

INFLUENCIA DE LA ZEOLITA TRATADA CON ACIDO SULFURICO E HIDROXIDO DE SODIO EN EL PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACION EN AGUAS SUPERFICIALES

Dra. Maritza Gutiérrez Duque
Dr. Tomás Herrera Vasconcelos
Ing. Caridad Naomi Laria Piedra

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

RESUMEN:

Se trató la zeolita natural del yacimiento Tasajera con ácido sulfúrico (residual de la regeneración de las resinas catiónicas de la termoeléctrica Otto Parellada) a diferentes tiempos y concentraciones y se comprobó la efectividad de la zeolita obtenida, con respecto a la zeolita natural, como ayudante del proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas superficiales. También se trató la zeolita natural con hidróxido de sodio a diferentes tiempos y concentraciones y se comparó su efectividad de forma similar a la anterior.

El agua es una de las sustancias químicas más importantes y uno de los constituyentes principales de la materia viva y del medio en que vivimos, por lo que desempeña un papel primordial en el desarrollo de los individuos y de su habitat.

Las corrientes naturales como ríos, arroyos, y en relativo reposo como lagos y embalses, se denominan aguas superficiales. Al escurrirse por la superficie, las corrientes naturales están sujetas a contaminación derivada del hombre y de su actividad, transformando las mismas en muchos casos, en nocivas para la salud.

Es muy raro que una ciudad grande pueda abastecerse con agua de manantial, natural y pura. En la mayoría de los casos los habitantes de la ciudad sólo disponen de aguas impuras, más o menos contaminadas por materia orgánica o minerales, por ello, casi siempre el agua debe ser tratada antes de que llegue a sus consumidores.

El tratamiento tiene como objetivo fundamental mejorar la calidad física, química y bacteriológica del agua, proveniente de diferentes fuentes naturales, con el fin de entregarla lista para el consumo humano.

Los tratamientos físico-químicos consisten en la eliminación de sólidos suspendidos presentes; uno de los que se utiliza con mayor frecuencia es el proceso de coagulación-floculación. En el mismo se utilizan sustancias floculantes como el sulfato de aluminio, sales de

ABSTRACT:

The natural zeolite from Tasajera deposit was treated with sulfuric acid at different times and concentrations and it was proved the effectivity of the obtained zeolite respect to the natural one as a helper of the coagulation-floculation process in the treatment of surface waters. Also the natural zeolite was treated with sodium hydroxide at different times and concentrations and its effectiveness was compared in similar form as the previous one.

hierro III, entre otras. Para hacer más rápido, efectivo y barato el proceso, estas sustancias se acompañan de otras que actúan fundamentalmente en la etapa de floculación.

En trabajos anteriores se ha hecho referencia a la utilización de la zeolita natural de diversos tipos y granulometría como floculante con resultados positivos tanto a escala de laboratorio como de planta, lográndose un ahorro del 30 - 40 % del coagulante sulfato de aluminio.

De acuerdo con esos resultados las características más influyentes en la calidad del tratamiento fueron la granulometría de la zeolita, la relación coagulante-floculante y la dosis empleada. Teniendo en cuenta que la acción de la zeolita en este proceso se debe fundamentalmente a sus propiedades adsorptivas, que éstas a su vez pueden mejorarse con diferentes tratamientos, entre los que se encuentran la utilización de soluciones ácidas y básicas, conociendo además que en las termoeléctricas se deshechan residuales ácidos y básicos producto de la regeneración de las resinas de intercambio, se llevó a cabo el siguiente trabajo el cual tiene como objetivos:

- obtener zeolita tratada con residuales de H_2SO_4 y de $NaOH$;
- comprobar sus propiedades floculantes en el tratamiento de aguas superficiales y compararlas con las de la zeolita natural.

MATERIALES Y METODOS

Preparación de las zeolitas tratadas

Se utilizó zeolita natural Tipo II del yacimiento Tasajera, con granulometría menor de 1 mm.

