la escoria (en %-masa) y temperatura de fusión (en °C) de cada una de ellas

Carga	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Temperatura Fusión
0	99,65	0,35	0,00	2014,50
1	91,78	0,26	7,95	1945,48
2	85,00	0,30	14,70	1885,96
3	79,13	0,36	20,51	1834,48
4	74,03	0,42	25,55	1789,74

elaboración propia



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad. UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de
materiales abrasivos y refractarios

Tabla 3.3: Composición química teórica de las aleaciones (en %-masa)

Carga	Fe	Al	Si	Mn	Cu	Cr	Ti
0	98,86	0,70	0,24	0,05	0,05	0,05	0,05
1	98,94	0,60	0,27	0,05	0,05	0,05	0,05
2	98,92	0,64	0,26	0,05	0,05	0,02	0,05
3	98,94	0,60	0,29	0,05	0,05	0,02	0,05
4	98,95	0,57	0,31	0,05	0,05	0,02	0,05

elaboración propia

En cuanto a las escorias, en la Tabla 3.2 puede observarse que, ellas van a estar formadas fundamentalmente por alúmina (Al_2O_3), apreciándose un incremento en el contenido de CaO en la medida en que aumenta la cantidad de caliza incorporada a la carga. El contenido de alúmina disminuye desde 99,65 % hasta el 74,03 % y el de CaO aumenta desde 0 hasta el 25,55 %.

La temperatura de fusión de las escorias fue estimada a partir de los datos teóricos de composición utilizando la expresión siguiente (Torres, 1971):

$$^{\circ}C = \frac{360 + Al_2O_3 - RO}{0.228} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde, Al_2O_3 es el por ciento de alúmina de la escoria y RO, el por ciento en peso de los óxidos alcalinos, los de calcio y los de magnesio presentes (Torres, 1971).

Aunque esta fórmula resulta bastante exacta, debe tomarse sólo como referencia de un resultado (Torres, 1971), sobre todo en este caso donde los datos de composición química son determinados a partir del balance de masa.

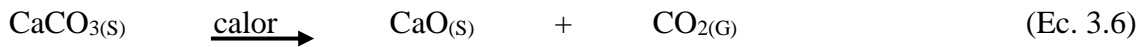
Como puede apreciarse en la Tabla 3.2, para todas las cargas, las escorias obtenidas deben tener temperaturas de fusión elevadas, las que deben ir disminuyendo desde 2014,50 °C hasta 1789,74 °C, lo cual le confiere valiosas propiedades como materia prima para elaborar materiales refractarios y abrasivos.

Las variaciones observadas en la composición química de las aleaciones se deben a la incorporación de la caliza en la carga, la cual incorpora pequeñas cantidades de hierro y silicio a las aleaciones a partir de la reducción de estos óxidos durante el procesamiento aluminotérmico.

Por otro lado, en la Tabla 3.1 se aprecia que la cantidad de gases generada se incrementa de manera proporcional en la medida en que aumenta la cantidad de caliza incorporada a



la carga debido a la descomposición del CaCO_3 , la cual ocurre a $825\text{ }^\circ\text{C}$ (Patnaik, 2002), tal como se muestra en la Ecuación 3.6.



3.2- Cálculo de los calores de reacción

La determinación de los calores de reacción permite valorar la factibilidad de ocurrencia de las reacciones químicas que se desarrollan durante el procesamiento metalúrgico (Riss and Khodorovsky, 1975).

El calor de reacción se determina a partir de las expresiones siguientes:

$$Q_r = \Delta H_r \quad (\text{Ec. 3.7})$$

$$\Delta H_r = \sum n \Delta H_{f\text{prod}} - \sum n \Delta H_{f\text{reacc}} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

La variación de energía libre se determina mediante la ecuación 3.9.

$$\Delta G_r = \sum n \Delta G_{f\text{prod}} - \sum n \Delta G_{f\text{reacc}} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Los calores de formación de los óxidos que intervienen en las reacciones químicas se muestran en la Tabla 3.4 (Perry, 1999).

