



Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia- Química

LIXIVIACIÓN ALCALINA DEL CONCENTRADO DE CROMITA OBTENIDO DE LAS COLAS DE NICARO

Tesis en opción al título de Ingeniera Metalúrgica

DIPLOMANTE: YANISSET LÓPEZ SALAS

Moa
2013



Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia - Química

Título: Lixiviación alcalina del concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro

Tesis en opción al título de Ingeniera Metalúrgica

Diplomante: YANISSET LÓPEZ SALAS

Tutores: Prof. Aux., Ing. Emilio Leyva Ramírez, Ms.C.
Prof. Asist., Ing. Evangelia García Peña, Ms. C.

**Moa
2013**

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Yaniset López Salas, autor de este trabajo y los tutores, Ms. C. Emilio Leyva Ramírez y Ms. C. Evangelia García Peña, declaramos la propiedad intelectual del mismo al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico y el Centro de Investigaciones Siderúrgicas (DSIT), para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

PENSAMIENTO

El futuro de nuestra patria tiene que ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia, tiene que ser un futuro de hombres de pensamientos, porque precisamente es lo que más estamos sembrando, lo que más estamos sembrando son oportunidades a la inteligencia.



Fidel Castro Ruz.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a:

A la Revolución cubana, por darme la oportunidad de continuar estudiando y superándome.

A los profesores del ISMM, especialmente a los del departamento de Metalurgia.

A mis tutores:

Al Centro de Investigaciones Siderúrgicas y mis compañeros de trabajo, por su apoyo brindado en la elaboración de esta tesis; especialmente al M.Sc. Emilio Leyva Ramírez, por su excelente contribución como consultante en el desarrollo de la investigación.

Y a todas esas personas, que de una u otra forma brindaron su mano para que este trabajo saliera adelante exitosamente.

A todos;

Muchas Gracias

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Nuestra hermosa revolución por darme la oportunidad de hacer un sueño realidad.

Mis padres que me mostraron el camino a seguir.

Emilio Leyva por su apoyo incondicional en todo momento.

En fin a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido al desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Este trabajo forma parte de los estudios que se realizan para encontrar un uso al concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro. Tiene como objetivo de determinar la influencia de las variables temperatura de tostación y relación líquido/sólido, sobre la recuperación del Cr_2O_3 en el proceso de lixiviación alcalina de dicho concentrado. Se diseñó un experimento a tres niveles de las variables independientes, en la tostación alcalina se trabajó con las masas estequiométricas de Na_2CO_3 y CaO necesarias para que ocurran las reacciones involucradas en el proceso y tiempo de permanencia en el horno a las temperaturas de ensayos fue de 2,00 h; la masa tostada se lixivió con agua alcalinizada al 10,00% con NaOH a 60,00 °C. Se demostró la viabilidad de extraer el Cr por esta vía. La relación entre recuperación de Cr_2O_3 y temperatura de tostación la describe un modelo matemático doble recíproco y la relación entre recuperación de Cr_2O_3 y relación líquido/sólido la refleja un modelo matemático que describe la ecuación de una línea recta, en ambos casos para un nivel de confianza del 99,00%; los coeficiente de correlación son 0,856259 y 0,511718 respectivamente indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Palabras claves: tostación alcalina, lixiviación, análisis de regresión y correlación.

ABSTRACT

This work is part of the studies carried out to find a use the chromite concentrated obtained of the Nicaro tailing. Aims to determine the influence of roasting temperature parameter and liquid / solid ratio on the recovery of Cr_2O_3 in the alkali leaching process of said concentrate. An experiment was designed to three levels of the independent parameter on roasting alkaline masses worked with Na_2CO_3 and CaO stoichiometric necessary to occur the reactions involved in the process and residence time in the furnace at temperatures of assays was 2,00 h, the roasted mass was leached with water alkalized with NaOH to 10.00% to 60.00 oC. Has been demonstrated the feasibility of extracting the Cr in this way. Recovering the relationship between roasting temperature Cr_2O_3 and represent a mathematical model and the double reciprocal relationship between recovery of Cr_2O_3 and liquid / solid ratio is described by a mathematical model which describes the equation of a straight line, in both cases to a level of 99.00% confidence, the correlation coefficient is 0.856259 and 0.511718 respectively indicating a moderately strong relationship between the parameter.

Keywords: alkaline roasting , leaching, regression and correlation analysis.

ÍNDICE

	INTRODUCCIÓN	1
	CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
1.1.	Tostación como proceso unitario	5
1.2.	Preparación de sólido	5
1.3.	Lixiviación	6
1.3.1.	Equilibrio y velocidad de la lixiviación	8
1.4.	Generalidades sobre el cromo	8
1.4.1.	Usos y aplicaciones	10
1.5.	Breve reseña de las colas de Nicaro.	11
1.5.1.	Características de la Colas	11
1.6.	Características de la cromoespinela y del concentrado	13
1.6.1.	Caracterización de la cromoespinela	13
1.6.2.	Caracterización del concentrado	14
1.7.	Posibilidades de empleo del concentrado	15
1.7.1.	Materia prima para la producción del ferrocromo de carga	16
1.7.2.	Producción de Sales de Cromo	16
1.7.3.	Usos de las sales de cromo	17
1.7.4.	Antecedentes al trabajo, en la obtención de productos químicos base cromo	17
1.8.	Diseño de los experimentos y análisis estadístico de los resultados	19
1.8.1.	Diseño de los experimentos	19
1.8.1.1.	Método factorial completo	19
1.8.1.2.	Metodología del método factorial completo	20

1.8.2.	Análisis estadístico de los resultados	21
1.8.2.1.	Determinación del modelo del experimento	21
1.9.	Conclusiones parciales	23
	CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1.	Principales materiales y equipos utilizados en la investigación	25
2.2.	Selección del esquema	27
2.2.1.	Selección de la tecnología	28
2.3.	Desarrollo de la parte experimental de la investigación	31
2.4.	Análisis de los resultados	32
2.5.	Conclusiones parciales	33
	CAPÍTULO 3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	35
3.1.	Determinación de las condiciones para la recuperación de la cromita	35
3.1.1.	Control de homogeneidad y representatividad de la información	35
3.2.	Influencia de la temperatura de tostación en la recuperación	36
3.3.	Influencia de la relación L/S en la recuperación	38
3.4.	Influencia de la conjugación de ambas variables en la recuperación	40
3.5.	Valoración económica y ecológica	42
3.5.1.	Valoración económica	42
3.5.1.1.	Cálculo económico estimado para la adquisición de los equipos principales	42
3.6.	Evaluación ecológica	43
3.6.1.	Fichas internacionales de seguridad química	44
3.6.2.	Límites para concentraciones de cromo en el ambiente natural, ambiente ocupacional y en el organismo	46
3.7.	Conclusiones parciales	48
	CONCLUSIONES	50
	RECOMENDACIONES	51

BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	57

INTRODUCCIÓN

En la parte oriental de Cuba, al este de la provincia de Holguín, se encuentran grandes reservas de minerales lateríticos, los que se explotan en tres fábricas para la recuperación del níquel y el cobalto que contienen en pequeñas proporciones, evacuando casi la misma cantidad de mineral removido de las minas – como desechos sólidos – colas. Estos residuos están constituidos fundamentalmente por mineral de hierro, cromitas y silicatos aluminosos y magnesianos, (Leyva E. 1995).

Con un estimado de 1 500 millones de toneladas de níquel, Cuba, es uno de los países con mayor reserva mundial de yacimientos lateríticos del mundo, la exportación de sulfuro de níquel es uno de los renglones económicos más importantes del país, con una producción de alrededor 75 000 toneladas anuales; pero a la vez ocasiona problemas ambientales debido a la elevada emisión de residuos contaminantes (Hernández B.M., 2012).

Para el beneficio de las colas se han realizado numerosas investigaciones. Se ha estudiado para su lixiviación diferentes soluciones como ácidos sulfúrico y sulfato de hierro (Del Toro, 2001; Martínez, 2007), la biolixiviación y la lixiviación química con los ácidos orgánicos producidos por microorganismos en sus procesos metabólicos (Ariza, 2004a; 2004b; Ramírez, 2002, Garbey, 2005; Ferreiro, 2001; 2005).

En el Centro de Investigaciones Siderúrgicas – CIS – se han investigado para la extracción del hierro, en el caso particular de las colas de la fábrica de Nicaro, Figueredo, O. 1996, obtiene un concentrado de hierro por separación magnética humada a baja intensidad del campo magnético, no obstante la planta de concentración magnética vierte como rechazo cerca del 50,00 % de la materia prima a ella alimentada, en la década de los 90 del pasado siglo Carthy G. 1990a; 1990b et. al. y Leyva E. et. al. 1995, 1997 y 1999 investigan una tecnología para obtener un concentrado de cromita y con ello atenuar la cantidad de residuos derramados y almacenados en la ensenada de Arroyo Blanco, que

sumado a las colas amontonadas hasta el 31 de diciembre de 1957 en la bahía de Levisa, da un acumulado, estimado en alrededor de 80 millones de toneladas, conteniendo no menos de 4 millones de toneladas de cromita.

Como parte del desarrollo investigativo relacionado con el aprovechamiento de esos residuos, Leyva E. et al. en 1995 corroboran que los cristales de cromoespinela contenida en las colas de Nicaro, corresponden a una cromopicotita. Leyva E. et al. en 1999 definen al producto obtenido, por la tecnología para recuperar la cromoespinela, como concentrado de cromita de grado químico, el mismo se ha investigado como materia prima para la producción de ferrocromo de carga, Leyva E. et al. 1997, y como material en pintura refractaria en fundiciones, de La Fuente M. 2000. Para aprovechar la facultad de ser una materia prima de grado químico, Leyva E. et al. 1999 - 2000, expresan que puede encontrar uso en la elaboración de productos químicos base cromo.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto y buscando una aplicación al concentrado de cromita, en el CIS se realizó en el año 2002 un estudio tentativo con el propósito de demostrar la viabilidad tecnológica de un proceso que permita utilizarlo como materia prima en la producción de reactivos químico base cromo, se determinó que un posible procedimiento pudiera ser el de lixiviación alcalina, no obstante persiste la siguiente **situación problémica**: limitado conocimiento de cómo se comportaría dicho concentrado en las principales operaciones unitarias (tostación y lixiviación) que caracterizan el procedimiento seleccionado, así como la interrelación entre los principales parámetros que caracterizan dicho proceso y su incidencia en la recuperación de Cr_2O_3 .

Para contribuir a la solución de la situación problémica manifiesta se asume el siguiente **problema científico** a resolver: ¿cómo influyen las variables temperatura de tostación y relación líquido/sólido, sobre la recuperación del Cr_2O_3 por el proceso de lixiviación alcalina del concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro?

Como **objeto de estudio** de la investigación se plantea: las operaciones unitarias de tostación y lixiviación en el proceso alcalino para la recuperación de cromo.

El **campo de acción** de la investigación son: la temperatura en la operación unitaria de tostación y relación líquido/sólido en la lixiviación en el proceso alcalino para la recuperación del cromo contenido en el concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro.

Para la realización del trabajo se plantea la siguiente **hipótesis**: si se logra establecer la interrelación entre las variables independientes temperatura en la operación de tostación alcalina y relación L/S en la operación de lixiviación, se podrá encontrar la influencia de ambas en la recuperación del Cr_2O_3 por el proceso de lixiviación alcalina del concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro.

Para lo que se trazaron los siguientes **objetivos**:

Objetivo general: Determinar la influencia de las variables temperatura de tostación y relación líquido/sólido, sobre la recuperación del Cr_2O_3 en el proceso de lixiviación alcalina del concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro.

Objetivos específicos:

- Encontrar la ecuación de dependencia de las variables que intervienen en la tostación del concentrado de cromita.
- Establecer la influencia de cada variable en las extracciones de óxido de cromo.
- Evaluar tendencia para el logro de los máximos valores de extracción de óxido de cromo.

Tareas de investigación:

1. Indagar sobre el estado del arte y sistematización de los conocimientos relacionados con el objeto de estudio.
2. Establecer los parámetros de trabajo.
3. Determinación del comportamiento de la temperatura en la operación de tostación alcalina y su incidencia en la recuperación de Cr_2O_3 .
4. Determinación del comportamiento de la relación L/S en la operación de lixiviación acuosa y su incidencia en la recuperación de Cr_2O_3 .
5. Evaluación de la interrelación entre las variables independientes temperatura en la operación de tostación alcalina y relación L/S en la operación de lixiviación.

Métodos de investigación:

Se utilizaron métodos teóricos y empíricos. Los métodos teóricos utilizados fueron el histórico-lógico, hipotético-deductivo, inducción y deducción, análisis y síntesis. Los métodos empíricos empleados en la investigación incluyen la observación, experimentación, y las técnicas estadísticas.

El alcance del trabajo es mostrar la modelación matemática de la interrelación entre las variables independientes temperatura en la operación de tostación alcalina y la relación L/S en la operación de lixiviación del proceso de lixiviación alcalina del concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro.

Resultados del trabajo

Se obtiene la ecuación de regresión que permite predecir matemáticamente la recuperación de Cr_2O_3 .

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Tostación como proceso unitario

Tostación: Es la acción y efecto de tostar. Desde el punto de vista químico y metalúrgico es la operación que consiste en calentar un mineral u otra sustancia en presencia del aire para provocar su oxidación por el mismo.

