

OBTENCIÓN DE HIERRO A PARTIR DE ARENAS NEGRAS DEL ATLÁNTICO COLOMBIANO DESEMBOCADURA RIO MAGDALENA

J. A. Vargas, E. A. Castañeda, A. H. Forero, S. C. Díaz

Grupo de Investigación en Materiales Siderúrgicos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja, Boyacá, COLOMBIA
alher31@hotmail.com

RESUMEN

El siguiente estudio pretende poner en comparación dos métodos de obtención de hierro, partiendo de arenas negras con un gran porcentaje de magnetita. Las arenas fueron caracterizadas por diferentes técnicas como fluorescencia de rayos X, microscopia electrónica de barrido, petrografía y análisis volumétrico, con el fin de conocer el porcentaje de hierro presente en las arenas que fue de 54,72%, secadas y concentradas en seco por medio de un separador magnético tipo tambor. Del proceso de separación se obtuvo el 54,029 % de material concentrado y 45,9% de material de rechazo. Luego de previos ensayos con diversos tipos de aglomerantes, se realizó la peletización. A partir de dichos ensayos se determinó que la melaza diluida en agua es el mejor aglomerante utilizando una relación 2:1. De allí, se dio inicio al primer método propuesto, el cual consistió en llevar los pellets de arena concentrada, directamente a fusión en el horno eléctrico de arco, sin ningún otro tipo de tratamiento adicional. Mientras que para el segundo método, los pellets fueron hematizados a 1100 ° C para facilitar su prerreducción, ya que la magnetita como tal carece de permeabilidad y es muy densa; luego de ser llevados al proceso de reducción directa, se sometieron a fusión en el horno eléctrico de arco. El material que mejor se comportó en el horno fue el material prerreducido, debido a que la carga fue menor, los pellets prerreducidos permanecieron menos tiempo en fusión; en cuanto a la composición química se obtuvo porcentajes similares tanto de carbono como de hierro, logrando en ambos métodos resultados altamente favorables, en cuanto a la cantidad de acero obtenido.

Palabras claves: Acero, arenas negras, caracterización, fusión

ABSTRACT

The following study aims to compare two methods of obtaining iron, based on black sand with a large percentage of magnetite. The sands were characterized by different techniques such as X-ray fluorescence, scanning electron microscopy, petrography and volumetric analysis in order to know the percentage of iron in the sand was approximately 54.72%, dried and concentrated dry using a drum type magnetic separator. The separation process was obtained concentrated material 54.029% and 45.9% of unconcentrated material. After preliminary trials with various types of binders, was made into granules. From these tests was determined that the molasses diluted in water is the best binder using a ratio of 2:1. From there, it began the first method proposed, which was to bring the concentrated sand pellets directly to fusion in electric arc furnace, without any other additional treatment. While the second method, the pellets were hematized to 1100 ° C to facilitate pre-reduction, since the magnetite as such has no permeability and is very dense, then be taken to the direct reduction process, underwent fusion in the electric arc furnace. The material behaved better in the oven was pre-reduced material, because the charge was minor, the prerreduced pellets stayed less fusion time, in terms of chemical composition was obtained similar percentages of both carbon and iron, both methods achieved highly favorable results, as the quantity of steel obtained.

Key words: Steel, black sands, characterization, fusion

1. INTRODUCCIÓN

El hierro, es después del aluminio el elemento metálico más abundante en la naturaleza. Se encuentra en óxidos tales como wustita, magnetita y hematita, sin embargo, con el tiempo los yacimientos explotables existentes en Colombia se han hecho menos rentables incrementándose así los costos de producción, situación que coloca el mercado nacional del hierro en desventaja frente al internacional. Por esta razón, es de gran importancia buscar estrategias costo-efectivas que garanticen la continuidad en la producción nacional de acero. Una alternativa a esta problemática son las *arenas negras*, encontradas en los lechos de los ríos o en las playas, material que se convierte en la mejor elección para la extracción de acero por estar acompañado de magnetita, ilmenita y en ocasiones de minerales preciosos como el oro y platino; y a su vez por estar libre de materiales de baja densidad gracias a la acción depuradora que el flujo de corriente y energía de las olas ejerce constantemente sobre las arenas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Secado

El proceso se inicio retirando la humedad de 191,7Kg de arena negra en un horno, a una temperatura de 120°C durante tres horas para garantizar el secado total de las mismas. La temperatura fue cuidadosamente controlada para garantizar que no existiera ningún cambio dentro de la composición de la arena.

