



III CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL DE CIENCIA TECNOLOGIA Y SOCIEDAD UCLV 2021

Título

Obtención y Evaluación de Materiales Abrasivos para el Pulido de Pisos y Terrazos a Partir de Escorias Aluminotérmicas

Title

Obtaining and Evaluation of Abrasive Materials for Polishing Floors and Terrazzo from Aluminothermic Slags

Ing. Aniel Heriberto Martín Delgado¹, Dr. Lorenzo Perdomo González².

1- Aniel Heriberto Martín Delgado. Centro de Investigación de Soldadura (CIS),
Universidad Central "Marta Abreu" De Las Villas UCLV, Cuba. amdelgado@uclv.cu

2- Lorenzo Perdomo González. Centro de Investigación de Soldadura (CIS), Universidad
Central "Marta Abreu" De Las Villas UCLV, Cuba. lperdomo@uclv.edu.cu

Resumen:

El pulido de los elementos de pisos y terrazos utilizados en el programa nacional de construcción de viviendas se realiza con muelas abrasivas, de las cuales la mayor parte es importada por Cuba y el resto son fabricadas usando polvos abrasivos importados, lo cual conlleva a un gasto considerable de divisas por parte del país. Dado por la ausencia, en Cuba, de un procedimiento industrial que permita obtener estos materiales abrasivos con materias primas nacionales por lo que el objetivo principal es obtener materiales abrasivos para su uso en el desarrollo de muelas abrasivas, utilizando cemento Portland como aglomerante. El estudio se le realizó a una mezcla de cascarilla de laminación, virutas de aluminio y caliza el cual se hizo reaccionar en un reactor aluminotérmico obteniendo del proceso una escoria de alta dureza, factibles de utilizar como material abrasivo, para comprobar la calidad de las escorias se le realizaron dos ensayos, uno de dureza y otro sobre el comportamiento de los granos durante el fraguado. Los ensayos comprobaron la posibilidad de utilizar las escorias como materiales abrasivos siendo estos satisfactorios.



Abstract:

The polishing of the elements of floors and terraces used in the national housing construction program is carried out with abrasive wheels, of which most are imported by Cuba and the rest are manufactured using imported abrasive powders, which entails an expense considerable foreign exchange by the country. Given the absence, in Cuba, of an industrial procedure that allows obtaining these abrasive materials with national raw materials, so the main objective is to obtain abrasive materials for use in the development of abrasive wheels, using Portland cement as a binder. The study was carried out on a mixture of mill scale, aluminum shavings and limestone which was reacted in an aluminothermic reactor, obtaining from the process a high hardness slag, feasible to use as an abrasive material, to check the quality of the slags. Two tests were carried out, one on hardness and the other on the behavior of the grains during setting. The tests verified the possibility of using slags as abrasive materials, these being satisfactory.

Palabras Clave: materiales abrasivos; escoria; dureza.

Keywords: abrasive materials; human waste; hardness.

1.- Introducción

Los materiales abrasivos son sustancias que tienen como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico, 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.), siendo actualmente la mayoría de estos productos fabricados empleando como material abrasivo, el carburo de silicio (SiC) o el corindón (Al_2O_3) (Saavedra, 2019).

Generalmente, los abrasivos están dispuestos de tal manera que les permita realizar la función para la cual fueron diseñados, determinada por el modo en que se colocan los diferentes materiales que los conforman. 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., 2000).



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
OBTENCION Y EVALUACION DE MATERIALES ABRASIVOS PARA EL PULIDO DE PISOS Y
TERRAZOS A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS

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). Esta escoria contiene más del 90 % de alúmina (Al_2O_3), la cual presenta gran dureza, lo que justifica su uso como abrasivo.

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

La Empresa de Materiales de Construcción de Villa Clara, realiza producciones artesanales de muelas abrasivas, utilizando grano abrasivo importado y cemento P-350 como aglomerante. Las muelas son fabricadas en la UEB Combinado de Hormigón Rolando Morales Sanabria de Cifuentes, utilizándolas en sus producciones y abasteciendo con estos productos a otras fábricas pertenecientes a la empresa. 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 de la empresa.