La tostación de las piritas y de las blendas permite eliminar el azufre a estado de gas sulfuroso y obtener respectivamente el hierro y el cinc al estado de óxido; la tostación de los sulfuros permite obtener sulfatos.

Desde el punto de vista químico, en la tostación pueden ocurrir reacciones tales como la oxidación, la reducción o magnetización (reducción controlada). Desde el punto de vista del proceso, la tostación puede ser autógena, por insuflado, instantánea o volatilizante, mientras que desde el punto de vista operativo puede llevarse a cabo por suspensión o fluidización. La tostación involucra cambios químicos diferentes a los de la descomposición térmica (generalmente incluido bajo el nombre de calcinación).

Existen diferentes tipos de tostación metalúrgica dentro de los que se pueden encontrar algunas como:

- 1- Tostación oxidante para quemar el azufre de los sulfuros y reemplazarlos total o parcialmente con oxígeno en la red cristalina.
- 2- Tostación magnetizante efectúa la reducción controlada de hematita a magnetita, permitiendo así la concentración de la Mena mediante separación magnética.
- 3- Tostación sulfatante para convertir sulfuros u óxidos metálicos en sulfatos, generalmente antes de la lixiviación.
- 4- Otros de los diversos tipos de tostación que existen es la tostación en presencia de carbonato de sodio para extraer de sus menas elementos refractarios, tales como el cromo, mediante la formación de compuestos solubles lixiviables como el cromato de sodio.

1.2 Preparación de sólido

El éxito de la lixiviación y la técnica a utilizar dependerá frecuentemente de los

tratamientos previos a que se halla sometido el sólido.

En algunos casos, las partículas pequeñas del material soluble se hallan completamente rodeadas de una matriz de materia insoluble. Entonces el solvente se debe difundir hacia la masa, y la solución resultante se debe difundir hacia afuera antes de que pueda producirse la separación. Esta es la situación en el caso de muchas materias metalúrgicas. La trituración y molienda de tales sólidos acelerará en gran medida la acción lixivante, ya que las partes solubles se hacen más accesibles al solvente. Por ejemplo, puede lixiviarse eficazmente cierta escoria de cobre, con soluciones de ácido sulfúrico, en 4,00 a 8,00 horas si el producto de la molienda pasa a través de un tamiz de 0,246 mm (60 mallas), en 5 días si se la trituran en gránulos de 12,7 mm, en no menos de 4,00 a 6,00 años si se utilizan terrones de 152,4 mm, como la molienda es costosa, la calidad de la escoria tendrá mucho que ver con la elección del tamaño a lixiviar. Por otro lado, en el caso de ciertas escorias de oro, se dispersan las diminutas partículas metálicas en toda la extensión de una matriz de cuarcita, tan impermeable al solvente lixivante, que es esencial la molienda de la roca hasta que pase por un tamiz de 0,150 mm para que tenga lugar la lixiviación. Cuando se distribuye la sustancia soluble con cierta uniformidad a través del sólido o aun en una solución sólida, la acción lixivante puede suministrar canales para el pasaje de nuevo solvente, de manera que no sea necesaria la molienda. Treybal E.R. 2002.

La trituración conlleva a aumentar la superficie de contacto entre las fases y permite también reducir el recorrido de la sustancia que se difunde en dirección desde el fondo de los poros hacia la superficie del material sólido. Pero, prácticamente, el grado de trituración está limitado porque su incremento va acompañado con el aumento del consumo de energía para la trituración y es conveniente, desde el punto de vista económico, solo hasta cierto punto. El grado de trituración se limita también por la necesidad de realizar después de la lixiviación, el filtrado. Kasatkin. A.G. 1985.

1.3 Lixiviación

Dentro de los procesos hidrometalúrgicos se consideran dos áreas generales: la lixiviación de menas y la lixiviación de concentrados. En algunos casos estas menas o concentrados pueden ser sometidos a algún pretratamiento tal como tostación o reducción, para mejorar la extracción como es nuestro caso. Por definición, una mena es

un depósito mineral presente en la naturaleza y que puede ser tratado económicamente. Las menas comprendidas en esta definición pueden subdividirse en materiales de baja ley y menas de moderadas o alta ley. Generalmente es necesaria la agitación de las pulpas para maximizar la cinética y por razones económicas se desean tiempos cortos de reacción.

La lixiviación es la solución preferencial de uno o más componentes de una mezcla sólida por medio del contacto con un solvente líquido; también puede definirse como un proceso de suprimir, mediante la aplicación de un disolvente, aquellos componentes del mineral que más fácilmente sea soluble en el solvente empleado. Esta operación unitaria, es una de la más antigua de la industria química y tiene gran utilidad dentro de la misma; la misma tiene aplicaciones siempre que se traten sólidos impuros, entre estas se destacan las siguientes: fabricación en los artículos alcaloides, cafeína, grasas y aceites grasos, entre otros. Las industrias metalúrgicas son quizá la que más utilizan la operación de lixiviación. La mayoría de los minerales útiles se encuentran en mezclas con grandes proporciones de componentes indeseables, siendo la lixiviación de la materia valiosa un método de separación que se aplica con frecuencia. Por ejemplo, en nuestro caso particular, los minerales de cromo y aluminio son considerados como los componentes solubles, y una solución acuosa que constituye el disolvente.

El mineral se mueve en la lixiviación en una dirección contraria al licor y es empobrecido progresivamente en su contenido de cromo y aluminio soluble mediante contacto con soluciones, progresivamente débiles en relación con el cromo. Treybal E.R. 2002.

La función de esta es extraer el cromo y el aluminio presente en el material tostado en formas de compuestos solubles y obtener licor producto concentrado y una cola con el menor contenido de Cr y Al posible. La lixiviación y lavado se lleva a cabo con agua y con este proceso se separan extracciones de un 90% de cromo y 50%-60% de Al_2O_3 , obteniéndose un mineral lavado con 0.15% de Cr, 2% a 3% de Al_2O_3 y 56% de Fe. T. Roy. 1967.

El lixiviado juega un papel importante en el procesamiento metalúrgico del cromo, aluminio, cobalto, magnesio, níquel y cinc. Muchos productos orgánicos que se producen naturalmente se separan de su estructura original por medio de la lixiviación. Además, frecuentemente se lavan los precipitados químicos de sus licores madre adheridos, con

técnica y equipos bastante semejante a los utilizados en las verdaderas operaciones de lixiviado. Generalmente es preferible lixiviar a la más alta temperatura posible. Las temperaturas más elevadas dan lugar a una mayor solubilidad del soluto en el solvente y, en consecuencia, es posible lograr concentraciones finales más alta en el licor lixiviado. Es menor la viscosidad del líquido y mayores las difusividades a temperaturas más altas, lo que conduce a incrementar los regímenes de lixiviación. Treybal E.R. 2002.

1.3.1 Equilibrio y velocidad de la lixiviación

El equilibrio durante la extracción en el sistema sólido- líquido, comienza cuando el potencial químico de la sustancia disuelta es igual al valor de su potencial químico en el material sólido inicial. La concentración máxima que se alcanza, en este caso, en la solución corresponde a su saturación y se denomina solubilidad.

La fuerza propulsora de las operaciones para extraer líquidos de materiales sólidos es la diferencia entre la concentración de las sustancias a disolver en la superficie del cuerpo sólido (concentración límite) y su concentración media en la masa fundamental de la solución.

Por otra parte podemos decir que un factor acelerante para la disolución y la lixiviación es la temperatura, ya que al elevarla, aumenta la magnitud siendo iguales todas las demás condiciones, se incrementa la fuerza motriz. Además, al elevar la temperatura, crece el valor del coeficiente de difusividad debido a la disminución de la viscosidad de la fase líquida lo que contribuye también a acelerar la viscosidad de la operación.

En caso que se realice la lixiviación a presión atmosférica, la temperatura de la operación deberá ser menor que la de ebullición del líquido acercándose a ella como hacia el límite.

El grado de trituración de la sustancia sólida ejerce considerable influencia sobre la velocidad de la lixiviación. Kirk-Othmer., 1994.

1.4 Generalidades sobre el cromo

El cromo fue por primera vez identificado y aislado como un elemento metálico en 1789 por Vauquelin al trabajar con el mineral llamado crocoita ($PbCrO_4$), también conocido como plomo rojo siberiano (Kirk-Othmer, 1994). Poco después se desarrolló el proceso para manufacturar cromatos por calcinación de cromita ($FeO.Cr_2O_3$) con sosa cáustica y

cal. El cromo fue electrolizado de una solución de cloruro de cromo por Bunsen en 1854. En 1893 Moissan produjo ferrocromo en un horno eléctrico al reaccionar el óxido de cromo (Cr_2O_3) con carbón. En 1898 Goldschmidt produjo cromo por reducción aluminotérmica de Cr_2O_3 . Maubert F. R.; Fernández V. G. 2001.

El nombre de cromo proviene de la raíz griega CHROMA que significa color, y es debido a la amplia variedad de brillantes colores mostrados por los compuestos de este metal.

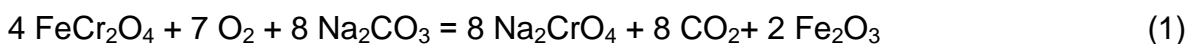
Solo existe un mineral comercial del cromo, llamado cromita, que se encuentra en forma de cristales negros metálicos frágiles o gránulos, de composición ideal $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$, pero como la relación de cromo (Cr) a hierro (Fe) varía considerablemente, este mineral se representa como: $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O}\cdot(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_3$. La cromita contiene 68% de óxido crómico (Cr_2O_3) y 32% en peso de óxido ferroso (FeO).

Existen 3 tipos principales de cromita clasificados según la composición en peso de cromita y su uso principal como se observa en la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de minerales de cromita

CLASE	COMP. DE ÓXIDO DE CROMO (% PESO)	RELACIÓN Cr : Fe	USO PRINCIPAL
Alta concentración de Cr	46 - 55	> 2:1	Metalúrgico
Alta concentración de Fe	40 - 46	1.5 - 2:1	Químico, Metalúrgico
Alta concentración de Al	33 - 38	2-2.5:1	Refractario

En la industria química (<http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos/>, 2013) el mineral de cromita se calienta con una mezcla de carbonato de calcio y carbonato de sodio en la presencia de aire. El cromo se oxida a la forma hexavalente, mientras que el hierro forma de óxido de hierro, Fe_2O_3 .



La lixiviación posterior a temperaturas más altas disuelve los cromatos y sale del óxido de hierro insoluble. Normalmente, la solución de cromato se procesa aún más para hacer que el metal de cromo, pero una sal de cromato puede ser obtenido directamente a partir del licor.

1.4.1 Usos y aplicaciones

De acuerdo a su abundancia relativa en la corteza terrestre ocupa el lugar número 21 entre todos los elementos, aunque en términos de recubrimientos protectores especiales el cromo ocupa el cuarto lugar, solamente detrás del cobre, plomo y zinc en consumo.

En 2002 se extrajeron 14,6 millones de toneladas de cromita. Los mayores productores son India, Sudáfrica, Kazajstán Zimbabwe, Finlandia Irán y Brasil con otros países productores de descanso inferior a 10% de la producción mundial.

Afganistán cuenta con importantes yacimientos de mineral de cromo de alta calidad, que se extrae ilegalmente en la provincia de Khost y luego pasó de contrabando fuera del país.

En Pakistán, cromita se extrae de las rocas ultramáficas en todo el área de Khanzai Pishine Distrito de Baluchistán. La mayor parte de la cromita es de grado metalúrgico con Cr_2O_3 promedio 54% y un cromo de hierro relación de 2,6:1.

Recientemente, el mayor consumidor de mineral de cromo ha sido China, que importa grandes cantidades de Sudáfrica, Pakistán y otros países. El concentrado se utiliza para hacer ferrocromo, que es a su vez se utiliza para fabricar acero inoxidable y algunas otras aleaciones.

En abril de 2010 el Gobierno de Ontario anunció que se abre todo un depósito de cromita al desarrollo en el norte de Ontario conocida como el Anillo de Fuego.

Australia tiene una sola mina de cromita de trabajo en la región de Pilbara en Australia Occidental, cerca de la comunidad indígena de Jigalong. La mina produce cromita de alta de grado, 300 mil t/año.

El porcentaje de distribución de usos para compuestos con el cromo según Kirk-Othmer, 1994 se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Usos de los compuestos del cromo

ACABADO METÁLICO Y CONTROL DE CORROSIÓN	37%
Pigmentos y productos afines	26%
Curtido de pieles y textiles	20%
Preservación de la madera	5%
Otros usos	12%

1.5 Breve
reseña

de las colas de Nicaro

Las colas de Nicaro son los residuos sólidos del proceso productivo de la empresa Comandante “René Ramos Latour”, se han acumulado en depósitos llamados “presas de cola” por más de 60 años; en las ensenadas de Levisa y Arroyo Blanco, en las cercanías del Centro de Investigaciones Siderúrgicas, en Las Pasas, Nicaro, según, Bustamante, 2007, estima que asciende a más de 80 millones de toneladas depositadas.

1.5.1 Características de la Colas

Las colas son desechos de un proceso donde se realiza la reducción del mineral producto de la lixiviación, usando una solución carbonato amoniacal para la extracción del níquel y cobalto. Durante la reducción se transforman los óxidos secundarios de hierro a los óxidos primarios y a hierro metálico, ocurriendo en la lixiviación transformaciones químicas (Chang, 2000; Rojas, 2007) que condicionan la estructura compleja de las colas; debe decirse que la composición mineralógica de las colas es particularmente dependiente del mineral alimentado, y las fases principales corresponden al 80 % de compuestos de hierro en combinaciones derivadas de la tostación reductora, combinaciones ferrosas con el resto de los metales presentes y el resto silicatos de hierro y magnesio (Rojas y Turro, 2003).