Tabla 3.4: Calores de formación y energía libre de los óxidos que intervienen en las reacciones químicas en kcal.mol^{-1} (Perry, 1999)

Óxido	ΔH_f°	ΔG_f°
Al_2O_3	-399,09	-376,87
Fe_2O_3	-198,50	-179,10
MgO	-143,84	-136,17
SiO_2	-203,35	-190,4

Según los datos anteriores y las reacciones químicas 3.1, 3.2 y 3.3, se obtiene lo siguiente:

Para la ecuación 3.1: $\Delta H_{r1} = -200,6\text{ kcal/mol}$ y $\Delta G_{r1} = -197,8\text{ kcal/mol}$

Para la ecuación 3.2: $\Delta H_{r2} = -233,0\text{ kcal/mol}$ y $\Delta G_{r2} = -229,4\text{ kcal/mol}$

Para la ecuación 3.3: $\Delta H_{r3} = -188,13\text{ kcal/mol}$ y $\Delta G_{r3} = -182,5\text{ kcal/mol}$

De acuerdo con los resultados de ΔH_r y ΔG_r las tres reacciones son exotérmicas y factibles de desarrollar desde el punto de vista termodinámico, debido a que en todos los casos dan valores negativos.

Luego se determina la cantidad de calor generada, a partir de los cálculos de los calores de reacción, la composición química de los diferentes componentes de la carga y los datos de conformación de las mezclas (ver Tabla 2.2 y 2.3). Al afectar la cantidad total de calor



generada por las reacciones químicas por la cantidad de carga total se obtiene la cantidad de calor por unidad de masa (cal/g). Estos resultados permiten predecir la factibilidad de autosostenimiento de la reacción aluminotérmica. Los resultados de estos cálculos se muestran a continuación en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Cantidad de calor generada por las cargas (cal/g)

Carga	0	1	2	3	4
Qr	-930,96	-867,2	-811,46	-762,5	-719,19

elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 3.5 la menor cantidad total de calor por unidad de masa, le corresponde a la carga 4 y la mayor a la carga 0 ya que no contiene caliza. Estos valores para todas las cargas se encuentran por encima de 700 cal/g de mezcla pirometalúrgica, lo que garantiza el autosostenimiento del proceso aluminotérmico sin el suministro de energía externa adicional, además, todas las mezclas superan las 650 cal/g, lo cual garantiza la adecuada separación entre el metal y la escoria (Riss and Khodorovsky, 1975).

3.3. Resultados del procesamiento metalúrgico

A partir de la descripción del proceso para la obtención de las aleaciones, a continuación, se muestran los resultados cualitativos de las coladas realizadas durante el proceso aluminotérmico.

El encendido de las primeras reacciones fue rápido con una reacción violenta, un adecuado autosostenimiento del proceso, el aspecto físico del metal obtenido bueno con separación completa de la escoria. El comportamiento anteriormente descrito fue logrado por la pequeña porción de caliza añadida a las mezclas, a medida que esta se aumenta, disminuye el rendimiento del proceso, lo cual provocó que para las coladas finales el encendido fuera más lento y la reacción menos violenta. El metal se obtuvo con aspecto rugoso y se logró una separación parcial de la escoria y a causa de este fenómeno quedó una parte de la mezcla sin reaccionar.

Los resultados cuantitativos del procesamiento de todas las cargas pequeñas en cuanto a: cantidad de metal, escoria y masa de mezcla que no reaccionó se muestran en la Tabla 3.6, mostrándose además los valores de rendimientos, los cuales son determinados a partir



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad. UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de
materiales abrasivos y refractarios

de la relación entre la cantidad real obtenida y la teórica determinada a partir del balance de masa (Tabla 3.1).

Tabla 3.6: Masas del metal fundido, escoria y mezcla sin reaccionar de las termitas pequeñas

Mezcla	Metal		Escoria		Sin reaccionar
	Masa (g)	Rdto (%)	Masa (g)	Rdto (%)	Masa (g)
0	93	87,5	97	101,4	5
1	91	85,6	108	103,7	6
2	85	79,9	116	103,1	16
3	80	75,2	128	105,7	18
4	58	54,6	131	101,1	47

elaboración propia

En la Tabla 3.6, se observa que la cantidad de metal varió entre 58 y 93 g, donde de acuerdo al balance de masa la cantidad de metal teórica debía mantenerse constante pero no fue así, observándose que fue disminuyendo en la medida en que se aumenta la cantidad de caliza incorporada a la mezcla, lo cual está relacionado con la disminución de la cantidad de calor que se genera por unidad de masa, lo cual afecta la reducción de los óxidos de hierro a metal, apreciándose que el rendimiento de metal disminuye desde el 87,5 % hasta un 54,6 %. Aunque el metal no es el producto principal deseado en el procesamiento, la disminución en la cantidad de metal producida afecta la rentabilidad del procesamiento ya que la aleación obtenida puede ser aprovechada como materia prima en la elaboración de acero.