Nomenclatura

A	Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)
c	Concentración del agente químico
C	Color (UC)
D	Dosis para el tratamiento (mg/L)
IW	Índice de Willcomb
MO	Materia orgánica (mg O ₂ /L)
R	Relación coagulante-zeolita
RC	Remoción de color (%)
RMO	Remoción de materia orgánica (%)
RT	Remoción de turbiedad (%)
t	Tiempo de tratamiento de la zeolita (h)
T	Turbiedad (mg/L de SiO ₂)
ZN	Zeolita natural
ZT	Zeolita tratada

Para el análisis estadístico

Y1 : A	Y2 : pH	Y3 : T	Y4 : C
	X1 : c	X2 : t	X3 : D

TABLA 1. Composición química de la zeolita del yacimiento Tasajera

Oxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂
% en peso	66,18	12,17	0,059	3,19	2,58	1,66	0,25	0,88

De PPI presenta el 12,16 %
El contenido de zeolita total es de 62 %

Para el tratamiento de la zeolita natural se utilizaron tres concentraciones y tres tiempos de contacto. Para el H₂SO₄ las concentraciones utilizadas fueron: 0,5 ; 1,5 y 2,5 % y para el NaOH: 0,5 ; 1,5 y 2,17 % . Los tiempos de contacto fueron de 4, 14 y 24 horas.

El procedimiento fue el siguiente:

1. Se tomó 1 litro de cada solución y se le adicionó a cada uno 500 g de zeolita, se colocaron posteriormente en una zaranda, manteniendo la agitación durante el tiempo establecido.
2. Al terminar la agitación se separó la zeolita por decantación y se sometió a un proceso de lavado con agua destilada hasta eliminar completamente el ácido o la base según el caso.
3. Se secó la zeolita en una estufa a 100 °C.
4. Se tamizó la zeolita seca para tomar las partículas de diámetro inferior a 0,4 mm .

Para comprobar si el tratamiento químico había afectado la estructura de la zeolita natural se realizaron los difractogramas correspondientes.

Empleo de las zeolitas tratadas en el proceso de coagulación-floculación a escala de laboratorio

Se analizó la influencia de los siguientes factores:

- concentración de la solución utilizada;

- tiempo de contacto de la solución con la zeolita;
- relación coagulante-floculante;
- dosis.

El método empleado fue la llamada "prueba de jarras". En todos los casos fue necesario realizar primeramente una prueba de jarras, utilizando sólo el coagulante sulfato de aluminio, para determinar la dosis óptima de acuerdo con las características del agua tratada.

Para todos los casos se tomaron tres niveles de dosis: la óptima (mg/L); 4 mg/L y 8 mg/L inferior a la óptima, que en el presente trabajo se denominará como óptima -4 y -8. Se tomaron 3 niveles de relación coagulante-floculante: 1:1 ; 1:3 y 1:10.

En el caso de la relación 1:3 con solución ácida se analizaron sólo los de tiempo de contacto de 4 y 24 horas. Los parámetros que se determinaron tanto para el agua cruda como para el agua tratada fueron: pH, alcalinidad, color, turbiedad, índice del Willcomb y materia orgánica en algunos casos.

Las zeolitas tratadas se enumeraron de la forma siguiente:

Tratamiento con NaOH

Tiempo de cont. (h)	4	4	4	14	14	14	24	24	24
Conc. (%)	0,5	1,5	2,17	0,5	1,5	2,17	0,5	1,5	2,17
No. de la zeolita	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tratamiento con H₂SO₄

Tiempo de cont. (h)	4	4	4	14	14	14	24	24	24
Conc. (%)	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
No. de la zeolita	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Los mejores resultados obtenidos en las diferentes corridas con las relaciones coagulante-zeolita 1:1, 1:3 y 1:10 aparecen en las Tablas 2, 3 y 4 para medio básico y en las Tablas 5, 6 y 7 para el medio ácido.

Se realizaron difractogramas tanto a la zeolita natural como a las distintas zeolitas tratadas, con el objetivo de observar si se había modificado la estructura zeolítica.

Los resultados de los difractogramas revelaron que la zeolita tratada con ácido sulfúrico no sufrió modificaciones en su estructura, pues la intensidad y amplitud de los picos característicos, prácticamente no varían al compararlos con los de la zeolita natural, aunque existe un efecto de limpieza de los poros, ya que el ácido sulfúrico elimina la calcita durante el tratamiento.