Las colas de Nicaro están constituidas fundamentalmente por Fe, Si, Al, Mg, Cr, en menor cantidad existe Ni y pequeñas cantidades de Bi, Co, Cd, Ti, Mo y P, Fernández A. J. 1979 y Ponce N. 1983, encontraron otros elementos; K en el orden de las centésimas y Na, S, y C en el orden de las décimas. Su composición varía en dependencia del mineral alimentado a la planta de extracción de níquel y de su eficiencia, en la tabla 3 se muestra el rango de variación de algunos óxidos dentro de las colas de Nicaro, en la misma se observa que son mayoritarios el Fe_2O_3 y el SiO_2 constituyen más del 50,00% de la misma.

Tabla 3 Rango de variación de los óxidos mayoritarios en las colas de Nicaro

Elemento	Contenido (%)
Fe ₂ O ₃	37,65 – 45,10
SiO ₂	15,40 – 20,54
Cr ₂ O ₃	2,35 – 4,00
MgO	9,54 – 13,80
Al ₂ O ₃	3,25 – 5,30
SiO ₂	15,40 – 20,54

Estudio efectuado por la NIPPON STEEL CORPORATION en 1977 determinaron por difracción de rayos X (DRX) que en las colas de Nicaro se encuentran los minerales mostrados en la tabla 4.

Tabla 4 Composición mineralógica de una muestra de colas de Nicaro

FASE MINERAL	FÓRMULA
Magnetita	FeO. Fe ₂ O ₃
Hematita	Fe ₂ O ₃
Cromita	FeO (Cr:Al) ₂ .O ₃
Forsterita	2(Mg _{0,96} Fe _{0,004})O.SiO ₂
Andalucita	Al ₂ SiO ₅
Maghemita	γ -Fe ₂ O ₃

La presencia de los elementos mencionados y el impacto ambiental ocasionado por la deposición de las enormes cantidades de colas, por casi 7 décadas, en áreas cercanas a la industria ha originado la contaminación de la bahía de Levisa y Arroyo Blanco, de los suelos, las aguas subterráneas, la atmósfera, creando un daño irreversible al ecosistema de la zona.

Las colas almacenadas en el dique, contienen no menos de 4 millones de toneladas de cromopicotita, la que desde 1991 se extrae en el CIS por medio de beneficio

gravitacional, obteniendo un concentrado de cromita de grado químico, el cual se ha investigado como materia prima en la producción de ferrocromo y como material base en pinturas refractarias para fundición obteniendo buenos resultados en ambos casos.

1.6 Características de la cromoespinela y del concentrado

Seguidamente se muestran las principales características del concentrado de cromita y de la cromoespinela.

1.6.1 Caracterización de la cromoespinela

En varias investigaciones la cromoespinela ha sido identificada como una cromopicotita que se encuentra distribuida en la fracción -150 + 30 mm de las colas de Nicaro.

E. Leyva et. al. 1995, realizaron el análisis de 6 gramos de cromita en la microsonda electrónica y determinaron que esta además de cromo, contiene aluminio, hierro y magnesio, para corroborar lo anteriormente planteado se muestra la Figura 1.

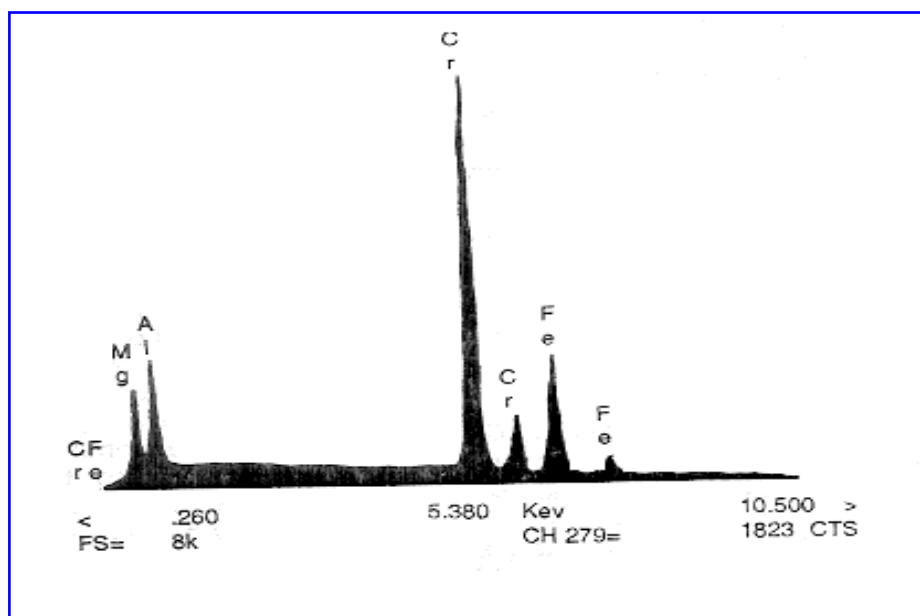


Figura 1 Análisis cualitativo en la ME a un grano de cromoespinela contenida en el concentrado de Cr_2O_3

Además en la tabla 5 se muestra el resultado del análisis cuantitativo a 6 gramos de cromita individuales, tomadas al azar y el valor medio de estas mediciones.

Tabla 5 Resultados del análisis puntual en microsonda electrónica a seis gramos de la cromoespinela contenida en las colas de Nicaro

Elementos, % en peso					Relación
Gramos	Fe	Cr	Al	Mg	Cr / Fe
1	14,46	30,48	12,77	7,77	2,11
2	15,47	33,72	10,56	6,80	2,18
3	15,87	31,71	11,84	7,80	2,00
4	16,20	34,91	8,80	6,42	2,15
5	16,95	35,70	8,36	6,29	2,11
6	17,25	39,48	8,52	5,83	2,29
Valor medio	16,03	34,33	9,61	6,81	2,14

Estudios realizados en el CEDEN en 1994 y dirigidos por Herrera V. se determinó que para esta cromoespinela existe una relación Fe^{3+}/Fe^{2+} de 0,11, lo que para $Fe_T = 16,03\%$ da $Fe_2O_3 = 2,07\%$ y $FeO = 17,69\%$.

La tabla del anexo 1 fue tomada de "Industrial Minerals and Rocks", la misma ofrece una lista de algunas cromitas puras, un análisis cuantitativo de las mismas y de los correspondientes minerales o concentrados, mostrando el efecto diluyente de la ganga del mineral. El SiO_2 y CaO son contenidos exclusivamente por la ganga y el Cr_2O_3 por la cromita, el MgO , Al_2O_3 y FeO están distribuidos en ambos minerales. Además la misma muestra la composición de la cromoespinela contenida en las colas de la fábrica de Nicaro y del concentrado obtenido en el CIS.

1.6.2 Características del concentrado

El concentrado obtenido en el CIS solo es superior en calidad al mineral de Philippine Masinloc que es caracterizado por su alto contenido de alúmina, lo que ha determinado que se emplee como material refractario. Su composición química se representa en el anexo 1 y la composición granulométrica en la tabla No. 6.

En la tabla 6 se aprecia la fina granulometría del concentrado, el 43,11% es inferior a

0,074 mm. Otros análisis mostraron que el mismo posee densidad volumétrica de 2,04 g/cm³, densidad de reposo 2,27 g/cm³ y densidad específica de 4,35 g/cm³. En el análisis térmico diferencial hasta 1200°C no mostró variación y en el ensayo de reblandecimiento y fusión en atmósfera inerte hasta temperatura de 1600°C no sufrió transformaciones.

Tabla 6 Composición granulométrica de una muestra de concentrado de cromita

Clases, mm	Salida (%)	Retenido (%)	Cernido (%)
-0,210+0,150	21,24	21,240	100,000
-0,150+0,074	35,65	56,890	78,760
-0,074+0,000	43,11	100,000	43,110
Total	100,00		

La composición química de la cromoespinela y del concentrado se ajustan a la composición química de la cromita y el concentrado del Transval Steelport Mineral de grado químico que se utiliza en la producción de ferrocromo de carga.

1.7 Posibilidades de empleo del concentrado

Los minerales de cromo tienen tres usos principales: metalúrgicos, refractarios y químicos, con un cuarto uso menor como arena de moldeo en fundición.

Según Mikami M.H. 1983, las cromitas de grado metalúrgico poseen contenidos de Cr₂O₃ de 45 a 56 %, con una relación Cr/Fe_T de 2,50 a 4,30. Las minas de químico poseen un contenido medio de Cr₂O₃ mayor o igual a 44,00%, Cr/Fe_T cerca de 1,50 y SiO₂ por debajo de 3,50%. Se denominan minerales de cromo de grado refractario a aquellos que contienen de un 30,00 a un 40,00% de Cr₂O₃, relativamente alta alúmina, o sea, de 25,00 a 32,00%, relación Cr/Fe_T de 2,00 a 2,50 con un contenido bajo de hierro total, como FeO menor que 15,00%.

Este concentrado, por ser materia prima de grado químico y fina granulometría puede ser utilizado en la obtención de productos químicos, como el dicromato de sodio, renglón que ayudaría a suplir importaciones y dotaría a nuestro país de una posible gama de

productos potencialmente exportables y un alto valor de cotización en el mercado internacional.

La cromita metalúrgica se puede emplear para la obtención de ferrocromo de carga; con el concentrado de finos de cromita se producen briquetas de características físico-mecánicas adecuadas, de las mismas se obtiene un ferrocromo que está dentro del estándar para este tipo de aleación. Al unir ambas cromitas, o sea, la metalúrgica y las briquetas se puede obtener un ferrocromo de carga dentro del estándar para este tipo de aleación. Leyva E. 1997, 2000.

1.7.1 Materia prima para la producción del ferrocromo de carga

Como se puede ver de la tabla del anexo 1 el concentrado de cromo obtenido en el CIS bien puede estar dentro de la clasificación de menas de grado químico, según Bath F. P. 1968 de minerales con esta categoría se produce ferrocromo de bajo grado, el charge chrome o ferrocromo de carga, este material puede poseer contenidos tan bajos como 50,00% de cromo.

Con vista a encontrar una materia prima para la producción de ferrocromo con recursos nacionales, en el CIS se ha investigado la obtención de esta ferroaleación a partir de briquetas de concentrado de cromita, obteniendo un ferrocromo con 52,42% de cromo y 6,44% de carbono, sin precisar aún el consumo energético. Leyva E. 1997, Santiesteban E. 1999.

1.7.2 Producción de Sales de Cromo

El primer paso en la obtención de productos químicos base cromo, a partir de minerales, es una molienda severa para reducir la materia prima hasta clase de tamaño inferior a 0,074 mm (Tamíz de 200 mesh). El concentrado posee 43,11% de partículas de esta clase.

Esta operación encarece cualquier proceso, ya que como escribiera A. L. Coello, 1999 la energía consumida en estas operaciones se disipa principalmente en las transmisiones y movimientos de las partes giratorias de los equipos, siendo, temperatura, secado, reacciones termoquímicas y solo una pequeña parte se consume en el rompimiento de las partículas minerales, en el rompimiento del material, en el caso de molienda de minerales, se consume solo el 1,00% de toda la energía.

1.7.3 Usos de las sales de cromo

El dicromato de sodio se utiliza en varios procesos que emplean el cromo en la electrólisis del cromo metálico; como pigmentos para pinturas, colorantes, tintas; mordientes textiles, fotografía, control de la corrosión de metales, curtido de pieles, preservación de la madera y litografía y otros procesos químicos.

El óxido crómico es muy refractario y se utiliza para dar color verde al vidrio y a la porcelana; además como color verde permanente al aceite.

El ácido cromatropico constituye una materia intermedia para obtener colorante y se emplea como reactivo del Ion Titánico, con el cual da color rojo pardo.

El ácido crómico se emplea como tal en muchas reacciones químicas por ser un poderoso agente oxidante.

Además podemos agregar que el curtido de pieles con sales de cromo representa el 80% de la producción total de cueros en el mundo.

1.7.4 Antecedentes al trabajo, en la obtención de productos químicos base cromo

En Cuba, en los años 60 – 80, V. Herrera, 1967 y otros, investigaron la lixiviación alcalina de los minerales lateríticos y las colas para la extracción del cromo contenido en estos, de lo cual surgió el llamado proyecto 101 en el departamento de I + D de la Emp. Cmdte René Ramos Latour de Nicaro, el objetivo de los trabajos estaba orientado a remover el cromo contenido en estos minerales y obtener una materia prima con alto contenido de hierro y bajo contenido de cromo, factible para ser utilizado en la industria siderúrgica. A través de esas investigaciones se demostró que es posible separar el 93,00 % de Cr y el 60,00% de Al de la limonita utilizando óxido de calcio (CaO) y carbonato de sodio (Na₂CO₃). Para esto se consideraron los siguientes parámetros: temperatura de calcinación (950,00 – 1000,00 °C), tiempo de retención (2,00 – 3,00 hrs), temperatura de lixiviación (60,00 °C), se utilizó para la lixiviación agua ligeramente alcalina con NaOH (hidróxido de sodio) llegando a la conclusión que estos parámetros tienen una gran influencia sobre la extracción óptima del cromo (Cr) y el aluminio (Al). Se obtuvo además la dependencia de la extracción con respecto a las diferentes variables.