Esta situación ha llevado a la Empresa de Materiales de Construcción a buscar una alternativa que permitan la obtención de los polvos abrasivos que necesita para la fabricación de las muelas abrasivas utilizadas en sus UEB. Actualmente se trabaja en el montaje de una Planta Piloto para la fabricación de estos polvos, cuya ejecución se desarrolla a través de un contrato, para la introducción de resultados, firmado entre la Empresa de Materiales y la Sociedad de Interfaz de Ciencia y Tecnología de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas S.A.

De aquí que el objetivo principal de trabajo es obtener un material con características abrasivas (escoria), el cual constituye el producto principal y una aleación de hierro como subproducto, usando como materias primas sólo residuales industriales y minerales cubanos.

2.- Metodología

2.1.- Materias primas

Las materias primas empleadas, en el procesamiento aluminotérmico son las siguientes:
Cascaquilla de laminación, procedente de Acinox-Tunas.



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
OBTENCION Y EVALUACION DE MATERIALES ABRASIVOS PARA EL PULIDO DE PISOS Y
TERRAZOS A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS

Viruta de aluminio, procedente 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.

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 y molino de bolas y el reactor aluminotérmico con crisol de grafito.

2.3.- Formulación de las cargas

Para el estudio, en el trabajo, 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 de cada una de ellas, de forma tal que la cantidad de calor de las reacciones fuera suficiente para 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 1 se muestra la conformación de las diferentes cargas.

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)

Tabla 1¹. Conformación de las cargas aluminotérmicas (en g)

¹ 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 en orden creciente de acuerdo a su densidad: virutas de aluminio, caliza y cascarilla de laminación. 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 1.

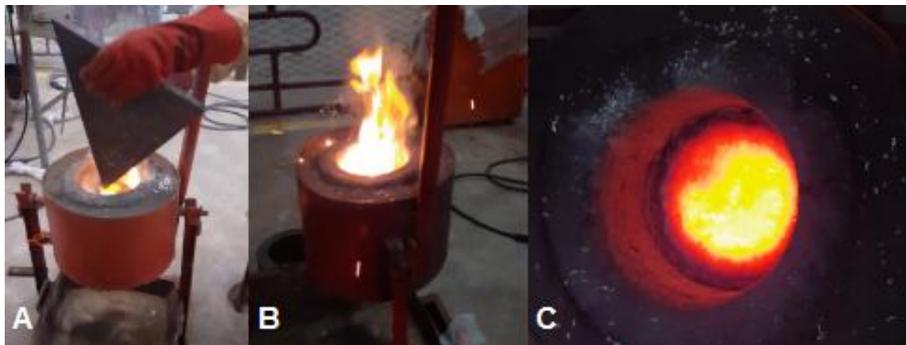


Fig. 1². Obtención de las termitas. A) Alimentación al reactor e ignición de la reacción, B) Autosostenimiento de la reacción, C) Enfriamiento de la termita

Una vez concluido el proceso de fusión, la mezcla se deja enfriar en el reactor para su posterior extracción en una bandeja, quedando el metal en la parte inferior y la escoria en la superior, los que son separados manualmente (ver Figura 2).



Fig. 2³. Productos obtenidos. Metal, escoria y mezcla sin reaccionar

² Elaboración propia

³ Elaboración propia



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
OBTENCION Y EVALUACION DE MATERIALES ABRASIVOS PARA EL PULIDO DE PISOS Y
TERRAZOS A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS

Finalmente, la carga 1 fue reproducida 20 veces para obtener mayor cantidad de escoria, la cual será evaluada en la fabricación de materiales abrasivos. En la Tabla 2 se muestra la conformación de la carga para la colada grande. En el caso de esta carga, destinada a evaluar el abrasivo, se fundieron 4,34 kg de productos.