2.2 Concentración magnética [1]

Una vez la arena estuvo totalmente seca se hizo pasar por el separador magnético tipo rodillo, la concentración se realizo recirculando la arena en cuatro oportunidades. La cantidad de veces que se concentro la arena fue con el fin de reducir al mínimo la ganga presente.

2.3 Caracterización

La caracterización de estas arenas se realizo mediante cinco métodos diferentes tales como: petrografía, difracción por rayos X, microscopía electrónica de barrido, fluorescencia de rayos X y gravimetría. Se

realizo por ésta variedad de métodos debido a que la composición química de estas arenas es desconocida.

Petrografía: El ensayo se realizo en el laboratorio de petrografía, UPTC seccional Sogamoso utilizando un microscopio petrográfico marca Olympus BX51. El ensayo se realizo con una muestra aleatoria de 200g sin concentrar y otra del mismo peso después de ser concentrada. De allí se obtuvo una descripción macroscópica y microscópica con sus respectivas fotografías.

Fluorescencia [5]: Se realizo en las instalaciones del Grupo de Integridad y Evaluación de Materiales – GIEM. Con ayuda de un minipalm 2. Para este ensayo se tomaron dos muestras de 5g de una arena sin concentrar y la otra con arena concentrada.

Marcha química: Se realizo basados en el "Manual de procedimientos laboratorio químico de pre-reducidos y materiales siderúrgicos" [2], esta marcha química ayuda a determinar de una forma cuantitativa la presencia de hierro en minerales procedentes de cualquier yacimiento o mina.

Difracción de rayos X – DRX: Éste es uno de los ensayos que gracias a los resultados podemos demostrar de una forma semicuantitativa la cantidad de minerales presentes en la muestra, esto con ayuda de las espectrografías y los análisis, con los que se pueden determinar la concentración de arena después de la separación magnética; este ensayo se realizo con el equipo de difracción de rayos X de la UPTC. Se tomaron dos muestras de 2g cada una pasantes de malla 200, la primera sin concentrar y la segunda de arena concentrada.

Microscopia electrónica de barrido: Este análisis se desarrollo usando un microscopio electrónico de barrido; gracias a su alta resolución de imagen, las muestras se pueden analizar con gran claridad. Este método junto al análisis petrográfico se utilizo para determinar las especies mineralógicas presentes en la muestra, adicionalmente nos ayudo a determinar de una forma semi-cuantitativa la composición de las arenas.

2.4 Peletización [3]

Luego de realizar los ensayos de caracterización, se procedió a la etapa de aglomeración o peletización, esto se hizo para obtener un mejor comportamiento de las arenas en el momento de la pre-reducción y además favorece la formación del arco eléctrico en el horno. Debido a la poca información que se tiene respecto al manejo de estas arenas y en busca de excelentes propiedades de los pelets, tales como dureza y tamaño fue necesario escoger el tipo de aglomerante y el grado de inclinación idóneos del disco peletizador de 120 cm de diámetro y de altura de pared de 22 cm, para que junto al material a aglomerar, se obtenga un pelet con las características físicas deseadas. En total se peletizaron 120 kg, de los cuales la mitad se llevaron directamente a fusión, mientras que los restantes se hematizaron y pre-redujeron antes de la fusión.

2.5 Hematización [4]

La ecuación (1) representa la reacción dominante en el proceso:



Se peletizaron 60 kg de arena y los otros 60 kg se llevaron al proceso de fusión directa. Este proceso se llevo a cabo en una mufla en donde los pelets fueron sometidos a una temperatura de 1150°C durante 4 horas, para así asegurar la transformación magnetita-hematita.

2.6 Pre-reducción

La ecuación (2) representa la reacción dominante en el proceso:



La pre-reducción se realizó utilizando coque metalúrgico con un 80 % de C. Según cálculos para los 60 kg de material fueron necesarios 6,5 kg de coque. Estos fueron cargados proporcionalmente en capas intercaladas en un crisol de grafito el cual se llevo al horno de foso a una temperatura que oscilaba entre los 800 - 900°C durante 4 horas.