En 1992 Fernández E. y Mora C, retoman el asunto y analizan la influencia de la

lixiviación alcalina de los minerales lateríticos, previa al proceso de lixiviación ácida, con el objetivo de aumentar la recuperación de Ni y Co.

Más reciente, Garrido M. y colaboradores 1996, consideran la aplicación de la calcinación alcalina con NaOH o KOH para la recuperación del cromo a partir de concentrado de cromita de Cayo Guan, Moa, esta cromita está categorizada como mena de grado refractario e indiscutiblemente es menos factibles económicamente, utilizarla con este fin, pues posee menor contenido de Cr_2O_3 , mayor contenido de SiO_2 y mayor granulometría que el concentrado de cromita obtenido a partir de las colas de Nicaro. Mediante la lixiviación directa con H_2O_2 , los resultados no fueron alentadores, con NaOH y KOH no superan el 7.5% de la extracción. Luego con el empleo de MnO como agente oxidante, el cuadro se comportó similar, aunque se observa un ligero incremento de la extracción de Cr; 12.36 % para el NaOH y 13.91% para el KOH. También se realizó la extracción del Cr por el método de tostación-lixiviación superando notablemente los resultados alcanzados en la lixiviación alcalina directa. Los valores de extracción de Cr para el proceso en cuestión se encuentran en el orden de los 70% y 80% para ambos agentes de tostación NaOH y KOH.

Garrido M. y colaboradores 1996 arriban a las conclusiones de que a la temperatura de tostación le corresponde el mayor efecto sobre la extracción de Cr, donde un aumento de la primera se refleja en incremento de esta última. La conjugación de estos elementos permite señalar que el aumento de temperatura trae consigo un incremento de la conversión del Cr (III) a Cr (VI) en forma de cromato de Na o K según sea el caso. Los resultados de las pruebas de optimización mostraron que en efecto, puede lograrse mayor extracción de Cr con el aumento de la temperatura y el tiempo de tostación, disminuyendo el consumo de NaOH o KOH, la temperatura y el tiempo de lixiviación. Para ambos casos las condiciones óptimas del proceso se establecen para temperatura de tostación igual a 1300 °C, donde se alcanzan extracciones de Cr de 83.5% hasta 88.5%.

Finalmente establecen que la obtención de cromato a partir de los concentrados de baja ley es tecnológicamente factible mediante el proceso de tostación-lixiviación descartándose la lixiviación alcalina directa. Las extracciones alcanzadas mediante el mencionado proceso dependen del tipo de agente de tostación utilizado. Los mejores resultados se dan cuando se emplea KOH.

En 1950, J. Cby propone investigar a escala de planta piloto un proceso ácido por el tratamiento de las cromitas, sin embargo, a pesar de la factibilidad del proyecto no ofrece ventajas económicas sobre los procesos basados en las reacciones con sílice lo que derivó en la no trascendencia práctica de éste.

En 1999 se presenta a la Oficina Cubana de la Propiedad Intelectual (OCPI) la solicitud de derecho de autor de un procedimiento que viabiliza la obtención de concentrado de cromita por medio de la concentración gravitacional combinada con la separación magnética húmeda a baja intensidad y la clasificación y/o cribado, aprobado con el certificado No 23316 de 2008.

Como embrión de este trabajo están los trabajos presentados por Leyva E. 2000, 2004 donde evalúa las características y posibilidades de empleo del concentrado de cromita obtenido por el procedimiento del párrafo anterior, a la vista de los resultados precisó que es un concentrado de Cr_2O_3 , de grado químico, su fina granulometría y composición química lo valorizan como una potencial fuente de materia prima para la elaboración de producto químico base cromo y recomienda que el estudio se debe traducir en acciones para el seguimiento paso de la investigación.

Conclusiones parciales

Solo existe un mineral comercial de cromo, llamado cromita, que se encuentra en forma de cristales negros metálicos frágiles o gránulos, de composición ideal $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$, pero como la relación de cromo (Cr) a hierro (Fe) varía considerablemente, este mineral se representa como: $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O}\cdot(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_3$.

Las cromitas en la industria y el comercio se clasifican en: metalúrgicas, refractarias y químicas.

El concentrado de cromo obtenido en el CIS bien puede estar dentro de la clasificación de menas de grado químico,

En la industria química el mineral de cromita se trata por calcinación – lixiviación alcalina, pudiendo ser empleado los compuestos alcalinos: carbonato de sodio, hidróxido de sodio y/o hidróxido de potasio.

A la temperatura de tostación, entre 1000,00 y 1250,00 °C, le corresponde el mayor efecto sobre la extracción de Cr.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Resulta conocido que la correcta selección y utilización de los equipos, materiales y métodos a emplear en cualquier investigación influye considerablemente en la viabilidad de la misma. En el presente trabajo se prestó especial atención en la selección y utilización de los materiales e instrumentos de medición empleados en el desarrollo de sus principales tareas.

Dentro de estas tareas se encuentran:

- a) Caracterizar los principales equipos tecnológicos, medios de medición, y materiales que fueron empleados durante el desarrollo del trabajo.
- b) Determinar el esquema tecnológico.
- c) La utilización de los procedimientos para la determinación de la recuperación de cromo y el análisis estadístico.

Los objetivos del capítulo son:

- I- Describir los equipos, instrumentos y materiales utilizados durante la investigación.
- II- Exponer los principales procedimientos, metodologías y técnicas empleados en el trabajo.

2.1 Principales materiales y equipos utilizados en la investigación

- Muestras de concentrado de cromita.

Para la realización de la parte experimental se contó con:

- i. Horno eléctrico tubular, Figura 2.
- ii. Beaker de 250 ml.
- iii. Volumétricos de 500 ml.
- iv. 1 Probeta graduada de 50 ml.
- v. Bote de combustión.
- vi. 1 Espátula.
- vii. Papeles de filtro de baja porosidad.
- viii. Agitador magnético con regulación de temperatura.

- ix. Vidrio reloj.
- x. Mortero.
- xi. Estufa.
- xii. Termómetro.
- xiii. Pinza.
- xiv. Balanza analítica.

El horno eléctrico tubular de resistencia de laboratorio CYOЛ-0,4.2,5 /15 Fig 2, sirve para realizar diferentes tratamientos térmicos de los materiales y otros trabajos a temperaturas hasta 1500,00 °C, no obstante por problemas técnico, la temperatura máxima que se pudo alcanzar fue de 900,00 °C. Este horno dado su poco diámetro solo permite introducirle las distintas muestras en pequeños botes de porcelana que el máximo de muestra que se les puede agregar es de 3,00 gr.



Figura 2 Horno eléctrico tubular utilizado

Tabla 8 Relación de las diferentes características técnicas del equipo

Parámetros	Unidades	cantidad
Potencia de la cámara de calentamiento	kW	3,5
Tensión de la red de alimentación.	V	220
Frecuencia.	Hz	50
Temperatura nominal de servicio.	°C.	900
Tiempo de calentamiento hasta la temperatura nominal.	hrs.	3,5

2.2 Selección del esquema

La selección esquema objeto de estudio, estuvo dada por razones de índole económica y práctica.

Es el esquema más ensayado en nuestro país, por lo que de hecho es sobre el que más literatura existe y a la vez es en el que más dominio práctico existe en Cuba y en la zona (este fue el esquema ensayado en el proyecto 101 que consistió en tostar y luego lixiviar el mineral procedente de Moa y Nicaro para extraerles los óxido de cromo y aluminio).

Como se expresó anteriormente el esquema a ensayar es el representado en la Figura 3.

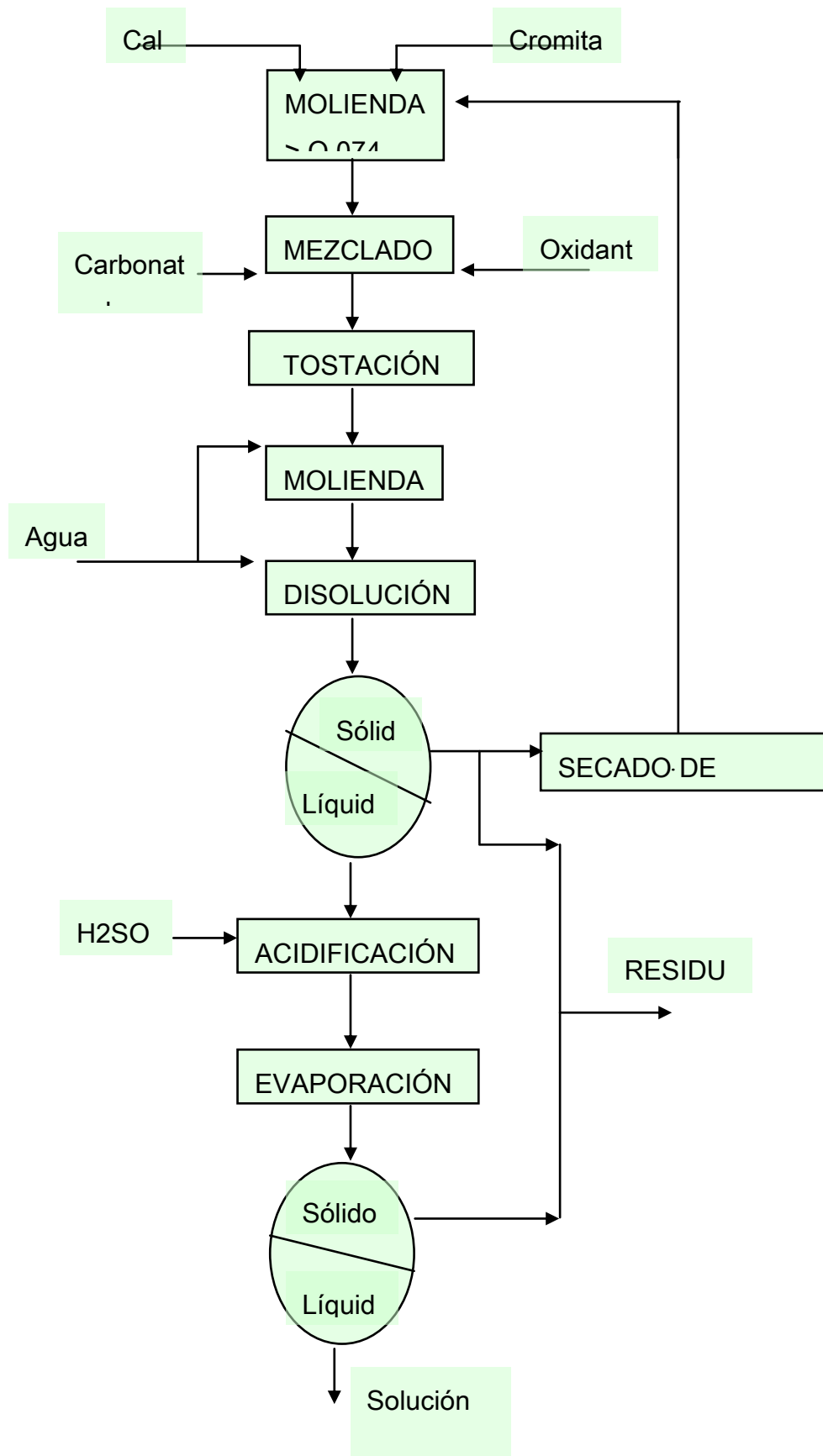


Fig.3. Esquema general para la producción de dicromato de sodio.

Se puede observar que cuenta de ocho etapas principales, (1) Molienda de las materias primas, (2) Mezclado, (3) Tostación, (4) Molienda y Disolución del calcinado, (5) Separación líquido – sólido, (6) Acidificación, (7) Evaporación y (8) Separación Líquido – Sólido.

En este trabajo no se efectúa la primera etapa principal, molienda, de la materia prima inicial, debido a que en el concentrado obtenido es inferior a 150,00 μm y cerca del 45,00% es menor a 74,00 μm , sabiendo de antemano lo que implica la energía eléctrica consumida en una molienda en cualquier proceso tecnológico, lo cual aumentaría el costo del proceso, entonces no sería factible el mismo, llevando siempre presente la premisa fundamental de todo ingeniero, de disminuir los costos aumentando la calidad del proceso y el producto, después haríamos una mezcla del concentrado de cromita grado químico y los reactivos, los cuales son el carbonato de sodio que se utiliza para la formación de cromatos y aluminatos que estos son compuestos muy soluble en el posterior proceso de lixiviación alcalina con agua a 60,00 °C y el óxido de calcio se añade con el objetivo de darle más porosidad a la masa luego de ser de fácil adquisición en nuestro país es bueno señalar que sólo se llegó a simular el proceso hasta la quinta etapa.

Las cantidades de concentrado de cromita, carbonato de sodio y caliza se mezclaron, según el cálculo estequiométrico, los ensayos de calcinación se efectuaron a temperaturas de 800,00; 850,00 y 900,00 °C, a temperatura superior no se pudo realizar ningún ensayo por desperfecto técnico en el horno mufla, el tiempo de retención de la mezcla en el horno fue constante (2,00 h) y la lixiviación con agua a presión de 1,00 atmósfera, temperatura 60,00 °C y tiempo de agitación 0,50 h, variando la relación L/S: 15/1, 10/1 y 7/1, en el epígrafe 3,1 se muestran los resultados obtenidos.