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

Tabla 2⁴. Conformación de la colada aluminotérmica grande (en g)

En el caso de esta carga, destinada a evaluar el abrasivo, se fundieron 4,34 kg de productos.

2.5.- Evaluación de las escorias como abrasivo

2.5.1.- Ensayo de rayado

Para evaluar la calidad de las escorias en cuanto a su dureza, se realizó un ensayo cualitativo que permite comparar la dureza de las diferentes escorias obtenidas. El ensayo consiste en marcar un cristal por la acción de un abrasivo y una carga constante (2 Kg). Para realizar el ensayo se coloca el polvo abrasivo en un émbolo, el cual es desplazado por un pistón formado por un aro de goma y una varilla de aluminio de 10 mm de diámetro, sobre la que se coloca un disco con una carga.

En la parte inferior del conjunto embolo-pistón se coloca un cristal, el cual se hace correr 10 veces, hacia adelante y hacia atrás, por dos guías fijas. Para el ensayo los abrasivos fueron triturados y tamizados por debajo de 0,150 mm.

2.5.2.- Confección de probetas de muelas abrasivas

El objetivo de este ensayo fue evaluar la posible reactividad de los granos abrasivos (escorias) con el cemento Portland P-350. Las probetas fueron confeccionadas con las siguientes proporciones: 15 g de cemento (75 %) y 5 g de abrasivos (25 %), para un total de 20 g de mezcla (100 %). El cemento y el abrasivo se mezclaron manualmente y se fue

⁴ Elaboración propia.



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
OBTENCION Y EVALUACION DE MATERIALES ABRASIVOS PARA EL PULIDO DE PISOS Y
TERRAZOS A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS

adicionando agua hasta que la mezcla quedara totalmente húmeda (aproximadamente 10 ml de agua). Para conformar las probetas se utilizaron, como moldes, tubos plásticos de 1,91 mm y 2,54 mm de diámetro.

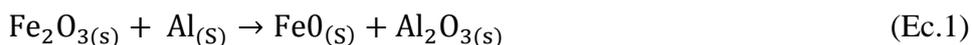
El ensayo se realizó en dos etapas, primeramente, se confeccionaron las probetas con los abrasivos de las coladas más factibles a reaccionar por su mayor contenido de alúmina, es decir desde la carga 0 hasta la 2, utilizándose dos fracciones de (+0,315 -0,150 mm) y (+0,150 -0 mm).

En una segunda etapa, se confeccionaron las probetas con los abrasivos de la carga 1 reproducida (carga grande). El abrasivo fue previamente triturado y clasificado en 5 fracciones, donde las fracciones fueron tomadas en función del tamaño de grano o número de la muela abrasiva.

3. Resultados y discusión

3.1.- Balance de masa

A partir de los datos de conformación de cada una de las cargas (Tabla 1 y 2), la composición química de cada una de las materias primas y la reacción química fundamental a ocurrir entre el Fe_2O_3 y el aluminio (Ecuación 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 .



El balance se realiza a partir del principio de Conservación de la Masa, cuya expresión general se muestra en la Ecuación 2 (Castellanos, 2001).

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Sálida} + \text{Generación} - \text{Consumo} \quad (Ec. 2)$$

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.

3.2.- Resultados del procesamiento metalúrgico

Los resultados cuantitativos del procesamiento de todas las cargas pequeñas y la carga grande en cuanto a: cantidad de metal, escoria y masa de mezcla que no reaccionó se



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
OBTENCION Y EVALUACION DE MATERIALES ABRASIVOS PARA EL PULIDO DE PISOS Y
TERRAZOS A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS

muestran en las Tablas 3 y 4, mostrándose además los valores de rendimientos, los cuales son determinados a partir de la relación entre la cantidad real obtenida y la teórica determinada a partir del balance de masa.