2.7 Fusión

Fusión con pre-reducido: Para esta etapa del proceso se utilizaron 5,3 kg de cal, 4,6 kg de coque y un total de 45,5 kg de pelets pre-reducidos. La fusión se llevo a cabo en un horno eléctrico de arco (HEA), el cual alcanzo una temperatura de 1550 °C.

Fusión directa con concentrado: Para la fusión por este método se utilizaron 60 kg de pelets concentrados, 7 kg de cal y 6 kg de coque. La fusión se realizo en el HAE, el cual alcanzo una temperatura de 1590 °C.

3. RESULTADOS

3.1 Secado

El contenido de humedad promedio presente en las arenas es de 2,8% equivalentes a 1,3 kg representados en la pérdida de peso.

3.2 Concentración magnética

Los resultados obtenidos en la etapa de concentración de arena, se muestran en la tabla 1 en donde se observa la cantidad de material magnético concentrado y el residuo que dejo el mismo en cada una de las pasadas por el separador magnético.

Tabla 1. Pérdida de peso por secado.

Bolsa	<i>Primer pasada</i>		<i>Segunda pasada</i>		<i>Tercer pasada</i>		<i>Cuarta pasada</i>	
	Concentrado (Kg)	Residuo (Kg)	Concentrado (Kg)	Residuo (Kg)	Concentrado (Kg)	Residuo (Kg)	Concentrado (Kg)	Residuo (Kg)
1	42.6	4.1	38	4.8	32.1	5.5	26.6	5.5
2	32.4	6.7	28	4.2	23.5	4.5	21.8	1.7
3	36.5	8.5	30.0	6.5	25.3	5.5	21.0	4.5
4	35.5	8.8	29.5	5.5	26	3.5	23.5	2.2
5	39.5	7.5	31.2	8.3	29.3	1.9	27.1	2.2

Como resultado de esta etapa del proceso y partiendo de 222,1 kg de arena en bruto se obtuvieron 120 kg de material paramagnético y 100 kg de material diamagnético o sobrante.

3.3 Resultado de la caracterización de la arena

Análisis por fluorescencia de rayos X: La figura 1 presenta los datos obtenidos en el

ensayo de fluorescencia de las arenas sin concentrar y concentradas, representa la cantidad de magnetita (Fe_3O_4) presente en la arena concentrada y la arena sin concentrar, en donde se aprecia un incremento del 6,3% de magnetita respecto a la arena sin concentrar, que aun sin estar concentrada presenta un porcentaje alto de magnetita, teniendo en cuenta que son arenas negras sin ningún tipo de tratamiento posterior a su extracción.

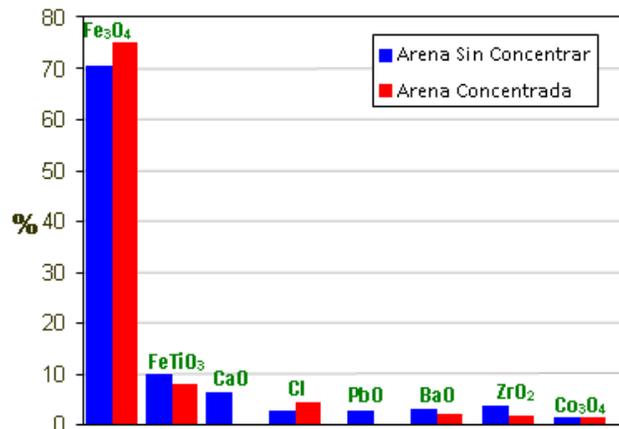


Figura 1. Columnas comparativas de arena con y sin concentrar.

Análisis de petrografía: Al igual que el ensayo de fluorescencia de rayos X este ensayo se hizo a dos muestras de arena, una

antes de ser concentrada y otra después de la concentración; datos que fueron sintetizados en la figura 2.

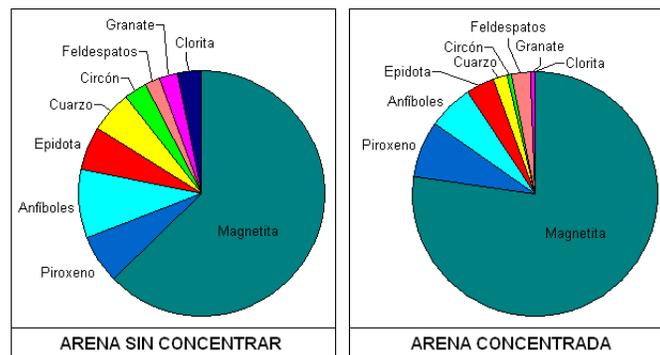


Figura 2. Gráficos comparativos de arena con y sin concentrar.