2.2.1 Selección de la tecnología

El método se basa en los procesos ya conocidos para la preparación de compuestos de base cromo. Los procesos industriales establecidos se basan en las reacciones que luego serán mostradas, el tratamiento de mineral de cromo con álcali forma compuestos solubles en agua que pueden separarse del resto de los componentes (hierro, sílice, etc.), En estas industrias se usa como materia prima minerales de alto contenido de cromo, que son las cromitas o concentrados de grado químico.

En el proceso de tostación-lixiviación se estudia la influencia de 2 variables a tres niveles para conocer su influencia sobre la extracción del óxido de Cr, estas son:

Tabla 9 Composición química del concentrado de cromita.

Ni	0,139	Al ₂ O ₃	13,50
Co	0,065	SiO ₂	2,61
Fe _t	20,60	MgO	8,5
Cr ₂ O ₃	42,06	-	-

2.3 Diseño de los experimentos y análisis estadístico de los resultados

2.3.1 Diseño de los experimentos

Para diseñar y analizar un trabajo experimental puede recurrirse a diferentes métodos y procedimientos, a continuación se brindan elementos de los que fueron considerados en el trabajo de diploma.

2.3.1.1 Método factorial completo

El experimento factorial completo esta relacionados con los métodos matemáticos de los experimentos. El mismo presupone la combinación de todos los factores con un número de experimentos igual $N=O^K$

O : número de niveles.

K : número de factores.

N : número de ensayos

El método factorial permite estimar los efectos lineales y los efectos de interacción con gran número de variables independientes. López P. R. 1988.

Este método presenta notables ventajas:

- Se disminuye considerablemente el número de ensayos en comparación con el método clásico.
- Además se reduce el tiempo de trabajo y una mejor planificación de los experimentos.
- Existe un ahorro de recursos y reactivos respecto al método clásico.
- Permite conocer cómo influyen cada uno de los factores que intervienen en la investigación y establece si existe interacción entre cada parámetro.

- En el experimento factorial se cambia al mismo tiempo todas las variables aumentando bruscamente la eficacia del experimento.

Desventajas:

- Son utilizados efectivamente solo si los niveles de los factores han sido elegidos correctamente y los mismos se encuentran en las zonas estacionarias o cercanas a las mismas.
- La necesidad de realizar simultáneamente un gran número de ensayos, ya que con el aumento del número de factores, el número de ensayos crece con arreglo a una función exponencial.

2.3.1.2 Metodología del método factorial completo

1- Elección de los factores a investigar.

2- Elección de los niveles:

a) Nivel básico $[x^0_j]$: punto de partida o centro del experimento, se elige en función de los datos de investigación anteriormente realizadas o por experiencia de procesos industriales análogas al proceso en cuestión.

b) Nivel superior $[x^+]$

$$x^+ = x^0_j + \Delta x_j \quad 1$$

$$\Delta x_j = [0,15 \cdot 0,30] x^0_j \quad 2$$

c) Nivel inferior $[x^-]$

$$x^- = x^0_j - \Delta x_j \quad 3$$

3- Planificación (matriz de planificación)

La matriz de planificación se forma según la regla:

La frecuencia de cambio de signo (nivel) de cada factor siguiente en dos veces menor que el anterior. Por ejemplo para $k = 3$ $N = O^K = 2^3 = 8$ ensayos, el plan de la serie es el siguiente:

Tabla 7 Relación de los ensayos, factores y los parámetros a optimizar

# de ensayos	Factores			Parámetros de optimización
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	-	-	-	Y ₁
2	+	-	-	Y ₂
3	-	+	-	Y ₃
4	+	+	-	Y ₄
5	-	-	+	Y ₅
6	+	-	+	Y ₆
7	-	+	+	Y ₇
8	+	+	+	Y ₈

La comodidad y sencillez de los cálculos, la posibilidad de promediar los datos y de reducir la influencia del error de reproducibilidad es consecuencia de la ortogonalidad de la matriz de planificación. Llámese matriz ortogonal, aquella para la que el producto escalar de todos los vectores columnas es igual a cero:

$$- \sum x_{ij}^2 = N \tag{4}$$

- $\sum x_{iu} = 0$, cantidad de signos [-] e igual de cantidad de signos [+] para que sea igual a cero.

2.3.2 Análisis estadístico de los resultados

2.3.2.1 Determinación del modelo del experimento

Generalmente se proponen modelos lineales.

$$x^- = x_j^0 + \Delta x_j \tag{5}$$

$$a_0 = \frac{\sum y_i}{N} \tag{6}$$

x_{iju} : son los elementos de la matriz de planificación (+1 ó -1) en la que ij es el número de factor y u el número del ensayo.

Significación de los factores.

- III- Realizar un análisis estadístico antes que nada se determina el error del experimento si es desconocido. S_E^2 .

$$S_E^2 = \frac{\sum S_{Ei}}{N}; \quad 7$$

donde: N, número de experimentos.

S_{Ei}^2 : error del experimento o varianza de reproducibilidad del experimento.

$$S_{Ei}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1} \quad 8$$

n: número de experimento realizado para determinar el error del experimento.

S_{Ei}^2 : error de cada ensayo por separado.

1- Significación de los coeficientes de regresión mediante el criterio t de Student. El coeficiente es significativo si:

$$a_j \geq tS_{aj}$$

t : Student, se busca en dependencia del grado de libertad f por la tabla para 95% de probabilidad.

El error de los coeficientes de regresión S_{aj}^2 .

$$S_{aj} = \frac{S_E}{\sqrt{N}} \quad 9$$

$$S_E = \sqrt{\overline{S_E^2}} \quad 10$$

Coefficiente límite.

$$a_{Lím} = tS_{aj} \quad 11$$

Sí $a_j > a_{Lím}$; este factor influye en el experimento.

$a_j \leq a_{Lím}$; este factor no influye por lo que no es significativo.

Son posibles las siguientes causas de insignificancia del coeficiente de regresión:

- a) El intervalo de variación del factor es próximo al óptimo.
- b) El intervalo de variación es estrecho, debido a que cuando menor sea éste, mayor será la probabilidad de que incluso un factor muy influyente, no se manifieste como factor sustancial.
- c) El parámetro de optimización del proceso no depende de la variación del factor.

2- Adecuación del modelo, a través del criterio de Fisher, que establece la relación

entre las varianzas de las series de datos.

$$F_{cal} = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ donde } S_1^2 > S_2^2 \quad 12$$

Sí $F_{cal} > F_{tab}$; no existe reproducibilidad en la serie valorada, existen diferencias sustanciales entre ambas series de datos.

Se calcula el criterio de Fisher F_{cal} que relaciona o compara la serie de datos pero siempre en el numerador se escribe la varianza de mayor valor.

$$S_{aj}^2 = \frac{\sum [y_i^{mod} - y_i^{exp}]^2}{N - K - 1} \quad 13$$

K : número de coeficientes de regresión.

y_i^{exp} : datos experimentales o empíricos.

y_i^{mod} : valor estimado en el modelo.

Se busca en la tabla Fisher para el grado de libertad por el grado de libertad.

Para S_E^2 ; $f=n-1$; n : número de pareja de datos.

Para S_{aj}^2 ;

$f=N-k-1$

Cuando $F_{cal} < F_{tab}$ el modelo es adecuado.

En dependencia de Fisher se introduce la interacción entre los factores del modelo.

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{12} x_1 x_2 \quad 14$$

$$a_{12} > a_{Lím}$$

Para la evaluación de estas variables se decidió confeccionar un diseño de experimento factorial $N = O^2 = 3^2$, con la matriz de la tabla 10.

Tabla 10 Matriz experimental utilizada

No del Experimento	X ₁	X ₂
1	0	0
2	0	1
3	1	0
4	1	-1
5	-1	-1
6	1	1
7	0	-1
8	-1	0
9	-1	1

En la tabla 11 se plasman los valores de las variables que se evaluarán en los experimentos.

Tabla 11 Relación de las distintas variables con sus respectivos niveles

Variables	Nivel Inferior	Nivel medio	Nivel Superior
X ₁ , °C	800,00	850,00	900,00
X ₂ ,	7,0/1,0	10,0/1,0	15,0/1,0

2.4 Desarrollo de la parte experimental de la investigación

La investigación se desarrolló en el laboratorio del Centro de Investigación Siderúrgicas donde el primer paso que se llevó a cabo fue el cálculo estequiométrico con el objetivo de encontrar la cantidad de cada reactivo que se le iba a añadir a la muestra de cromita (100,00 gr), luego de haber calculado, se añaden los reactivos se homogeneiza lo mejor posible para luego separar tres réplicas de 3,00 gr para cada ensayo de la matriz. Luego se tostaron a las distintas temperaturas; en el horno tubular durante 2,00 h de retención.

La metodología de ensayos utilizada en todos los experimentos fue la misma y consistió en:

Una vez tostadas todas estas muestras se les coloca dentro de un desecador para su

posterior enfriamiento y también con el objetivo de que no se humedezcan las mismas; luego frías se procede a realizar las pesadas en la balanza digital nuevamente donde se puede apreciar que hay una pérdida de peso moderada en cada una de las muestras, se observó la formación de un aglomerado de color amarilloso que se le realizó una preparación mecánica, o sea, una trituration suave en un mortero de porcelana, aumentando así la superficie de contacto a cada uno por separado para pasar el 100,00% de estos por el tamiz de 0,150 mm para su posterior lixiviación con agua ligeramente alcalinizada (al 10,00% con NaOH) a 60,00 °C y tres relaciones líquido-sólido: 7/1, 10/1 y 15/1 agitando esta pulpa por un período de 0,50 h con un agitador magnético, manteniendo la temperatura constante (60,00 °C); luego se preparan volumétricos con embudos y papel de filtro, y se procede a la filtración para separar la solución del sólido, así se hace para todas las muestras, el sólido se seca en una estufa hasta peso constante a temperatura de 50,00°C para no correr el riesgo de que ocurra una formación o descomposición de otro compuesto, luego de secado es enviada a hacerle los respectivos análisis químicos (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2) por triplicado; una vez obtenido el resultado de los análisis químicos se calculó la extracción del componente correspondiente mediante la fórmula:

$$\xi = (\gamma * \beta) / \alpha \quad 15$$

γ : rendimiento en peso, que no es más que la masa de sólido restante después de la lixiviación en % del mineral inicial.

β : contenido en el producto después de lixiviar, %.

α : contenido en mezcla inicial, %.

ξ : recuperación de sólido lixiviado, %.

$$\xi_{\text{Lix.}} = 100 - \xi \quad 16$$

$\xi_{\text{Lix.}}$: recuperación en la lixiviación, %.

Los resultados de las recuperaciones fueron sometidos a un control de homogeneidad, determinando la dispersión por filas y control de la homogeneidad basada en el criterio de Cochran y se calculó la dispersión de reproducibilidad y el valor medio de respuesta y control del significado de su diferencia por el criterio de Student, a continuación se describe el procedimiento empleado utilizando Microsoft Excel:

1°. Cálculo de la dispersión por fila y control de su homogeneidad.

a) Se determina la dispersión por cada una de las filas según:

$$s_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \quad 17$$

donde n es el número de réplicas realizadas (3).

b) Suma de las dispersiones.

$$\sum_{i=1}^N S_i^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_N^2 \quad 18$$

N: # de experimentos (9).

c) Cálculo del criterio de Cochran(G) para cada fila.

$$G_{calc} = \frac{S_i^2}{\sum S_i^2} \quad 19$$

d) Determinación del Cochran(G) tabulado.

Para 1 grado de libertad $f_1 = n-1$; $f_2 = N$; $\alpha=0,05$

Si $G_{calc} < G_{tab}$, la dispersión es homogénea de cada fila analizada con respecto a la población y viceversa.

2°. Cálculo de la dispersión de reproducibilidad.

$$a) S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad 20$$

b) Error de reproducibilidad.

$$S_y = \sqrt{\overline{S_y^2}}$$

21

3°. Cálculo del valor medio de respuesta y control del significado de su diferencia.

a) Valor del criterio de student.

$$S_y \cdot \sqrt{\frac{1}{n_{max}} + \frac{1}{n_{min}}}$$

b) Determinación de t_{tab} ; $f=n_{max}+n_{min}$.

c) Comprobación del criterio t_{calc} y t_{tab} .

Si $t_{calc} > t_{tab}$, la diferencia entre los valores de la respuesta en diferentes puntos del plano está comprobado estadísticamente y viceversa.

Para la determinación de la influencia de las variables sobre la recuperación de cromo y la obtención de los modelo de regresión que se adecuaran a los parámetros estudiados, se utiliza el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.5 que facilita el análisis: calcula, compara los coeficientes de estimación, propone y evalúa los modelos.

2.5 Conclusiones parciales

Se encontró que el empleo del método de diseño experimental factorial completo a tres niveles es factible para evaluar la influencia de las variables objeto de estudio en la extracción del cromo contenido en el concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro.

El concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro posee tamaño de partículas 100,00% inferior a 150,00 μm y cerca del 45,00% es menor que 74,00 μm , lo que es muy favorable para la lixiviación y evita la primera etapa principal, molienda, de la materia prima.

Roy T. aconseja la adición de cal con el objeto de darle porosidad a la masa pues de lo contrario la masa fundida de álcali cubriría rápidamente las partículas y las protegería de la oxidación.

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Determinación de las condiciones para la recuperación de la cromita

Con el objetivo de determinar las condiciones en las que se obtienen los mejores resultados, a escala de laboratorio, se realizó un diseño experimental 3^2 .

