

Manual técnico del agua, 1963.

GUERRA, J. y E. SEVILLA: "Introducción al análisis estadístico para procesos", tomos I y II, Ed. Pueblo y Educación, C. Habana, 1987.

LARIA, N. y otros: "Estudio del proceso de coagulación de las aguas de presa con sulfato de aluminio y zeolita natural", en *Ingeniería Hidráulica*, vol. XIII, no.1, 1992.

LARIA, N. y M. GUTIERREZ: "Propiedades adsorptivas y de intercambio iónico de la zeolita", en *Quimindustria*, 1993.

NIKOLADZE, G. et al.: *Water treatment for public and industrial supply*, Mir publishers, Moscú, 1989.

NORDEL, E.: *Tratamiento de agua para industrias y otros usos*, Ed. Continental, tomos I y II, S.A. México, 1976.

O'MELIA, C.R.: *Coagulation water treatment*, 1978.

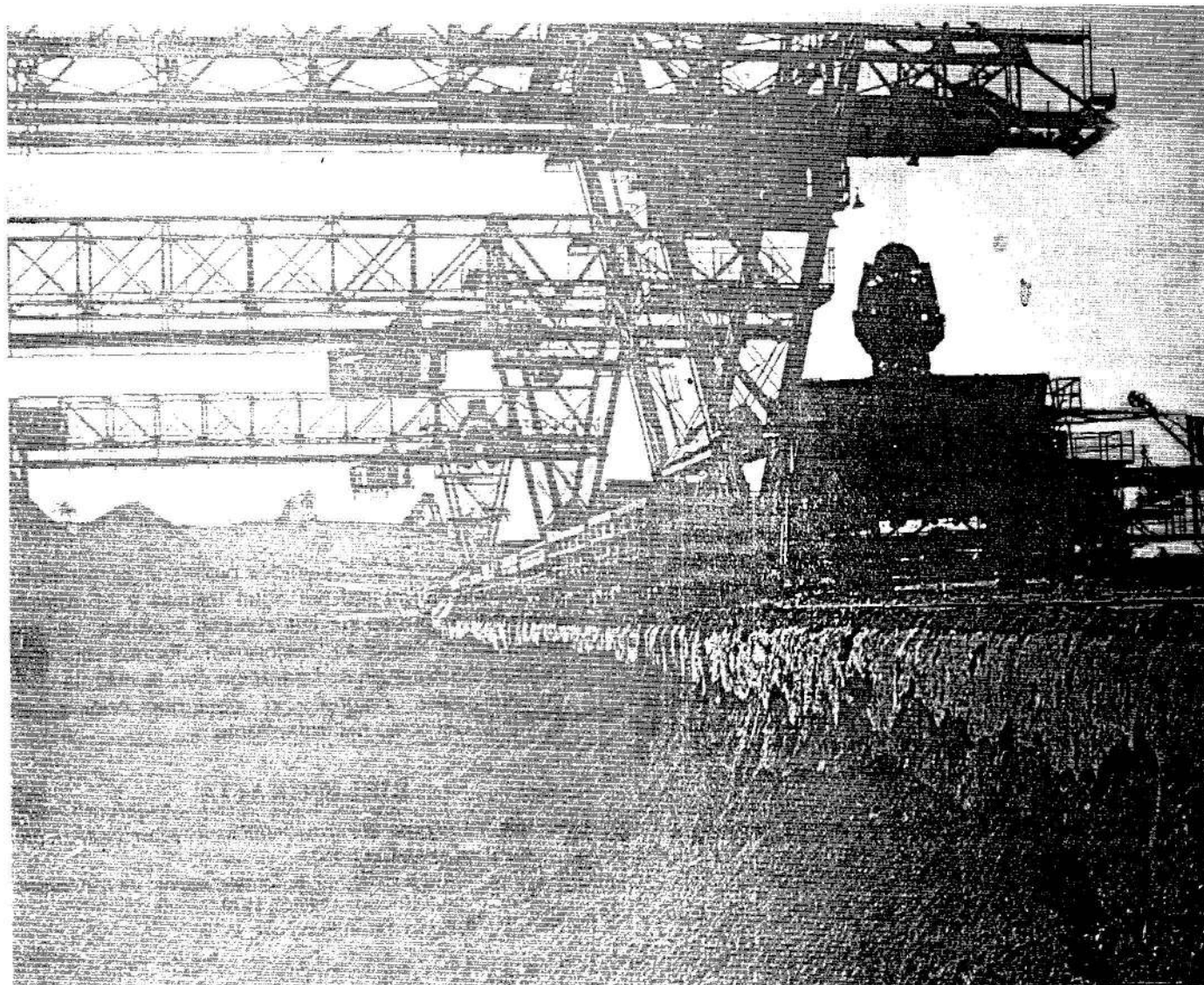
RODRIGUEZ, A.M.: *Estudio de los procesos de coagulación-floculación en las aguas superficiales con sulfato de aluminio y zeolita natural del yacimiento de San Andrés*, ISPJAE, 1991.