De los datos a tener en cuenta en la figura 2 es el aumento considerable en el porcentaje de magnetita, donde gracias a la concentración aumentó en un 21,6%

respecto a la arena sin concentrar, con un contenido final de hierro (Fe) de aproximadamente 54,72%, dando un resultado semi-cuantitativo similar al

obtenido en el análisis de fluorescencia de rayos X. Además se encontró que los granos que componen la arena tienen composición variada, predominando cristales de minerales opacos con propiedades magnéticas. La mayoría de minerales traslucidos corresponden a minerales pesados entre los cuales presenta clinopiroxenos tipo augita y ortopiroxenos tipo hiperstena. Los anfíboles mas frecuentes corresponden a Hornblenda. La epidota se presenta principalmente en la variedad zoisita. Los feldespatos son ortoclasa y plagioclasa. El cuarzo se presenta mayoritariamente como monomineral con leve extinción ondulante. Los circones con alto relieve y parcialmente fracturados. En observación sobre probeta pulida se aprecia

magnetita con predominio de cristales limpios, algunos con maclas cruzadas de hematita y en menor grado de ilmenita.

Resultados del análisis por microscopio electrónico de barrido (MEB): En las arenas sin concentrar el material traslucido muestra las especies mineralógicas presentes en la arena, tales como los feldespatos y cloritas. Las podemos distinguir del material metálico, porque una de las características de estos minerales es su exfoliación. En la figura 3 vemos una micrografía de una de las zonas de esta muestra, donde se observa el material metálico claramente diferenciado por su forma romboédrica, rodeado de material traslucido o silicatos.

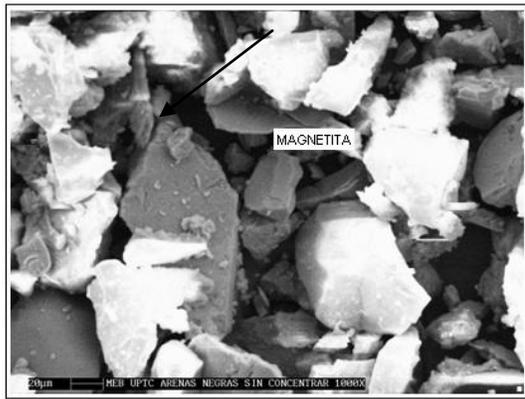


Figura 3. Micrografía de arena sin concentrar 1000X.

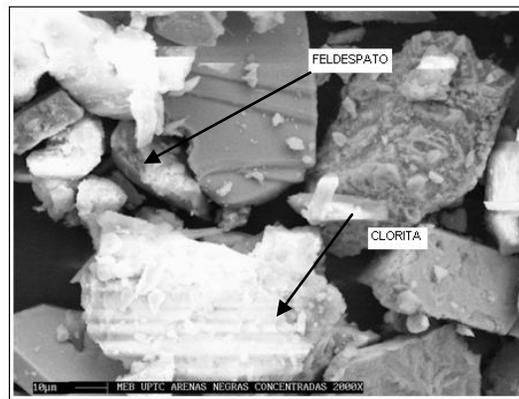


Figura 4. Micrografía de arena concentrada a 2000X.

La figura 4 muestra la diferencia que existen entre los minerales, vemos la presencia de feldespatos reconocidos por tener una superficie lisa y escalonada, a diferencia de las cloritas que presentan una superficie en forma de láminas.

Resultados del análisis por difracción de rayos X [6]: Esta espectrografía muestra las

especies mineralógicas, que se encuentran presentes dentro de la muestra de arena, dándonos un resultado semicuantitativo de ellas obteniendo de esta forma una idea de la cantidad de minerales presentes dentro de las arenas, además de dejarnos ver de una forma grafica el resultado de la concentración, basándonos en los picos del espectro.