3.1.1 Control de homogeneidad y representatividad de la información

En la tabla 12 se muestran los resultados principales. En la misma se puede observar que los experimentos donde coinciden los valores más altos de temperaturas corresponden las mayores recuperaciones a excepción del experimento No 4 que coincide con el menor valor de la relación L/S, por lo que se puede inferir que el incremento en los valores de ambas variables influyen positivamente en la recuperación de cromo, en el experimento No. 6 donde ambas variables se encuentran en el nivel máximo es donde se logra la mayor recuperación; para tener una certeza de lo expuesto a partir de acápite 3.2 se ofrecen los resultados del análisis de regresión. En próximas investigaciones el esfuerzo deberá dirigirse a trabajar con temperaturas superiores a los 1000 °C.

Tabla 12 Recuperación de Cr_2O_3 en la lixiviación

No Exp.	X ₁	X ₂	Ens. 1	Ens. 2	Ens. 3	Valor Medio	S ²	S	G _{cal}
1	0	0	51,35	51,73	52,73	51,94	0,51	0,71	0,036
2	0	1	57,80	59,23	58,63	58,55	0,52	0,72	0,036
3	1	0	56,96	60,58	62,21	59,92	7,22	2,69	0,507
4	1	-1	55,30	53,21	52,81	53,77	1,79	1,34	0,125
5	-1	-1	40,10	41,26	40,85	40,74	0,35	0,59	0,024
6	1	1	75,00	72,86	71,61	73,16	2,94	1,71	0,206
7	0	-1	47,80	47,23	46,83	47,29	0,24	0,49	0,017
8	-1	0	44,47	42,89	43,25	43,54	0,69	0,83	0,048
9	-1	1	45,80	45,61	45,65	45,69	0,01	0,10	0,001
t _{cal} = 73,44 Por fórmula 22							1,58	1,25	
t _{Tab} = 4,30						G _{Tab} = 0,638			

Los resultados de las recuperaciones fueron sometidos al control de homogeneidad,

determinando la dispersión por filas y control de la homogeneidad basada en el criterio de Cochran. En la tabla 12 se observan los valores Cochran calculados (G_{calc}) por fórmula 19 y tabulado

Como los $G_{calc} < G_{tab}$, la dispersión de cada fila analizada con respecto a la población es homogénea.

El análisis de la dispersión muestra que la misma es baja, presenta un varianza de 1,58 y un error de reproducibilidad igualmente bajo; de 1,25. El valor medio de respuesta y control del significado de su diferencia por el criterio de Student como $t_{calc} > t_{tab}$, muestra que la diferencia entre los valores de la respuesta en diferentes puntos del plano está comprobado estadísticamente y que los mismos son reproducibles.

Luego del análisis de la representatividad de la información se procedió al análisis influencia de la temperatura de tostación en la recuperación y la obtención de los modelos de regresión que se adecuaran a los parámetros estudiados, se utiliza el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.5, a continuación se presentan los resultados.

3.2 Influencia de la temperatura de tostación en la recuperación

El análisis de regresión simple muestra los resultados del ajuste al modelo doble recíproco para describir la relación entre recuperación de Cr_2O_3 ($\xi_{Cr_2O_3}$) y temperatura de tostación (T). La ecuación del modelo ajustado es:

$$\xi_{Cr_2O_3} = 1/(-0,0383793 + 49,1207/T)$$

En la Figura 4 se observa que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existe relación estadísticamente significativa entre recuperación y temperatura para un nivel de confianza del 99,00%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 73,3179% de la variabilidad en recuperación después de la transformación a escala recíproca para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,856259, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 0,00174712. Éste valor puede usarse para construir límites de la predicción para las nuevas observaciones. El error absoluto medio (MAE) de 0,00141821 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el

fichero. Dado que el p-valor es superior a 0,05, no hay indicio de autocorrelación serial en los residuos.

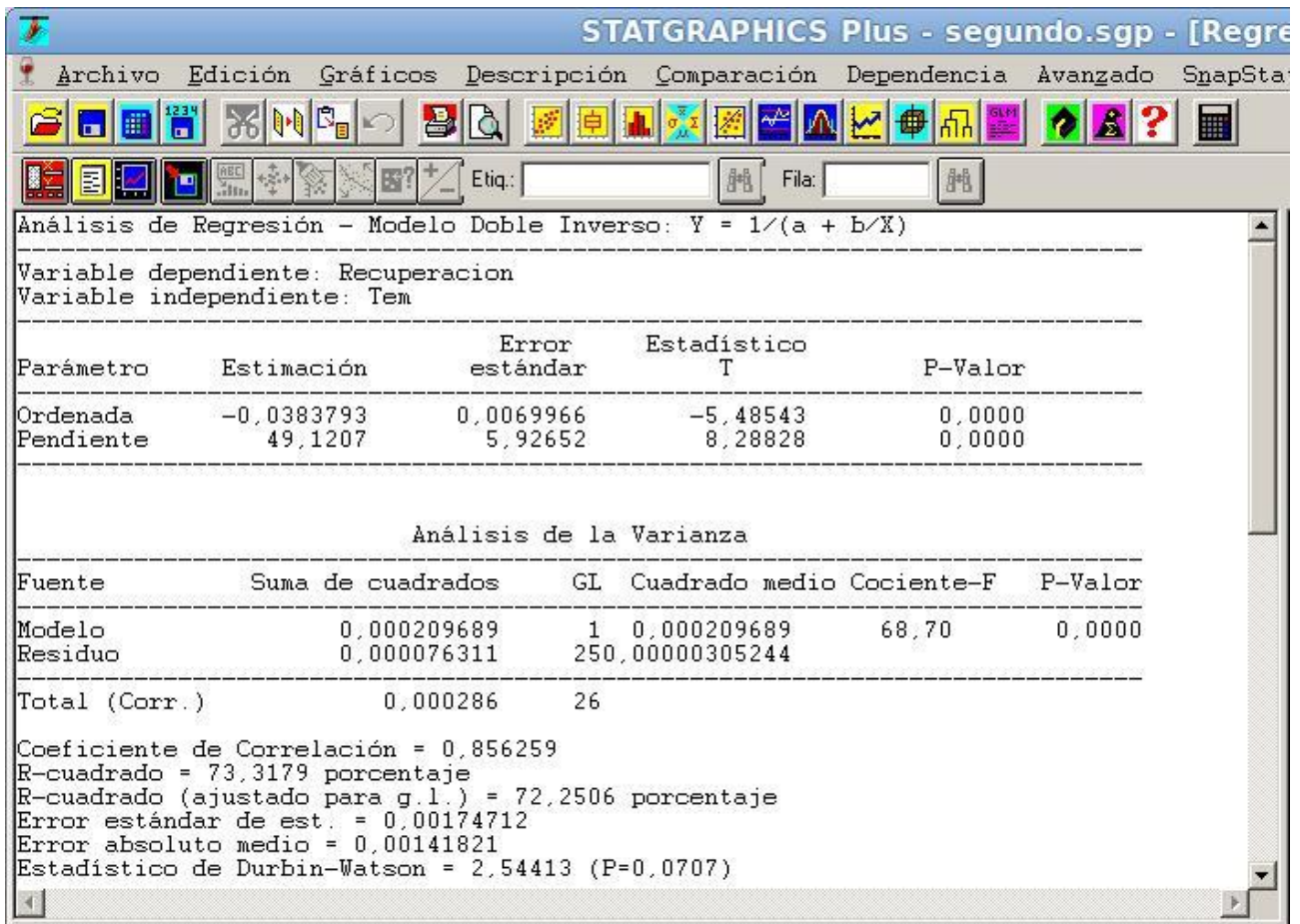


Figura 4 Análisis de regresión simple Temperatura vs Recuperación

En la Figura 5 se puede observar que con el incremento de la tempera se incrementa la recuperación de Cr_2O_3 . En la misma se observa que en valores próximos a los 1000,00 °C la recuperación debe encontrarse por encima del 80,00% como lo reportan Herrera V. 1962, cuando estudia la separación hidrometalúrgica del cromo en los minerales lateríticos y Roy T. 1967, en la lixiviación alcalina de las lateritas de Pinares de Mayarí.

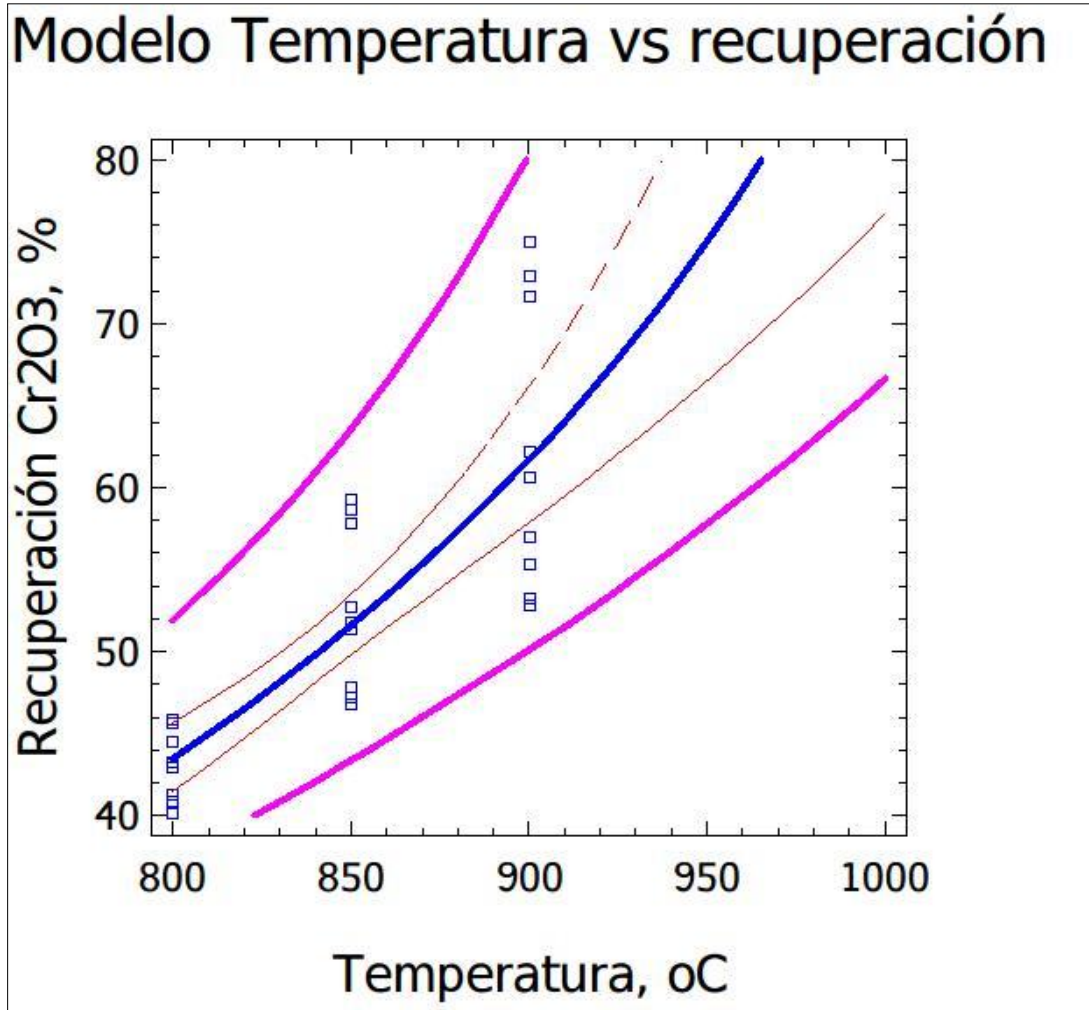


Figura 5 Relación entre T y $\xi_{Cr_2O_3}$

3.3 Influencia de la relación L/S en la recuperación

En la Figura 6 se muestran los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre recuperación de Cr_2O_3 y relación líquido/sólido. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\xi_{Cr_2O_3} = 36,9269 + 1,48168R$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existe relación estadísticamente significativa entre $\xi_{Cr_2O_3}$ y R para un nivel de confianza del 99,00%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 26,1855% de la variabilidad en recuperación. El coeficiente de correlación es igual a 0,511718, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica

de los residuos que es 8,53095. Este valor puede usarse para construir límites de la predicción para nuevas observaciones. El error absoluto medio (MAE) de 6,48313 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero. Dado que el p-valor es superior a 0,05, no hay indicio de autocorrelación serial en los residuos.