ROQUE MALHERBE, R.: *Física-Química de las zeolitas*, CENIC-MES, C. Habana, 1988.

TARASEVICH, V.I.: "Aplicación de los minerales sorbentes naturales para la intensificación del proceso de coagulación", en revista *Jimia*, Tecnología vody, t. II, 1989.

# CUBANIQUEL

*¡Todo lo que usted necesita saber sobre protección  
y uso racional de los recursos!*



## ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA OBTENCION DE CONCENTRADOS DE CROMITA A PARTIR DEL YACIMIENTO DE CORTEZA DE INTEMPERISMO "CASIMBAS", PINARES DE MAYARI

Ing. Alberto Hernández Flores  
Ing. María M. Toirac Suárez  
Ing. Alfredo Coello Velázquez

Instituto Superior Minero Metalúrgico. Las Coloradas, Moa, Holguín

### RESUMEN:

En los últimos años se han realizado una serie de trabajos para la obtención de cromo a partir de las colas, escombros e incluso del propio mineral laterítico crudo, lográndose resultados satisfactorios sólo para el primer caso. En el presente trabajo se realiza una valoración de las posibilidades de concentración de las cromitas por lavado y beneficio en separadores de espirales. Se analiza la influencia de los diferentes factores tecnológicos mediante el método factorial completo.

### ABSTRACT:

In the present work a valuation is done about the possibilities of concentration of chromites by washing and beneficiation in spiral spreaders. The influence of the different technological factors are analyzed through the complete factorial method.

En la corteza de intemperismo existen cuantiosas reservas de cromo exógeno. Esta particularidad de tales yacimientos ofrece grandes ventajas económicas en materia de costos de explotación e inversiones capitales con respecto a la explotación de los yacimientos endógenos, permitiendo incluso la utilización de la pequeña minería.

Esta corteza de intemperismo, de espesor aproximado de 70 m, se caracteriza por un alto contenido de hierro, cuyos minerales portadores se presentan fundamentalmente en forma de óxidos (goethita, hidrogoethita, hematitas, etc.). Están presentes también las cromitas y diferentes sales oxigenadas.

Las características propias de las cortezas de intemperismo de tipo laterítico y en particular el contenido de arcillas, las cuales en lo fundamental cementan los granos minerales de cromita, hacen imprescindible el uso del lavado para el beneficio de éstas, durante el cual no sólo se separan las arcillas, sino que también ocurre un enriquecimiento de las cromitas.

De acuerdo con las consideraciones de A. Rodríguez C. (1990) el cromo presenta su mayor concentración en los ocreos inestructurales sin perdigones, donde su contenido puede alcanzar hasta 7,6 %.

Los datos mineralógicos muestran que en el yacimiento las cromitas se concentran fundamentalmente en las fracciones (-1+0,1) mm.

Según reportes de Burt el mineral cromítico, al ser tratado por medios densos, se concentra en las fracciones de densidades mayores que 2,96 t/m.

Ensayos preliminares en separadores helicoidales demostraron que el contenido de cromo

aumenta sustancialmente en las fracciones pesadas, cuando el níquel lo hace en las fracciones ligeras.

El presente trabajo está dirigido a estudiar la posibilidad de obtención de concentrados de cromo metalúrgico a partir de la corteza de intemperismo, corroborando los resultados a través de un análisis estadístico de planificación de los experimentos que permite obtener, incluso con un bajo nivel de conocimientos teóricos acerca del mecanismo del proceso, su modelo matemático que comprende todos los factores importantes independientemente de su sentido físico, las ecuaciones de regresión que pueden no sólo interpretarse geométricamente, sino también someterse a diferentes transformaciones matemáticas y a la comparación con otras expresiones análogas, permite estimar además, la seguridad de los datos obtenidos. Todos estos aspectos no sólo aumentan la eficacia del trabajo experimental, sino que permiten estudiar las regularidades cuantitativas de los procesos de enriquecimiento de minerales.