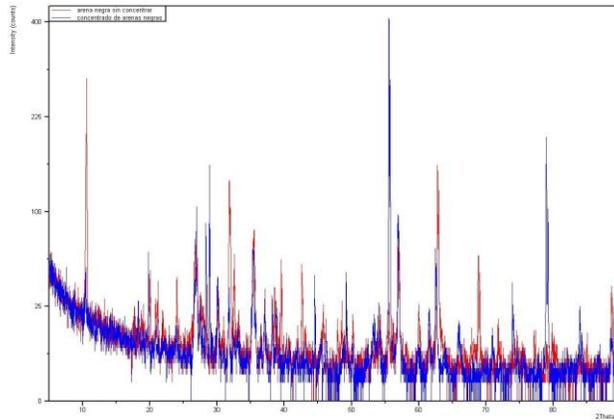


Figura 5. Espectrografía combinada de las arenas con y sin concentrar

En la figura 5 se puede ver los espectros de las arenas concentradas identificadas con el color azul y el espectro dejado por las arenas sin concentrar identificadas con el color rojo, los picos mostrados en estos espectros demuestran la cantidad de especies mineralógicas presentes en la arena, esta grafica sobrepuesta, ayuda a demostrar que la separación magnética disminuyo el

contenido de silicio, ya que es un elemento diamagnético.

Resultados del análisis gravimétrico: Éstos se realizaron siguiendo el manual de procedimientos laboratorio químico de pre-reducidos y materiales siderúrgicos, cuyos resultados son los planteados en la tabla 2, donde se muestran los resultados de antes y después de la concentración.

Tabla 2. Resultados del análisis químico.

Arena sin concentrar % de Fe ₃ O ₄	Arena concentrada % de Fe ₃ O ₄
65,10	73,65

Estos porcentajes obtenidos son muy cercanos a los obtenidos a los datos que arrojaron las pruebas de petrografía y DFRX, lo cual nos indica que el porcentaje de magnetita presente en las arenas es un dato confiable.

3.4 Pruebas con diversos tipos de aglomerantes

Para poder peletizar la arena, fue necesario hacer unos ensayos previos con varios tipos de aglomerantes, esto se hizo con el fin de

darle al pelet las propiedades mecánicas adecuadas. La tabla 3 muestra los resultados que se obtuvieron luego de estos ensayos. Luego de estas pruebas se concluyó que el mejor aglomerante y el que aporta mayor cantidad de propiedades mecánicas a los pelets, es la melaza diluida con agua, en una relación de 2:1, con una inclinación del disco de 50°, a 17 rpm, con una alimentación de 180 g/min y un flujo de agua de 26 – 30 mL/min.

Tabla 3. Pruebas de aglomerantes.

Prueba número	Agglomerante	Cantidad (g)	Cantidad de H ₂ O (ml)	Grados de inclinación	Observación
1	Cal viva 3%	1000	180	50°	Formación difícil del pelet y pequeños
2	Caliza 3%	1000	100	50°	Pelet pequeño, difícil de aglomerar
3	Bentonita 3%	1000	100	50°	Pelet grandes, poca, resistencia en verde
4	Melaza	1000	110	50°	Pelets grandes fácil aglomeración, buena resistencia en verde. Proporción de agua-melaza de 2:1

3.5 Resultados de la hematización

El peso total de la arena concentrada es de 60 kg, donde según caracterización contiene un 75% de magnetita. Teóricamente la transformación total de magnetita a hematita es de 46,5 kg. En vista de que los 60 kg cargados en la mufla contienen un 75% de magnetita y que la transformación de magnetita a hematita se dio en un 100%. Además se obtuvo un aumento de peso de 1,48 kg para un total de 61,48 kg de arena hematizada, donde 46,5 kg pertenecen a hematita.

3.6 Resultados pre-reducción

En definitiva se necesitan 6,5 kg de coque para reducir 46,551 kg de Fe₂O₃. Como resultado de la prerreducción se obtuvieron 45,5 kg de arena pre-reducida.

3.7 Resultados de la fusión en el horno eléctrico de las arenas

A continuación se muestran los resultados obtenidos después de llevar a fusión los pelets pre-reducidos y los pelets simplemente concentrados.