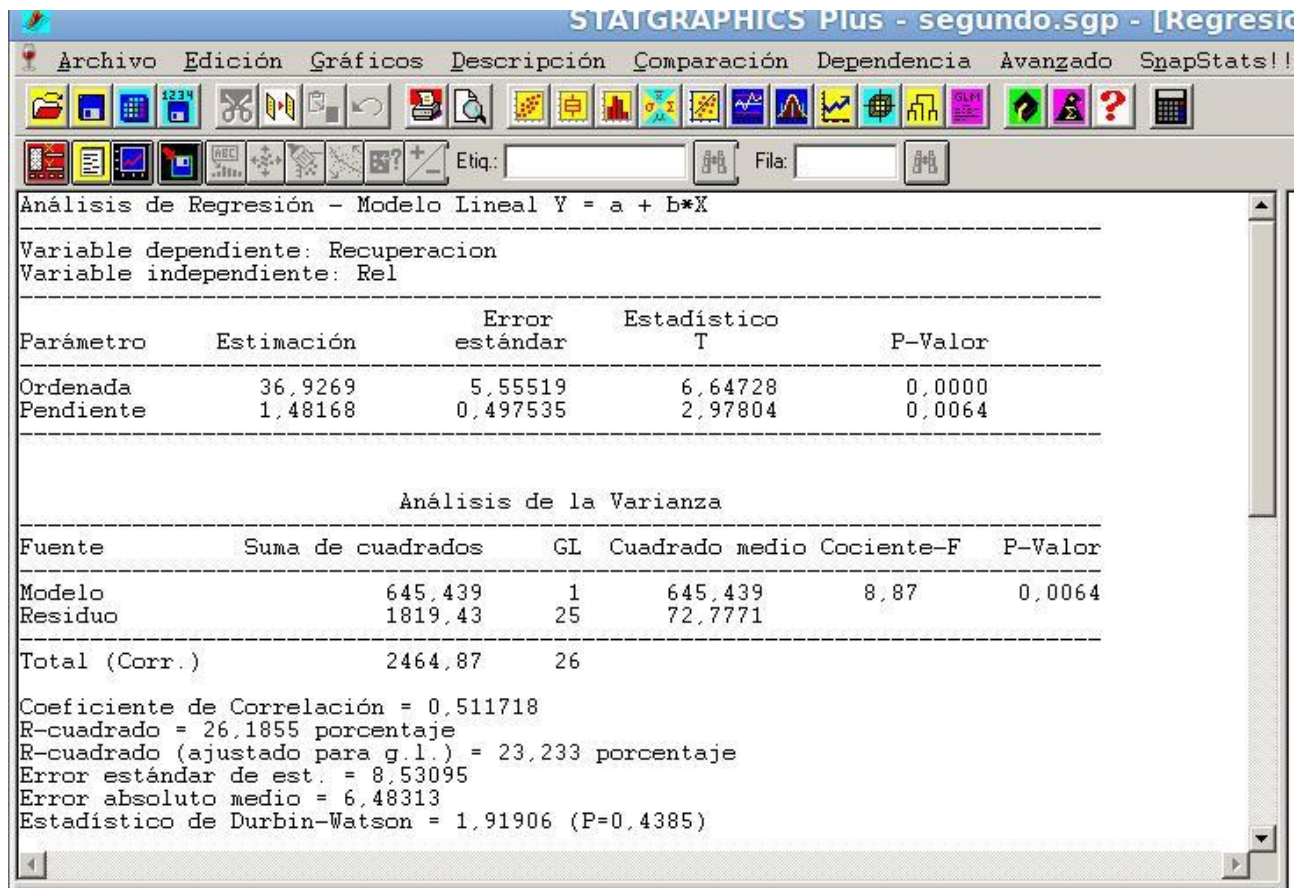


Figura 6 Análisis de regresión R vs ξ_{Cr2O3}

En la Figura 7 se puede observar que con el incremento de la R hay un incremento en la recuperación de Cr_2O_3 . El 33,33% de los puntos está en la región de nivel de confianza del 99,00% mientras que los restantes se encuentran en la zona del 95,00 de nivel de confianza.

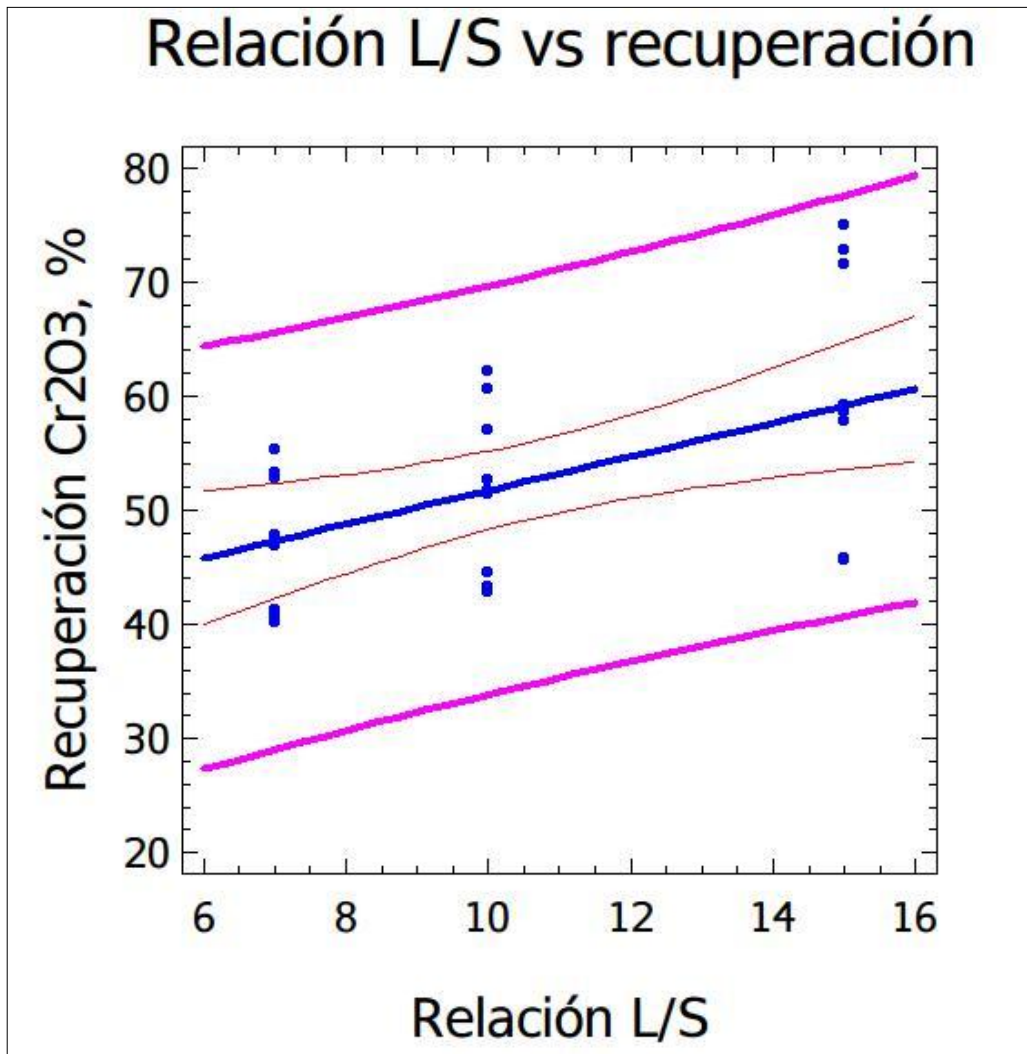


Figura 7 Relación entre R y ξ_{Cr2O3}

3.4 Influencia de la conjugación de ambas variables en la recuperación

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre la recuperación de Cr₂O₃ (ξ_{Cr2O3}) y las variables independientes temperatura (T) y relación líquido sólido (R) así como la interrelación entre ambas. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\xi_{Cr2O3} = -132,976 + 0,189622T + 1,48168R + 0,000913502T.R$$

De la ecuación se puede ver que la variable que mayor efecto ejerce es R.

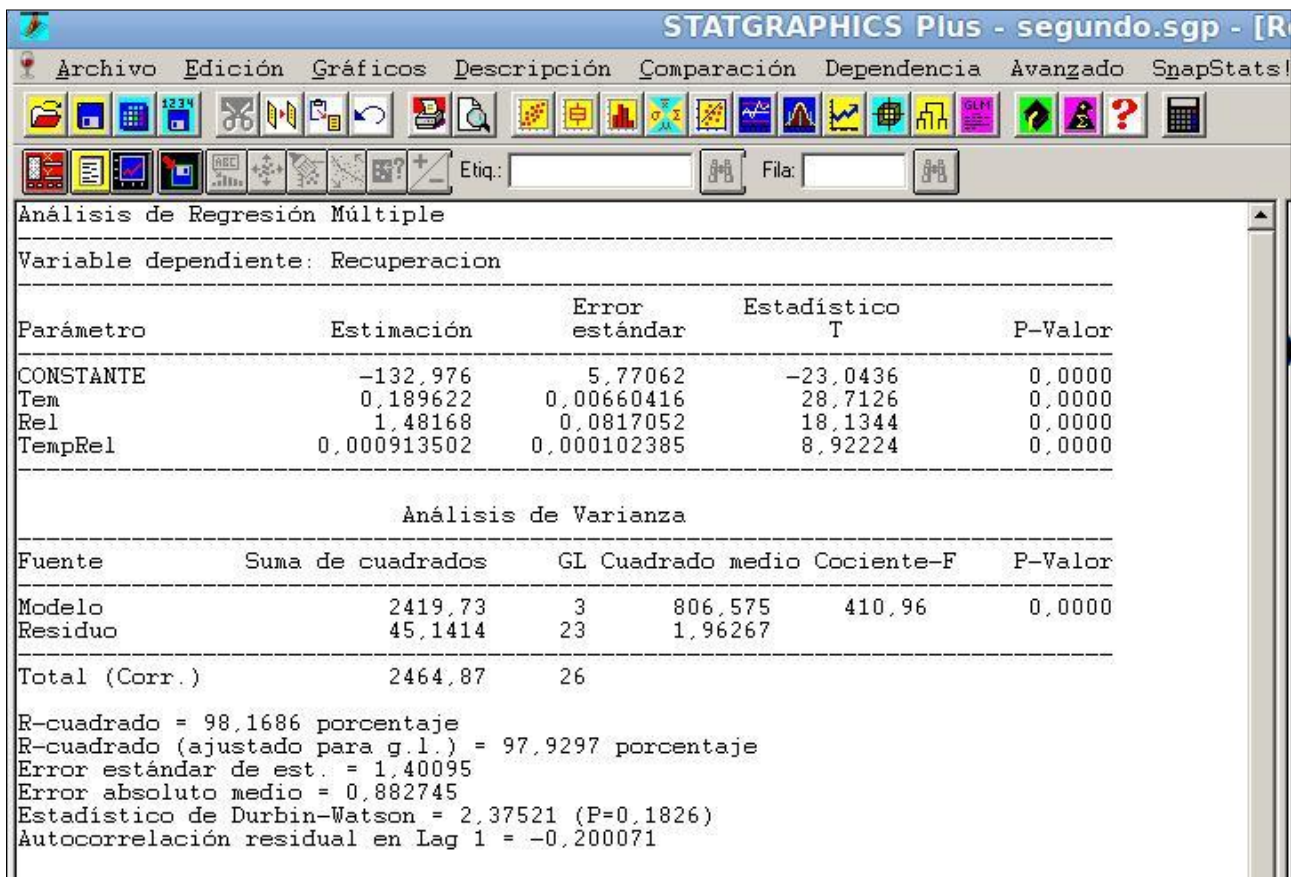


Figura 8 Resultados del análisis de regresión múltiple

En la Figura 8 se muestra los resultados del análisis de regresión múltiple: dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99,00%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 98,1686% de la variabilidad en recuperación de Cr_2O_3 . El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más conveniente para comparar modelos con diferente números de variables independientes, es 97,9297%. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 1,40095. Este valor puede usarse para construir los límites de predicción para nuevas observaciones. El error absoluto medio (MAE) de 0,882745 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero. Dado que el p-valor es superior a 0,05, no hay indicio de autocorrelación serial en los residuos. Puesto que el p-valor es inferior a 0,01, los términos son estadísticamente significativos para un nivel de confianza del 99,00%. Por tanto, no se retira ninguna variable del

modelo.

3.6 Valoración económica y ecológica

3.6.1 Valoración económica

En el trabajo de diploma se ha tratado de realizar una evaluación del valor de la inversión de una planta para la obtención dicromato de sodio con la tecnología investigada. El período de recuperación de la inversión y otros índices económicos que se tienen en cuenta para determinar la factibilidad de la misma no se determinan, ya que no ha sido posible en todas sus partes al no contar con los precios de algunos productos químicos y las cantidades que se importan anualmente a nuestro país; por no tener acceso a estos datos pues el CIS no es miembro asociado de la Cámara de Comercio de Cuba y para la adquisición de estos datos es necesario un riguroso proceso.

Por tanto para aportar al Centro de Investigaciones Siderúrgicas una idea de cuánto se necesita para la inversión de una planta de dicromato de sodio, se utilizó la estimación por Orden de Magnitud, ya que la misma facilita una estimación rápida basada en otras instalaciones similares. Se utiliza en estudios de viabilidad y proporciona una base sobre las decisiones a tomar. (http://web.usal.es/~tonidm/DEI_02_Costes.pdf.) pág. 2.2 -2.9.

3.6.1.1 Cálculo económico estimado para la adquisición de los equipos principales

Se estima como base de cálculo una planta de productividad 300 t/a de dicromato de sodio similar a la montada en el Proyecto 101.

Se realizó el cálculo económico estimado para la adquisición de los equipos principales para una planta para esa capacidad productiva, para la seleccionar del costo de algunos de los equipos como por ejemplo los tanques, las bombas, molino de bolas, etcétera; otros fueron extraídos de documentos existente en la planta piloto de la fábrica de Nicaro que fue donde se trabajó con el proyecto 101.

Los costos, extraídos de Peters, 2004, son del año 1967 por tanto hubo que actualizarlos multiplicando esto por el índice de marcha (4,27), que no es más que dividir el índice del 2012/el de 1967.

En la tabla No. 13 se detalla el cálculo del costo total estimado en la adquisición de los equipos principales con los costos viejos y actualizados. Como se puede observar este

último asciende a 1 372 272,10 USD. Encontrar un uso alternativo al concentrado de cromita permitiría incorporar un valor agregado a dicho procedimiento, así como incorporar un nuevo producto al Centro de Investigaciones Siderúrgicas.