La cantidad de escoria varió entre 97 y 131 g, observándose la tendencia esperada, de acuerdo a la Tabla 3.2. En la Tabla 3.7 se observa que la cantidad de escoria aumentó en las coladas en la medida en que se incrementaba la cantidad de caliza adicionada a la termita. En cuanto al rendimiento, con relación al valor teórico calculado, en todos los casos, el rendimiento obtenido supera el 100 %, lo cual debe estar relacionado directamente con la disminución de la cantidad de metal que se produce, permitiendo asumir que esa cantidad de hierro debe quedar contenida en la escoria en forma de Fe_2O_3 , alterando proporcionalmente la composición de dichas escorias.



En cuanto a la cantidad de mezcla que no reaccionó, en la Tabla 3.6 se puede observar que esta fue aumentando proporcionalmente en la medida en que aumentó la cantidad de caliza incorporada.

En la Figura 3.1 se muestra el comportamiento del metal y la escoria real en comparación con las cantidades teóricas, observándose que las curvas teóricas y real para el caso de las escorias mantienen la misma tendencia y la de metal disminuye con relación a la cantidad teórica.

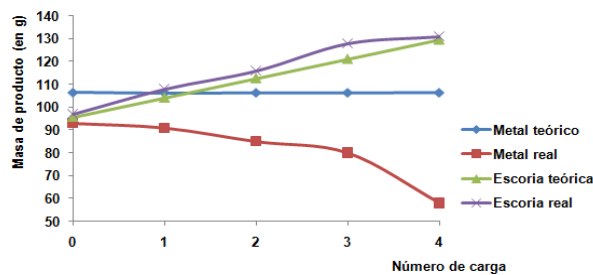


Figura 3.1: Comparación del metal y la escoria (real y teórica), de las mezclas pequeñas (elaboración propia).

4. Reproducción de la carga de mejor comportamiento

Para evaluar el proceso a mayor escala se selecciona la carga 1, ya que resultó la de mejor comportamiento en cuanto a rendimiento de metal y escoria y fue en la que quedó menor cantidad de carga sin reaccionar entre todas las mezclas evaluadas (ver la tabla 3.6). Además se observó un adecuado comportamiento en cuanto a velocidad de reacción y autosostenimiento del proceso. Por otro lado, en la medida en que se incrementa la cantidad de caliza incorporada en la mezcla, disminuyen también el contenido de alúmina y la temperatura de fusión de la escoria obtenida, lo cual puede afectar las propiedades de la escoria como material abrasivo y refractario.

Durante el procesamiento de la mayor, el encendido se desarrolló sin dificultades, con una buena velocidad de reacción, obteniéndose metal de aspecto uniforme y liso (Figura 3.2).



Figura 3.2: Colada grande 1: A) productos obtenidos, B) metal, C) escoria (elaboración propia).

Los resultados del procesamiento en cuanto a cantidad de metal y escoria se muestran en la Tablas 3.7.

Tabla 3.7: Resultados del procesamiento de la grande

Producto	Masa teórica (g)	Masa real (g)	Rdto (%)
Metal	2124,95	1995	93,88
Escoria	2082,83	2120	101,78
No reaccionó	6		

elaboración propia

En la Tabla 3.7 puede observarse que el procesamiento aluminotérmico de la carga grande permitió obtener más de 2 kg de escoria y más de 1 kg de metal, lo que representa el 102 y 94 % de rendimiento respectivamente. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en la colada 1, se puede observar que cuando aumenta la cantidad de metal procesada aumenta de manera significativa el rendimiento de metálico y disminuye ligeramente el rendimiento de escoria, disminuyendo marcadamente la cantidad de mezcla que deja de reaccionar, lo cual contribuye a mejorar los resultados del procesamiento pirometalúrgico.

Este comportamiento puede estar asociado a que, al fundir mayor cantidad de mezcla, la cantidad de productos fundidos en el reactor es mucho mayor, por tanto, las pérdidas relativas de calor serán menores, sobre todo las pérdidas de calor que se producen por el calentamiento del reactor producto del procesamiento. Esta mayor disponibilidad de energía facilita el desarrollo de las reacciones redox y permite un mayor tiempo de permanencia a temperaturas elevadas de los productos fundidos, lo que facilita la



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad. UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de
materiales abrasivos y refractarios

separación del metal y la escoria, reduciéndose de manera apreciable la cantidad de mezcla que queda sin reaccionar.

La composición química teórica del metal y la escoria obtenidos deben ser semejantes a las del metal y escoria obtenidas en la colada 1, así como la temperatura de fusión de la escoria (1945,48 °C).