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

Tabla 3⁵. Masas del metal fundido, escoria y mezcla sin reaccionar de las termitas pequeñas

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

Tabla 4⁶. Resultados del procesamiento de la termita grande

3.3.- Evaluación de los abrasivos

3.3.1.- Valoración del ensayo de rayado

Anteriormente se señalaron las características del ensayo a realizar, evaluándose las escorias de las cargas 0, 1, 2 y 3. Se eliminó la escoria 4, debido a que el contenido de alúmina y la temperatura de fusión de las escorias disminuyen, lo cual tiende a afectar sus propiedades como material abrasivo y refractario.

En la Figura 3 se pueden observar las marcas dejadas por el abrasivo sobre el cristal, observándose una marcada tendencia a disminuir la magnitud de dichas marcas en la medida en que se incrementa el contenido de caliza en la carga.

⁵ Elaboración propia

⁶ Elaboración propia

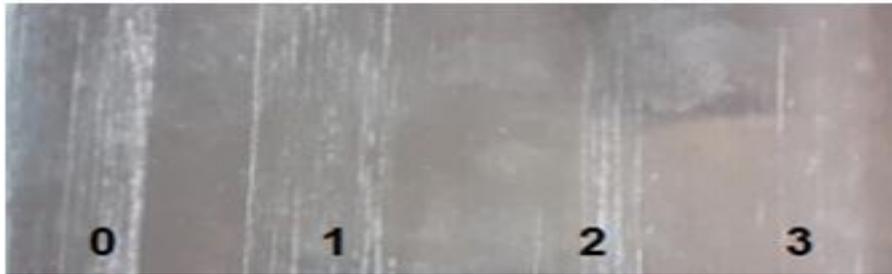


Fig. 3⁷. Acción del abrasivo en el cristal

A pesar de que el ensayo muestra un criterio cualitativo, se puede afirmar que ofrece una importante información sobre el comportamiento de los granos como material abrasivo, quedando evidenciado que las escorias tienen mayor dureza que el vidrio utilizado, siendo la dureza del vidrio en la escala de Mohs es 5,5 (Ramón y Asensio, 2018).

3.3.2.- Valoración del comportamiento de los granos abrasivos durante el fraguado Saavedra (2019), al evaluar el comportamiento de los abrasivos obtenidos en su trabajo, encontró que algunas fracciones granulométricas interactuaron con el cemento P-350, deformando las muelas obtenidas durante la etapa de fraguado, afectando su comportamiento, por lo que el objetivo de los ensayos a realizar es evaluar el comportamiento de los granos durante el fraguado. Anteriormente se explicó el ensayo a realizar, el cual consta de dos etapas, en la primera etapa se utilizaron las escorias de las cargas 0, 1 y 2 debido a los mejores resultados en cuanto a rendimiento y a los mayores contenidos de alúmina en las escorias. Por tanto, se trituraron las escorias en un mortero manual pequeño y se clasificaron en dos fracciones de: +0,315 -0,150 mm (fracción A) y -0,150 mm (fracción B).

Al confeccionar las probetas en la primera etapa, se confirmó que estas se comportaron satisfactoriamente no observándose los problemas presentados por Saavedra (2019), por lo que con el paso de los días, las probetas se mantuvieron en condiciones adecuadas, lo cual puede ser observado en la Figura 4, observándose que ninguna de las probetas se deformó, tal como ocurrió con algunas de las probetas elaboradas por Saavedra, (Saavedra, 2019).