En el tratamiento con NaOH para todos los tiempos en concentraciones de 0,5 y 1,5 %, y para tiempo de 4 horas con 2,17 % de concentración, se produce una purificación de la zeolita al observarse un aumento de la intensidad de los picos característicos del material zeolítico (clinoptilolita-mordenita). Para la concentración de 2,17 % y tiempo de 14 y 24 horas, se aprecia una disminución de los picos característicos indicando que se produjo una modificación de la zeolita, posiblemente con una pérdida de aluminio, aunque esto no pudo ser comprobado.

TABLA 2. Mejores resultados obtenidos en cada trío de dosis con R = 1:1 en tratamiento básico. La dosis óptima de sulfato de aluminio en este caso fue de 20 mg/L

	D	T	RT	C	RC	pH	A	IW	MO
Agua cruda	-	6,65	-	25	-	8,2	96	-	-
Sulf. alum.	ópt.	3,4	48	15	40	7,3	70	8	-
ZN	-8	5,46	18	15	40	8	71	6	-
ZT #1	ópt.	3,85	42	15	40	7,6	79	10	-
ZT #2	ópt.	3,86	42	20	20	7,4	73	10	-
ZT #3	-4	5,46	18	20	20	7,8	85	6	-
ZT #4	ópt.	4,39	34	15	40	7,4	74	10	-
ZT #5	-8	4,93	26	15	40	7,4	84	6	-
ZT #6	-8	5,47	18	15	40	7,8	72	6	-
ZT #7	-4	1,56	77	15	40	8,0	70	10	3,3
ZT #8	-8	1,56	77	15	40	7,9	70	8	3,3
ZT #9	-8	1,56	77	15	40	7,8	70	6	-

TABLA 3. Mejores resultados obtenidos en cada trío de dosis con R = 1:3 en tratamiento básico. La dosis óptima de sulfato de aluminio en este caso fue de 20 mg/L

	D	T	RT	C	RC	pH	A	IW	MO
Agua cruda	-	8,70	-	20	-	8,9	74	-	4,5
Sulf. alum.	ópt.	5,5	37	15	25	7,9	71	8	-
ZN	-8	4,25	50	15	25	7,6	74	8	4,0
ZT #1	-8	7,61	11	15	25	7,9	71	6	-
ZT #2	ópt.	7,62	11	15	25	7,9	70	8	-
ZT #3	-8	7,62	11	15	25	8,0	72	6	-
ZT #4	ópt.	7,62	11	15	25	7,9	72	8	-
ZT #5	-4	4,25	50	15	25	7,5	72	8	3,3
ZT #6	ópt.	3,31	61	15	25	7,9	75	6	-
ZT #7	-4	2,69	69	15	25	7,9	73	6	-
ZT #8	ópt.	2,24	74	15	25	7,9	69	6	-
ZT #9	-4	4,25	50	15	25	7,8	70	6	-

TABLA 4. Mejores resultados obtenidos en cada trío de dosis con R = 1:10 en tratamiento básico. La dosis óptima de sulfato de aluminio en este caso fue de 20 mg/L

	D	T	RT	C	RC	pH	A	IW	MO
Agua cruda	-	8,60	-	20-25	-	7,9	72	-	-
Sulf. alum.	ópt.	2,8	68	15	33	7,9	72	8	-
ZN	ópt.	2,91	66	15	33	7,6	75	4	-
ZT #1	-4	4,25	51	15	33	7,5	70	6	4,0
ZT #2	-8	5,60	35	15	33	7,6	70	6	-
ZT #3	-4	2,91	66	15	33	7,8	71	4	-
ZT #4	ópt.	1,56	82	15	33	7,6	73	8	-
ZT #5	ópt.	2,24	74	15	33	7,7	74	4	-
ZT #6	ópt.	4,25	51	15	33	7,7	75	6	-
ZT #7	ópt.	1,56	82	15	33	7,9	73	4	-
ZT #8	ópt.	2,37	72	15	33	7,8	74	4	-
ZT #9	ópt.	1,56	82	15	33	7,9	74	4	-

TABLA 5. Mejores resultados obtenidos en cada trío de dosis con R = 1:1 en tratamiento ácido.
La dosis óptima de sulfato de aluminio en este caso fue de 16 mg/L