### METODOLOGIA DEL TRABAJO

El trabajo experimental se desarrolló en dos bloques, empleando el método factorial completo que, a diferencia del análisis de varianza, estima la aportación del factor en la esperanza matemática del parámetro de optimización.

El primer bloque estuvo dedicado a la preparación del mineral (lavado y tamizado), teniendo como objetivo fundamental determinar el contenido de cromita en las clases -0,85+0,16 mm y -0,16+0 mm, utilizando una lavadora de paletas. En el segundo bloque se realizó el beneficio como tal, con el objetivo de

determinar la recuperación para estas clases; además se utilizó el separador helicoidal, obteniéndose 4 productos finales: 2 pesados y 2 ligeros.

En el método factorial completo el número de pruebas viene dado por:

$$N = k^n$$

donde:

k: niveles de cada factor;  
n: número de factores.

En la Tabla 1 aparecen los niveles básicos escogidos para la realización del experimento en ambos bloques; la selección se hizo teniendo en cuenta que los puntos de experimentación están simétricamente colocados con respecto al nivel cero, o sea, es una combinación del nivel de los factores que corresponde a la mejor condición determinada de un análisis de la información obtenida de procesos similares ya estudiados.

**TABLA 1. Elección de los niveles básicos y las variables**

Primer bloque				
No.	Factores	Nivel básico	Nivel superior	Nivel inferior
1	Por ciento de sólido	25	30	20
2	Tiempo de lavado (s)	147	161	117

Segundo bloque				
No.	Factores	Nivel básico	Nivel superior	Nivel inferior
1	Por ciento de sólido	25	30	20
2	Abertura del colector (mm)	64,1	70	58,2

Para ambos bloques el experimento se realizó según la matriz expuesta en la Tabla 2; los códigos determinan el signo de los coeficientes del modelo matemático.

**TABLA 2. Matriz del experimento**

No.	X1	X2	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>
1	+	+	+
2	-	+	-
3	+	-	-
4	-	-	+

**TABLA 3. Resultados de los ensayos del primer bloque**

No.	Tiempo (min)	Relación L/S	Y <sub>1</sub> %	Y <sub>2</sub> %	Y <sub>3</sub> %
1	2,41	3,6/1	10,88	10,84	5,21
2	1,47	3,6/1	11,05	14,20	7,57
3	2,41	2,4/1	10,96	12,32	6,47
4	1,47	2,4/1	10,76	12,64	7,44

Y1 Contenido medio de cromita en la clase +0,85 mm  
Y2 Contenido medio de cromita en la clase -0,85 + 0,16 mm  
Y3 Contenido medio de cromita en la clase -0,16 + 0 mm

**TABLA 4. Resultados experimentales para el segundo bloque del esquema analizado (clase -0,85+0,16 mm)**

No.	% Sólido	Abertura colector	β	ξ
1	30	7	19,23	47,61
2	20	7	16,9	41,69
3	30	5,82	12,47	27,89
4	20	5,82	16,1	32,09

β Contenido de cromita en la clase -0,85 + 0,16 mm  
ξ Recuperación de cromita en la clase -0,85 + 0,16 mm

**TABLA 5. Resultados experimentales para el segundo bloque del esquema analizado (clase -0,16+0 mm)**

No.	% Sólido	Abertura colector	β	ξ
1	30	7	12,13	47,62
2	20	7	11,09	30,49
3	30	5,82	15,55	35,52
4	20	5,82	17,64	34,03

β Contenido de cromita (-0,16 + 0)  
ξ Recuperación de cromita (-0,16 + 0)

El modelo fue construido en el siguiente orden:

1. Selección del tipo de ecuación (lineal en este caso).

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{12}X_{12}$$

2. Realización del experimento y valoración de los resultados.

3. Cálculo de los coeficientes de la ecuación de regresión mediante:

$$a_j = \sum \frac{Y_i X_{ij}}{N}$$

donde:

Y<sub>i</sub>: valor obtenido experimentalmente;  
X<sub>ij</sub>: signo de los coeficientes del modelo según la matriz diseñada para el experimento;  
N: número de ensayos.

Téngase en cuenta que:

- Mientras mayor sea el valor del coeficiente, mayor será la influencia del factor.  
- Si el coeficiente tiene signo positivo, entonces la relación entre el factor y el parámetro de optimización es directa.