⁷ Elaboración propia



III Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad UCLV 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
OBTENCION Y EVALUACION DE MATERIALES ABRASIVOS PARA EL PULIDO DE PISOS Y
TERRAZOS A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS



Fig. 4⁸. Primera etapa del ensayo. Probetas fabricadas de la colada 0 hasta 2 (0,1,2) con dos fracciones principales (A,B)

Al seleccionarse la colada 1, como la de mejores resultados, se hace necesario evaluar el comportamiento de las diferentes fracciones granulométricas durante el fraguado ya que estas escorias serán destinadas al desarrollo de muelas abrasivas, utilizando cemento P-350 como aglomerante. Por tanto, la totalidad de las escorias obtenidas en la colada grande fueron trituradas manualmente y clasificadas granulométricamente, siendo primeramente trituradas en un mortero de forma manual hasta lograr que todo el producto alcanzara un tamaño de grano inferior a 0,315 mm. El producto obtenido fue clasificado posteriormente en 5 fracciones de forma tal que pudieran agruparse de acuerdo los requerimientos granulométricos de las muelas abrasivas. En la Tabla 5 se ofrecen los resultados de la clasificación granulométrica de las escorias trituradas y el número promedio del grano, de acuerdo a la granulometría obtenida.

Probeta	Fracción granulométrica	No. Grano promedio	Masa (en g)	%	% acumulado
1	-0,315 +0,21	60	540	30,30	30,3
2	-0,21 +0,16	80	188	10,55	40,85
3	-0,16 +0,088	100	715	40,12	80,97
4	-0,088 +0,053	180	230	12,91	93,88
5	-0,053	240	109	6,12	100

Tabla 5⁹. Resultados del proceso de clasificación granulométrica de las escorias trituradas

En la Figura 5, se pueden observar las probetas elaboradas con los granos obtenidos en cada una de las fracciones granulométricas, en las cuales tampoco se observaron deformaciones en las muelas elaboradas, lo cual confirma que no ha existido interacción

⁸ Elaboración propia

⁹ Elaboración propia



química entre el grano de abrasivo y el cemento Portland 350, permitiendo su uso en la elaboración de muelas abrasivas de cualquier clasificación.



Fig. 5¹⁰. Segunda etapa del ensayo. Probetas fabricadas de la colada 1 en las 5 fracciones principales

3.4.- Evaluación industrial de los polvos

La formulación estudiada correspondiente al punto 1 fue reproducida, obteniéndose alrededor de 30 kg de polvo abrasivo, de los cuales se le entregaron muestra de diferentes granulometrías a la Empresa de Materiales de la Construcción para la fabricación de muelas abrasivas. Estas muelas fueron fabricadas en la Fábrica de losas de Cifuentes, las cuales fueron evaluadas en la propia empresa en el pulido de piezas de granito fundido, obteniéndose resultados similares a los que se obtienen con las muelas fabricadas con el polvo abrasivo importado.

4. 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.
2. La reproducción de la carga 1 (con mayor volumen) permitió reducir considerablemente la cantidad de mezcla que queda sin reaccionar, obteniéndose un rendimiento metálico de 94 % y de escoria y 102 %, lo cual mejora considerablemente los resultados del proceso.
3. Los ensayos de abrasividad realizados con los granos abrasivos obtenidos, permitieron comprobar que todos los polvos obtenidos tienen dureza superior al vidrio, siendo posible su uso para fabricar las muelas abrasivas usadas en el pulido de pisos y terrazos, por otro lado, en ninguna de las probetas evaluadas se observaron

¹⁰ Elaboración propia



deformaciones durante el fraguado de las mezclas de polvos abrasivo con cemento P-350.

4. Al realizar un ensayo real de trabajo de las muelas abrasivas utilizando la alúmina como abrasivo comprobó que este material es tan factible de utilizar como el carburo de silicio obteniendo resultados muy cercanos.

5. Referencias bibliográficas

- 1- Ballester, A.; Verdeja, I.F.; Sancho, J.: (2011) "*metalurgia extractiva: volumen I y II*", Síntesis.
- 2- 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.
- 3- 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.
- 4- 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.
- 5- Ortega, A. D. J. B. (2014). Química de los materiales. Disponible en <https://es.slideshare.net>. consultado el 4 de diciembre del 2019.
- 6- 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.
- 7- Ramón, H. M. y Asensio, S. I. (2018). La escala de mohs, dureza de los minerales. Departamento: Producción Vegetal, Universidad Politécnica de València. pp.7.
- 8- 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.