	D	T	RT	C	RC	pH	A	IW	MO
Agua cruda	-	6,0	-	20-25	-	7,7	191	-	6,6
Sulf. alum.	ópt.	2,6	60	15-20	22,2	7,4	187	8	-
ZN	-4	1,15	80,8	15-20	22,2	7,6	180	6	-
ZT #10	ópt.	1,6	73,3	15-20	22,2	7,7	182	8	5,4
ZT #11	ópt.	1,25	79,1	20	11,1	7,8	184	8	6,0
ZT #12	ópt.	1,3	78,3	15-20	22,2	7,6	182	4	5,6
ZT #13	ópt.	1,2	80,0	15-20	22,2	7,4	186	8	-
ZT #14	-4	1,4	76,6	15-20	22,2	7,6	188	6	-
ZT #15	-4	1,1	81,6	20	11,1	7,5	184	8	-
ZT #16	-4	1,0	83,3	15-20	22,2	7,6	186	8	-
ZT #17	-4	0,75	87,5	15-20	22,2	7,6	186	6	-
ZT #18	-4	0,65	89	15-20	22,2	7,6	187	6	-

TABLA 6. Mejores resultados obtenidos en cada trío de dosis con R = 1:3 en tratamiento ácido.
La dosis óptima de sulfato de aluminio en este caso fue de 18 mg/L

	D	T	RT	C	RC	pH	A	IW	MO
Agua cruda	-	7,5	-	25	-	7,8	198	-	-
Sulf. alum.	ópt.	3,7	51	15-20	30,0	7,2	190	8	-
ZN	-4	1,2	84	25	0	7,5	190	6	-
ZT #10	-4	1,05	86	20-25	10	7,5	194	8	-
ZT #11	-4	1,05	86	20	20	7,5	188	8	-
ZT #12	-4	1,20	84	20	20	7,5	190	6	-
ZT #13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT #14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT #15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT #16	-4	0,90	88	15-20	30	7,4	192	6	-
ZT #17	-4	1,00	86,6	15-20	30	7,5	198	8	-
ZT #18	-4	1,3	82,6	15-20	30	7,5	194	8	-

TABLA 7. Mejores resultados obtenidos en cada trío de dosis con R = 1:10 en tratamiento ácido.
La dosis óptima de sulfato de aluminio en este caso fue de 14 mg/L

	D	T	RT	C	RC	pH	A	IW	MO
Agua cruda	-	7,5	-	15	-	7,8	188	-	6,56
Sulf. alum.	ópt.	2,1	68	15	0	7,4	186	8	-
ZN	-4	1,7	77,3	10-15	16,6	7,8	186	6	-
ZT #10	-4	0,2	97,3	10-15	16,6	7,6	188	6	-
ZT #11	ópt.	0,8	89,3	10-15	16,6	7,7	184	6	-
ZT #12	-8	0	100	10-15	16,6	7,8	188	6	-
ZT #13	-8	1	86,6	10-15	16,6	7,8	190	6	-
ZT #14	-4	0	100	10	33	7,8	192	6	-
ZT #15	-8	0	100	10	33,3	7,7	190	6	-
ZT #16	-8	0	100	10	33,3	7,8	188	6	-
ZT #17	-4	0	100	10	33,3	7,4	188	8	-
ZT #18	-8	0	100	10-15	16,6	7,7	188	6	-

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tratamiento básico

Cuando se utilizó la zeolita tratada durante 24 horas con las tres concentraciones de NaOH, relación 1:1 y con dosis de -4 y de -8 con respecto a la óptima se logró una mayor remoción de turbiedad que con la zeolita natural. La remoción del color fue buena y similar a la lograda con zeolita natural.

En las relaciones 1:3 y 1:10 se observan comportamientos similares entre las zeolitas tratadas y la zeolita natural, con la peculiaridad de que en algunos casos no existe correspondencia entre el 1 % de remoción de turbiedad y el índice de Willcomb, ya que se alcanzan elevados porcentos de remoción de turbiedad con pequeños valores de I.W.