4. Control del significado de los coeficientes del modelo (usando la prueba t student), para lo cual se calculó:

a) el error experimental;  
b) errores de los coeficientes de regresión.

$$S_{aj}^2$$

Es necesario tener en cuenta que la varianza de todos los coeficientes es igual, ya que solamente depende del experimento y del número de corridas.

c) el valor de t student y el valor tabulado se busca para f=N(n-1)=4

f: grados de libertad;

α: 0,005 (nivel de significación).

El valor de t student tabulado es: Tt (4; 0,005) = 2,13

Si Tc > Tt el coeficiente es significativo.

5. Obtención de la ecuación del modelo matemático en dependencia del significado de los coeficientes de regresión.

Función respuesta para la clase -0,85+0,16 mm

$$Y = 12,27$$

Función respuesta para la clase -0,16+0 mm

$$Y = 6,64 - 0,78 X_1$$

6. Adecuación del modelo matemático al objeto investigado (usando el criterio de Fisher) para lo que se determinó:

a) el error del modelo;

$$S_m^2 = n \sum \frac{(Y_{exp} - Y_{mod})^2}{n - k}$$

donde:

Y<sub>exp</sub>: valor experimental

Y<sub>mod</sub>: valor calculado del modelo

b) el valor de Fisher;

$$F_c = \frac{S_m^2}{S_e^2}$$

$$F_c = 241,67/157,13 = 1,54$$

c) obtención del Ft;

$$Ft(f_1, f_2) = 6,94$$

f1: grados de libertad del numerador N-k = 2;

f2: grados de libertad del denominador N(n-1) = 4;

α = 0,005: nivel de significación.

Si Fc < Ft el modelo es adecuado al objeto investigado, lo que sucede en nuestro experimento.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A juzgar por los resultados de la Tabla 3, las clases sometidas al lavado se comportan de forma diferente; si se tiene en cuenta que el contenido inicial de la primera muestra es de 10,88 %, es obvio concluir que existe un enriquecimiento de mineral cromítico para las dos primeras clases (+0,85 mm y -0,85+0,16 mm), sin embargo, los resultados para la clase -0,16+0 mm afeveran el empobrecimiento de esta clase y por lo tanto su exclusión de una posible explotación del yacimiento.

En las Tablas 4 y 5 se muestran los resultados del segundo bloque para las clases -0,85+0,16 mm y -0,16+0 mm respectivamente. Comparando ambos resultados, a simple vista se puede observar que los mejores indicadores de beneficio se logran para la clase -0,85+0,16 mm, donde los contenidos y recuperaciones son del orden de los 19,23 % y 47,61 % respectivamente. Además se debe señalar que los resultados para la clase -0,16+0 mm pueden ser mejorados si se logra optimizar el proceso, no obstante, es necesario resaltar que el grado de concentración es mejor para la miama. En nuestra opinión esto está relacionado con el grado de homogenización de la clase con respecto al

tamaño, es evidente que en la separación de estas dos clases, el tamaño de las partículas minerales tiene su mayor influencia en la que presenta un superior tamaño (siempre que se relacione con el coeficiente de Isodromía), por lo tanto, en la clase -0,16+0 mm la separación de los minerales estará en función de la densidad fundamentalmente.

La Tabla 6 muestra la elaboración final de los resultados de los ensayos.

**TABLA 6. Coeficientes de regresión y errores de los modelos matemáticos en los experimentos**

No.	Clase de tamaño	Proceso	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>12</sub>	Se	Saj
1	-0,85 + 0,16 mm	Lavado	12,27	-1,23	-0,23	-0,93	3,23	0,81
2	-0,16+0	Lavado	6,64	-0,87	-0,11	-0,17	1,06	0,26
3	-0,85 + 0,16 mm	Sep. en espir.	37,32	0,43	7,33	2,53	80,4	20,1
4	-0,16+0	Sep. en espir.	36,92	4,65	2,14	3,91	55,4	13,8
5	-0,16+0	Sep. en espir.	14,10	-0,52	-2,49	0,78	9,19	2,30
6	-0,85+ 0,16 mm	Sep. en espir.	16,17	-0,33	1,89	1,49	7,86	1,96

En el primer bloque (lavado del mineral), según la ecuación de regresión obtenida para la clase -0,85+0,16 mm no se obtuvieron coeficientes significativos, el por ciento de sólido en la pulpa preparada está en su nivel estacionario, por lo que se debe tomar el nivel básico para lograr los mejores resultados, de forma similar ocurre con este parámetro en el segundo bloque.