Si se recalcula nuevamente la composición de las escorias, a partir de los resultados del procesamiento, se obtiene que la escoria debe estar formada por 91,39 % de Al_2O_3 , 8,33 % de CaO, 7,58 % de Fe_2O_3 y 0,28 % de MgO, lo que daría una temperatura de fusión de 1942 °C, valor muy cercano al calculado para la carga 1 (Tabla 3.2), pero resultados mucho más cercanos al comportamiento teórico, si se comparan con los obtenidos con las cargas pequeñas. De manera general se puede señalar que al aumentar la cantidad de carga procesada se observó un mejor comportamiento del proceso, observándose una tendencia cercana al comportamiento previsto en el balance de masa.

Conclusiones

1. Las cargas conformadas por cascarilla de laminación, virutas de aluminio y caliza permitieron obtener valores de rendimiento metálico entre 54,6 – 87,5 % y de escoria entre 101,1 – 105,7 %, con un adecuado comportamiento tecnológico durante el procesamiento pirometalúrgico para todas las mezclas.
2. Las características y composición química de las materias primas seleccionadas, así como las proporciones en que fueron mezclados los minerales y residuales, permitió generar cantidades de calor entre 719,19 – 930,6 cal/g, lo cual garantizó el autosostenimiento del proceso y la adecuada separación del metal y la escoria, asegurando el adecuado desarrollo del procesamiento aluminotérmico.
3. La evaluación del comportamiento tecnológico de cada una de las cargas permitió seleccionar la mezcla 1 como la más adecuada para la obtención de los polvos abrasivos y refractarios.
4. La reproducción de la carga 1 a mayor escala permitió mejorar los resultados de la etapa inicial, obteniéndose un rendimiento metálico de 94 % y de escoria y 102 %, disminuyendo considerablemente la cantidad de mezcla que queda sin reaccionar.

Referencias Bibliográficas



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad. UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Procesamiento aluminotérmico de minerales y residuales industriales para la obtención de
materiales abrasivos y refractarios

- 1- ANFA., (2020). *nociones sobre abrasivos*. Miembro asociado a la Federación Europea de Fabricantes de Abrasivos (FEPA). Madrid. Disponible en: www.asociacion-anfa.es.
- 2- Ballester, A.; Verdeja, I.F.; Sancho, J.: (2011) “*metalurgia extractiva: volumen I y II*”, Síntesis.
- 3- Blay, J. M. D., Elorz, J. A. P.-S. & Gonzalez, I. F. V. (2004). Aceros aluminotermicos. Nuevas aplicaciones. Revista de metalurgia, N°. 40, 56-64.
- 4- Castellanos, J. Et al., (2001) balance de masa y energía, métodos clásicos y Técnicas no convencionales. Edición de María del Carmen Rodríguez Fernández. Editorial Feijóo, Cuba.
- 5- Fernández, Y. G., Sinclair, E. V. & Hernández, Y. D. (2018). Obtención de pastas abrasivas a partir de materias primas nacionales para el pulido y abrillantado de latones. La Habana, Facultad de Ingeniería Mecánica, Unidad Docente Metalúrgica, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. pp. 51.
- 6- Ortega, A. D. J. B. (2014). Química de los materiales. Disponible en <https://es.slideshare.net>. consultado el 4 de diciembre del 2019.
- 7- Perdomo, L.; Cruz Crespo, A.; Gómez Pérez, C.R.; Rodríguez Pérez, M.; Quintana Puchol, R. (2018). Balances de masa y calores de reacción para evaluar la extracción de vanadio a partir de catalizadores agotados en el proceso de obtención de ácido sulfúrico. Tecnología química. Vol. 38, (n°. 3). 594-611. Universidad de Santiago de Cuba, Cuba. ISSN: 2224-6185.
- 8- Perry, R., (1999) *Chemical Engineers Handbook*. New York, McGraw – Hill Handbooks.
- 9- Riss, A., khodorovsky, Y. (1975). *Production of ferroalloys*. Moscow, ed. Foreign languages publishing house. 278 p.
- 10- Saavedra, R. F. (2019). Desarrollo de materiales abrasivos mediante métodos pirometalúrgicos. Tesis de Grado. Facultad de ingeniería Mecánica e Industrial, Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.
- 11- Torres, A., (1971) *tecnología de los refractarios*. Edición de Elena Aguilar. Ediciones de ciencia técnica. Instituto cubano del libro, 19no. 1002. Cuba, Vedado, La Habana.