Si se comparan los resultados generales obtenidos con las tres relaciones, se aprecia un mayor efecto de las zeolitas tratadas en el proceso de coagulación-floculación en la relación 1:1.

Tratamiento ácido

La remoción de turbiedad, aunque en muchas ocasiones es mayor con la zeolita tratada, sobre todo en la de tiempo de contacto de 24 horas, también es buena con la zeolita natural. Lo mismo ocurre con la remoción del color.

Se aprecia un mayor efecto en los resultados del proceso de coagulación-floculación cuando se utiliza la relación 1:10 que cuando se utiliza la relación 1:1.

Análisis estadístico

Se tomaron, para este análisis, las siguientes variables:

Independientes:

X1: concentración del reactivo químico.

X2: tiempo de contacto.

X3: dosis empleada.

Dependientes:

Y1: alcalinidad.

Y2: pH

Y3: remoción de turbiedad.

Y4: remoción de color.

Se ajustaron modelos por el programa MICROSTAT y los resultados fueron los siguientes: en cuanto al pH y la alcalinidad no se vieron afectados por ninguna variable en el tratamiento ácido y sólo los afectó el tiempo de contacto de la zeolita en el tratamiento básico.

En cuanto a la remoción del color y turbiedad las variables que influyeron en los modelos ajustados fueron la dosis, sobre todo en el tratamiento ácido, y el tiempo de contacto en el tratamiento básico.

ANÁLISIS ECONOMICO PRELIMINAR

Se siguió la siguiente metodología:

- 1- Tomar una base de cálculo de 370 L/s.

- 2- Calcular la cantidad y el costo del sulfato de aluminio correspondiente a la dosis óptima según el caso, para un año de trabajo en planta.
- 3- Calcular la cantidad y el costo de sulfato de aluminio + zeolita natural para la dosis óptima encontrada, en un año de trabajo.
- 4- Calcular la cantidad y el costo de la mezcla sulfato de aluminio + zeolita tratada tomando en cuenta el valor de la zeolita natural utilizada y el costo de la electricidad empleada en el tratamiento.

TABLA 8. Análisis económico del tratamiento de las zeolitas

Tratamiento	Alúmina (kg/a)	Alúmina (\$/a)	ZN (\$/a)	Energía (\$/a)	C. Total (\$/a)
Relación 1:1					
	210 030	22 263			22 263
ZN	93 346	9 895	1 774		11 668
Acido	93 346	9 895	1 774	3 311	14 980
	233 000	24 698			24 698
ZN	186 000	19 758	3 534		23 292
Básico	139 000	14 818	2 656	7 726	25 200

CONCLUSIONES

1. En general, el agua cruda tenía bajo contenido de turbiedad, de alcalinidad y de materia orgánica. Con respecto al color, el valor se mantuvo en la mayoría de los casos entre 20 y 25 U.C. siendo muy difícil su remoción.
2. De acuerdo con los resultados de los difractogramas, las zeolitas sufrieron un proceso de purificación, excepto en el tratamiento básico con concentración de 2,17 % y tiempos de 14 y 24 horas en las cuales si hubo modificación estructural.
3. Los mejores resultados, en cuanto a remoción de color y turbiedad en el proceso de coagulación-floculación con el tratamiento ácido se obtuvieron con tiempo de tratamiento de 14 y 24 horas y relación de 1:10. En el caso del tratamiento básico, los mejores resultados se alcanzaron para concentración de 1,5 %, tiempo de 24 horas y relación 1:1.
4. En el caso del tratamiento básico se observa que a medida que aumenta la relación coagulante-zeolita el índice de Willcomb en la prueba de jarras es muy bajo, aunque se obtiene una disminución de la turbiedad y el color.
5. De acuerdo con los resultados preliminares, teniendo en cuenta la calidad del agua tratada y el análisis económico, el uso de las zeolitas tratadas, ya sea por ácido o por base, mejora en algunos casos la calidad del agua en comparación con la mezcla coagulante-zeolita natural, no obstante origina un aumento del costo del tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

- ARBOLEDA, V.J.: *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*, CEPI, 1973.
- COX, C.R.: *Práctica y vigilancia de las operaciones de tratamiento de agua*, Ed. Científico-Técnica, 1979.
- DEGREMONT: *Water treatment handbook*, 1979.