De la segunda ecuación de regresión podemos concluir que es necesario una disminución en el tiempo de lavado para evitar que pase mucha arcilla a esta clase y por tanto el porcentaje de cromita disminuya.

En el segundo bloque con respecto a la abertura del colector para las dos clases, es necesario un incremento a partir de su nivel básico para lograr mejores recuperaciones de cromita, situación que se repite con el contenido de cromo en la primera clase, ocurriendo lo contrario para la clase. Para la clase -0,16+0 mm ocurre lo contrario.

## CONCLUSIONES

- Es posible la obtención de concentrados de cromita de alta calidad y con elevadas recuperaciones a partir del yacimiento "CASIMBAS", en Pinares de Mayarí, mediante el lavado y el beneficio con separadores de espiral.
- Con respecto a las variables de entrada estudiadas es significativo el hecho de que haya que disminuir el tiempo de lavado, lo cual trae consigo un menor consumo energético y un incremento en la capacidad de la instalación.
- El rango de tamaño de las partículas para el que se obtienen los mejores resultados es la clase -0,85+0,16 mm.
- El yacimiento "CASIMBAS" puede contribuir a la solución parcial de materias primas necesarias para el

laminador de Las Tunas, de acuerdo con sus reservas de alrededor de 45 000 t.

### BIBLIOGRAFIA

BARSKIY, L.A. and B.Z. KOSIN: *Sistemnyy analiz v obogasheniy polieznij tckopaemij M*, Nedra, 1978.  
BURT, R.O.: "Development of the batles crossbelt concentrator for the gravity concentration of fines", Inst. Tras. Min. Proc. 2, 1975.

MITRAFANOV, L.A. y otros: *Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales*, Ed. Mir, Moscú, 1974.  
KODRIGUEZ CARDONA, A.: "Prospección y exploración de la corteza de intemperismo sobre ultramafitas en Nicaro y Pinares de Mayarí", Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1990.  
SARDUY CARDENAS, A.: "Beneficio de la corteza de intemperismo de la mina Casimbas, en Pinares de Mayarí", Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1991.

# OBTENCION DE HEMIHDRATO A PARTIR DEL LICOR WL

Lic. Ana M. Rodríguez Sosa  
Ing. Juan M. Labadié Suárez  
Ing. Julio C. Mayo Aquiles

Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", C. Habana

### RESUMEN:

Se realiza el estudio de la obtención de hemihidrato  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  a partir del sólido residual del proceso de neutralización del licor WL con pulpa de sedimentos coralinos, para definir los parámetros de secado y calcinación del concentrado de sulfato de calcio obtenido. Se determinó que el yeso obtenido tiene propiedades superiores a los yesos que actualmente se obtienen en el país, siendo el empleo de los gases de la planta reformadora de hidrógeno como medio de calentamiento, una alternativa económica.

### ABSTRACT:

It's done a study of obtaining hemihydrate  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  using the residual solid from neutralization process of waste licors with coralline sediments to define the parameters of drying and calcination of the obtained concentrate of calcium sulfate. The resulting plaster shows better properties; furthermore, the employment of the gases of hydrogen plant as a heating mean become an important economic option.

En una de las plantas niquelíferas de Moa se produce un residual líquido que recibe la denominación del licor WL. Esta corriente que fluye a razón de 1 200 m<sup>3</sup>/día transporta al mar una serie de cationes ligeros y pesados, fundamentalmente en forma de sulfatos, y grandes cantidades de ácido sulfúrico.

Por la acción extraordinariamente dañina que produce este vertimiento sobre la flora y la fauna marina, se han venido realizando intensos estudios con vistas a reducir su poder contaminante y recuperar los valores metálicos que la misma contiene. Uno de los procesos más prometedores diseñados con este fin, consiste en neutralizar en varias etapas este licor con pulpa de coral, que no es más que una suspensión de carbonato de calcio obtenida a partir de sedimentos coralinos.

Con el fin de evaluar económicamente el costo de la planta de tratamiento, independientemente del beneficio social que representa, se han realizado estudios relacionados con la recuperación de metales que precipitan en las diferentes etapas, así como la utilización en algunos procesos industriales de los sólidos obtenidos.