Fusión de arenas sin pre-reducir:

Partiendo de 45 kg de Fe₃O₄ y 20 de coque como resultado se obtuvieron tres lingotes los cuales pesaron 20Kg. Que según el

ensayo de chispa corresponde a una fundición con un 2,5 % de C y 96,6 % de Fe, el cual equivale a 14,49 kg Fe presente.

Fusión de arenas pre-reducidas: Como el material a fundir ya es hierro metálico no era necesario añadir coque para reducir más el material, sin embargo se debió adicionar sobre la marcha 4,6 kg de coque para facilitar la formación del arco eléctrico en el horno. Como resultado se obtuvieron dos lingotes los cuales pesaron 22,3 kg. Que según el ensayo de chispa corresponde a una fundición con un 2,03% de C y 96,4 % de Fe, el cual equivale a 16,3 kg de Fe presente.

3.8 Análisis comparativo

En la tabla 4 se hace una comparación entre el material producido por fusión a partir del concentrado de las arenas negras y el producido por la fusión del pre-reducido, donde se aprecia que el proceso llevado a cabo con arena pre-reducida mostró un mejor comportamiento en el horno eléctrico, además los lingotes no presentaron porosidad, la diferencia en cuanto a la cantidad de escoria se le atribuye en gran parte a la melaza presente en los pelets que no se hematizaron, en cuanto al tiempo de fusión fue mucho menor en el proceso con material pre-reducido.

Tabla 4. Tabla comparativa.

CARGA DEL HAE			RESULTADOS				
Arena	Adiciones		Metal obtenido	Composición del metal		Hierro total presente	Escoria
	Coque	CaO		% Fe	% C		
45.5Kg de arena pre-reducida	4.6Kg	5.3Kg	22.3Kg	96.4	2.03	16.38Kg	16.5Kg
60Kg de arena concentrada y peletizada	6Kg	7Kg	20Kg	96.6	2.51	14.49Kg	27.5Kg

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de los ensayos con los que se determino la composición de la arena, se demuestra que en ellas están presentes una gran cantidad de minerales tales como feldspatos y cloritas y cuarzos, además se corroboró la presencia de hierro, el cual se presenta en alta proporción en forma de magnetita (Fe_3O_4) y en cantidades mínimas en forma de ilmenita ($FeTiO_3$).

Después de realizar pruebas con diferentes tipos de aglomerantes, se determino que el mejor de ellos y el que otorga más resistencia a la compresión a los pellets, tanto en verde como en seco es la melaza.

Luego del proceso de hematización y de un posterior ensayo se determino que la totalidad de la magnetita presente fue hematizada.

La pre-reducción se llevo cabo de manera satisfactoria debido en gran parte a la permeabilidad obtenida en el proceso de hematización, a la atmosfera reductora y a la adecuada carga de agente reductor.

Haciendo una comparación de los resultados obtenidos de ambas fusiones se determino que el material que mejor se comporto en el horno fue el material pre-reducido, debido a que la carga fue menor; los pellets prerreducidos permanecieron menos tiempo en fusión, ya que el arco eléctrico se formo

con mayor facilidad debido al grado de metalización de los pellets; en cuanto a la composición química se obtuvieron porcentajes similares tanto de carbono como de hierro.

5. REFERENCIAS

- [1] Alarcón, S. H. Diseño, construcción y puesta en marcha de un concentrador magnético tipo tambor. Trabajo de Grado Ingeniero en Metalurgia. UPTC, Tunja, (2005), p. 17-18.
- [2] Grupo Materiales Siderúrgicos, UPTC. Manual de procedimientos laboratorio químico de pre-reducidos y materiales siderúrgicos. Tunja, (2001).
- [3] <http://html.monografias.com/peletizacion.html>. © Monografías S.A. Consultada el 08 de diciembre de 2009.
- [4] Díaz, B. S. Beneficio de una magnetita para producción de pellets utilizados en procesos de reducción directa. Artículo de trabajo de grado Ingeniero en Metalurgia. UPTC, Tunja, (2007), 794 p.
- [5] Sanchez, B. C. I. Evaluación de la reducibilidad de un mineral de hierro de la región de Ubalá, usando semicoque como reductor. Trabajo de grado Ingeniero en Metalurgia. UPTC, Tunja, (2003), 28 p.
- [6] Díaz, M. C. Iniciación práctica a la mineralogía. Alhambra, Madrid-España, (1976), 97 p.