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.

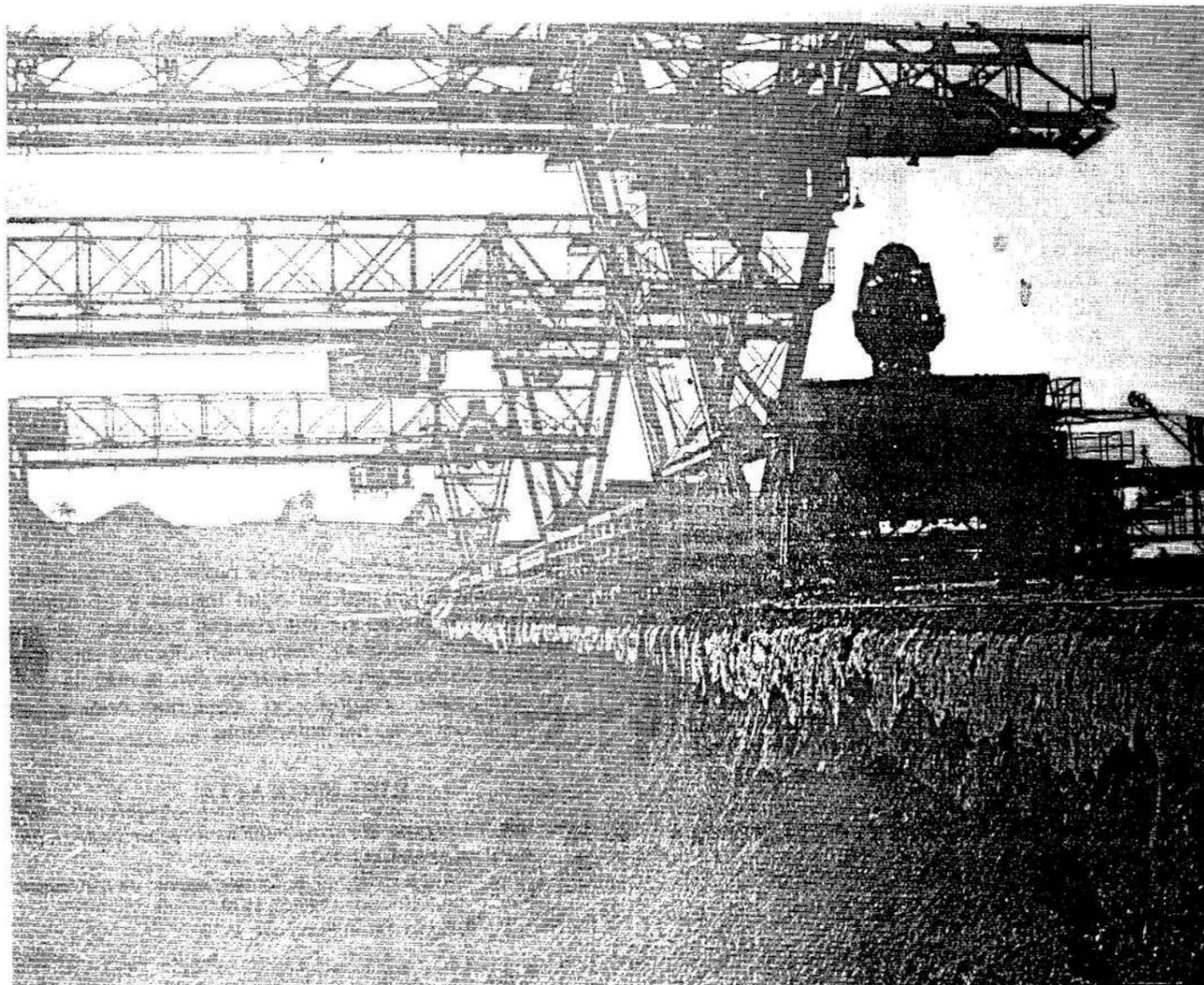
RODRIGUEZ, A.M.: *Estudio de los procesos de coagulación-floculación en las aguas superficiales con sulfato de aluminio y zeolita natural del yacimiento de San Andrés*, ISPJAE, 1991.

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