Entre los usos que pueden tener los mismos, se han propuesto: un agente coagulante en la potabilización del agua y el tratamiento de residuales, en el curtido de pieles, en la industria de la construcción, entre otros.

La WL es alimentada por una cascada de 4 reactores encaquetados que operan a una temperatura de 80 °C. Al alcanzarse el valor de pH deseado en el último reactor y después de haber logrado el estado estacionario, el licor tratado pasa a un sedimentador, luego el sedimentó es filtrado con ayuda de un filtro prensa. Este procedimiento es análogo para cada una de las etapas, diferenciándose éstas sólo por los valores de pH utilizados.

Los sólidos "C-I" y "I" son productos de la neutralización de la WL hasta valores de pH aproximadamente igual a 4,2, mientras que el sólido "O" es obtenido a un valor de pH de 3,5.

Las características de los sólidos "I" y "O-I" son prácticamente iguales, mientras que en estudios

realizados al sólido "O" se obtuvo un yeso de alta pureza.

A partir de esta experiencia y teniendo en cuenta que las características de los sólidos sólo difieren en que en los "I" y "O-I" está presente todo el aluminio que no precipitó en la etapa "O", de la mezcla de "O-I" y "I" es posible obtener un yeso de menor pureza que se ajuste a las normas vigentes para la utilización de este material en la construcción.

### TRABAJO EXPERIMENTAL

El sólido obtenido fue caracterizado desde el punto de vista químico a partir de las siguientes determinaciones:

- % de calcio y aluminio.
- % de agua de constitución.
- Análisis Térmico Diferencial (ATD).
- Difracción de Rayos X (RX).

Antes de comenzar las corridas experimentales el sólido se somete a un proceso de preparación, para ello se tritura y tamiza por una malla de 0,35 mm después de ser secado en la estufa a 60 °C, durante 72 horas.

Con el objetivo de conocer el mecanismo de secado del sólido, se realizaron las pruebas correspondientes en el laboratorio de Transferencia de Masa del ISPJAE, utilizando como medio de secado aire caliente, trabajándose a una temperatura de aire constante de 105 °C, flujos de aire de 21,5 kg/h y 30,25 kg/h y velocidad del aire de 90 m<sup>3</sup>/min.

Para tener elementos que permitan definir qué tipo de secado es factible utilizar, se realizaron pruebas en un secador rotatorio y en un secador solar.

Para la obtención del hemihidrato se realizaron corridas en un reactor de acero inoxidable, el cual es colocado en una manta que se encuentra regulada por un termómetro de contacto; en el proceso de calentamiento el sólido es removido por un agitador, realizándose las corridas con 2 kg de material.

Para la realización de las corridas experimentales se aplicó un plan compuesto central rotatorio, to-



## Nuestro tesoro natural puede llegar a ti

### ELABORACION DE PIEDRAS SEMIPRECIOSAS

El ISMMM aporta piedras semipreciosas tales como: cuarzo (drusas y geodas), calcedonia de diferentes tonalidades (naranja, violeta, gris, etc.), jaspes (rojos, pardos) y ópalos de diferentes colores. El objetivo de este proyecto es realizar producciones de muestra pulidas con calidad de gemas para la industria artesanal turística nacional y extranjera; lo cual constituye una fuente de ingreso segura debido a la alta demanda en el creciente mercado del turismo y la gemología.

Por ejemplo, una muestra cuadrada de amatista de calidad media tiene un valor de 1,20 USD por quilate (un quilate = 0,2g). Una geoda de ágata pulida de calidad media vale 6,0 USD el kg. pudiéndose duplicar su valor en dependencia de su calidad. Mientras que una muestra de jaspe de buena calidad vale a partir de los 15 quilates (3 g) 0,3 USD/quilate. En el caso del ópalo, una muestra de calidad media entre 1 y 2 quilates tiene un valor de 8,0 USD.

La Facultad de Geología del ISMMM cuenta con un laboratorio de preparación de muestras y equipamiento para la caracterización de las propiedades ópticas y físico-mecánicas de las piedras y personal calificado para realizar la producción cooperada de artículos a partir de éstas. El centro para la elaboración cooperada de piedras semipreciosas brinda materia prima por un plazo no menor de 5 años, con producciones anuales en un rango de 0,5 a 5 ton en dependencia de las distintas variedades.

**CORRESPONDENCIA**  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM)  
Facultad de Geología  
Las Coloradas S/N  
Moa 83330  
Holguín