Tabla 13 Costo total estimado de la planta con sus equipos principales

Equipos principales	Costo del 1967 (USD)	Costo del 2013 (USD)
Horno de calcinación	20710,38	88433,34
Tanque mezclador	5500,00	23485,00
Tanque sedimentador	53561,55	228707,83
Tanque de petróleo	1100,00	4697,00
Bombas centrífugas	800,00	3416,00
Molino de bolas	20000,00	85400,00
Agitador lixiviador	1100,00	4697,00
Tanque de licor producto	1900,00	8113,00
Tuberías	2844,84	12147,47
Válvulas y Codos	4441,60	18964,63
Tolvas	68942,35	294383,83
Alimentador de estrella y plat	20682,71	88315,17
Compresor de pistón	9000,00	38,43
Filtros	37028,26	158110,67
Otros	74163,51	316678,14
Total	321 375,20	1 372 272,10

3. 7 Evaluación ecológica

Ecológicamente es conveniente el tratamiento de las colas de Nicaro para recuperar Fe y Cr_2O_3 en forma de concentrados, ya que disminuiría las grandes acumulaciones de este desecho sólido en casi un 50,00% y favorecería a restablecer el ecosistema de la zona. No obstante, se conoce que la industria de la producción de sales de cromo, así como el curtido de pieles, son consideradas altamente contaminantes. La principal fuente de peligro y foco de contaminación está en el ambiente ocupacional, razón por la que se han determinado límites máximos permisibles de concentración de Cr^{6+} en los centros de trabajo.

En los últimos 30 años, la problemática ambiental preocupa cada vez más a la sociedad en general, debido a los accidentes ocurridos, relacionados con la Industria Química. A la vista de lo anterior, no es de extrañar el creciente esfuerzo que los industriales en general y la Química en particular, le dedican a la prevención de accidentes.

El aumento de accidentes industriales que se han producido en el mundo, a partir de sustancias peligrosas, dio lugar a la formación de diferentes tipos de organizaciones y programas para su prevención y control de las mismas, así como un creciente número de normas legales, destinadas a regular aspectos del medio ambiente y de seguridad en la industria

Para disminuir la peligrosidad en cualquier industria, es necesario entender bien el proceso, después es fundamental conocer las propiedades fisicoquímicas de las sustancias químicas que intervienen en el proceso, así como el tipo de peligro que entrañan, medidas de prevención de accidentes y primeros auxilios etc.

La industria química del cromo está sujeta a una cercana vigilancia por parte de las autoridades, lo que ha conllevado a realizar inversiones para modernizar las plantas y disminuir la peligrosidad de la mismas, por lo antes expuesto se expondrán algunas regulaciones relacionadas con dicha industria.

3.7.1 Fichas internacionales de seguridad química

Existen fichas internacionales de Seguridad Química de las sustancias más peligrosas a la salud y el medio ambiente, a continuación, a modo de ejemplo, se muestra en la tabla No 14, en forma resumida los peligros más comunes asociados al ácido crómico y el equipo de protección más adecuado, según Piplani P. D. 1993.

Tabla 14 Peligros más comunes asociados al ácido crómico

NOMBRE QUÍMICO (PRESENTACIÓN)	PELIGROS FISIOLÓGICOS	EQUIPO DE PERSONAL
Ácido crómico (sales y neblina)	Necrosis nasal, irritación de ojos y vías respiratorias	en, Ext g, ah, gn, dp, cp, gp, bi.

Simbología utilizada en la tabla 14:

gp = goggles (o lentes) protectores
 bi = botas impermeables
 Ext g = Extractor de gases
 ah = agentes humectantes

dp = delantal de plástico ahulado
 gn = guantes de Neopreno
 en = eliminador de neblina
 cp = careta protectora

En la tabla 15 se muestran los límites permisibles de metales pesados y cianuro para los contaminantes más importantes en el cromado en México. (Maubert F. R. y Fernández V. G. 2001, pág. 28)

Tabla 15 Límites permisibles de metales pesados y cianuro

Parámetros (mg/l totales)	R I O S				Embalses nat. y art.				S U E L O S			
	Riego agrícola		Uso público urbano		Protecc. de Vida acuática		Riego agrícola		Uso público urbano		Riego agrícola	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0

P.M. = Promedio mensual

P.D. = Promedio diario

En las fichas internacionales de seguridad química se resume la información esencial, sobre salud y seguridad en el manejo de sustancias químicas, desarrolladas como una actividad conjunta de las tres organismos internacionales mencionados a continuación:

- El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- La Organización Internacional del Trabajo (OIT).
- La Organización Mundial de la Salud (OMS).

(Ver en anexo 3 el glosario de acrónimos)

La creación de cerca de 400 fichas internacionales de seguridad química, (incluidas las vinculadas con el cromado) elaboradas con el objeto de difundir tanto entre empresarios como empleados y gente del medio, las evaluaciones de los riesgos que entrañan para la salud humana y el medio ambiente, éstas sustancias químicas peligrosas sobre todo en la pequeña y mediana industria. Maubert F. R. y Fernández V. G. 2001.

La ficha técnica relacionada con el cromo (Anexo 2) ha sido escogida de Maubert F. R. y

Fernández V. G. 2001 que a su vez fue escogida y modificadas en su totalidad del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas publicado por la comisión de las comunidades europeas con sede en Luxemburgo e impreso en el año de 1992.

3.7.2 Límites para concentraciones de cromo en el ambiente natural, ambiente ocupacional y en el organismo

Valores umbrales límite.- Se refiere a la concentración de sustancias químicas en el aire de los lugares de trabajo, por debajo de cuyo valor casi todos los trabajadores pueden estar expuestos por lapsos de tiempo, sin presentar efectos adversos.

En el caso del cromo y otros agentes químicos, los valores se expresan en partes del compuesto por millón de partes de aire (ppm) o miligramos del compuesto por metro cúbico de aire (mg/m^3), recordando que tanto el cromo como sus compuestos provocan: irritación e inflamación de la mucosa nasal, perforación del tabique nasal, daño renal, dermatitis, daño a los cromosomas del humano, así como incidencia de cáncer pulmonar.

Lo anterior es importante para desarrollar una metodología de riesgos químicos, en donde un primer paso de acuerdo con Zehnder (1995) sería:

- 1.- La identificación del peligro: esto se logra identificando los contaminantes presentes en un proceso, (tipo, forma, cantidad, forma de distribución) y una evaluación de los peligros potenciales de estos materiales.
- 2.- Evaluación toxicológica de los contaminantes presentes, considerando sus características toxicológicas para las diferentes rutas de asimilación (oral, dérmica, inhalatoria) y su relación dosis-respuesta.
- 3.- Evaluación de la exposición, en donde se valorarían cuantitativamente las dosis de contaminación observadas bajo ciertas condiciones y ya por último.
- 4.- Caracterización del riesgo, en donde hay una descripción de los peligros esperados a la salud, debido a la exposición, evaluación de la exposición máxima permisible para los contaminantes presentes y definición de metas de restauración o corrección.

A continuación se presentan diferentes clases de datos de valor umbral límite de exposición, para el cromo, que son de utilidad para futuros estudios.

El valor umbral límite se divide en 3 categorías que son:

- 1.- Valor promediado (TWA): Es la concentración media del compuesto para una jornada de 8,00 horas diarias, en que el valor promediado de todas las mediciones, no debe sobrepasar este valor.
- 2.- Valor pico o techo (Ceiling): Es el valor que nunca debe ser sobrepasado, durante la jornada de trabajo.
- 3.- Valor de exposición corta (STEL): Es un valor intermedio entre los 2 valores anteriores, en que los operarios pueden estar expuestos por períodos que no excedan de 15 minutos por hora, 4 veces al día y con un mínimo de 1,00 hora entre cada exposición.

A continuación se hablará de los diversos límites propuestos para el cromo III y VI. En la tabla No. 16 se muestran los criterios de calidad de agua en relación al cromo, según Arcos Serrano Ma. Esther, et al. 1994

Tabla 16 Criterios de calidad de agua en relación al cromo

	CROMO VI	CROMO VI	*CROMO III
	Agua dulce	Agua salada	Agua dulce
Toxicidad crítica	11 ug/l	1200 ug/l	$\text{Exp}[0.819(\ln\{\text{dureza}\}) + 3.568]$ ug/l
Toxicidad crónica	7.2 ug/l	54 ug/l	$\text{Exp}[0.819(\ln\{\text{dureza}\}) + 0.537]$ ug/l

* Para el Cromo III en agua salada, no hay datos disponibles para establecer criterios

A continuación se proporcionan más datos sobre límites de exposición para el cromo III y VI.

Diversos límites de exposición para el cromo

1.- Límites ocupacionales (para cromo y sus sales solubles)

TWA= 0.5 mg/m³ (OSHA)

TWA = 0.025 mg/m³ (NIOSH)

Valor pico = 0.050 mg/m³ para óxido de cromo (NIOSH)

STEL = 0.05 mg/m³ (ACGIH)

2.- Límites Ambientales: (para cromo y sus sales insolubles)

Aire urbano = 50 ng/m³

Agua de río = 10 ng/m³

Agua de océano = 5 ng/m³

Agua potable = 0.05 mg/l (OMS) = Norma Técnica Ecológica Mexicana.

Suelo = De 125 a 250 mg/kg

Alimentos = No debe exceder la ingesta de 0.03 a 0.1 mg/día.

Unidades de Riesgo CAG* para exposición por inhalación de cromo VI (USEPA) = 41 mg/kg/día.

*CAG = Grupo de Evaluación de carcinógenos.

Por lo antes expuesto, de materializarse la inversión será necesario tener en cuenta:

- 1.- Buscar la participación de expertos en el ramo para la elaboración de un manual de buenas prácticas de trabajo, con instrucciones básicas y de preferencia sencillas para disminuir la contaminación, reducir el gasto de agua y minimizar los residuos.
- 2.- La construcción de una planta de tratamiento de agua industrial donde los efluentes se puedan tratar en forma mancomunada, garantizando con seguridad de que las aguas residuales de esta industria si son tratadas permanentemente, podrán ser reutilizadas.

Conclusiones parciales

Los valores más altos de recuperación de cromo coinciden con los valores más elevados de ambas variables independientes evaluadas.

Los resultados de las recuperaciones fueron sometidos al control de homogeneidad, determinando la dispersión por filas y control de la homogeneidad basada en el criterio de Cochran la dispersión de cada fila analizada con respecto a la población es homogénea.

El análisis de la dispersión muestra que la misma es baja, presenta un varianza de 1,58; el valor medio de respuesta y control del significado de su diferencia por el criterio de Student muestra que la diferencia entre los valores de la respuesta en diferentes puntos

del plano son reproducibles.

El costo total estimado en la adquisición de los equipos principales con los costos actualizados asciende a 1 372 272,10 USD. Encontrar un uso alternativo al concentrado de cromita permitiría incorporar un valor agregado a dicho procedimiento, así como incorporar un nuevo producto al Centro de Investigaciones Siderúrgicas.

Para disminuir el impacto ambiental de esta industria son necesarias la participación de expertos para la elaboración de un manual de buenas prácticas de trabajo, con instrucciones básicas y de preferencia sencillas para disminuir la contaminación, reducir el gasto de agua, minimizar los residuos y garantizar con seguridad de que las aguas residuales sean tratadas permanentemente para reutilizarlas.

CONCLUSIONES

El concentrado de cromita extraído de las colas de Nicaro es de grado químico, se ha demostrado la viabilidad de extraer el Cr por medio de la tostación – lixiviación alcalina. La temperatura de tostación y la relación líquido- sólido son parámetros muy importantes, el incremento en los valores de ambas variables influyen positivamente en la recuperación de cromo, en el experimento donde ambas variables se encuentran en el nivel máximo es donde se logra la mayor recuperación de Cr_2O_3 .

La relación entre recuperación de Cr_2O_3 ($\xi_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$) y temperatura de tostación (T) la refleja un modelo matemático doble recíproco para un nivel de confianza del 99,00%: $\xi_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = 1/(-0,0383793 + 49,1207/T)$. El coeficiente de correlación es igual a 0,856259, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

La relación entre recuperación de Cr_2O_3 ($\xi_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$) y relación líquido/sólido (R) la refleja un modelo matemático que describe la ecuación de una línea recta para un nivel de confianza del 99,00%: $\xi_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = 36,9269 + 1,48168.R$. El coeficiente de correlación es igual a 0,511718, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

La relación entre la recuperación de Cr_2O_3 ($\xi_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$) y las variables independientes temperatura (T) y relación líquido sólido (R) así como la interrelación entre ambas está dada por la ecuación: $\xi_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = -132,976 + 0,189622T + 1,48168R + 0,000913502T.R$; para un nivel de confianza del 99,00%. El estadístico R-cuadrado ajustado indica que el modelo explica en un 97,93% la variabilidad en recuperación de Cr_2O_3 . Los términos en la ecuación son estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 99,00%.

RECOMENDACIONES

Este trabajo es incipiente por lo que se recomienda:

Realizar otras investigaciones donde en la operación de tostación se consideren como variables dependientes: contenidos de carbonato de sodio y óxido de calcio, fijar el nivel superior de los valores de temperatura de tostación entre 1150,00 y 1250,00 °C. Introducir en la lixiviación como términos independientes: temperatura y presencia de álcalis en el agua (es decir utilizar agua ligeramente alcalinizada); mantener las relaciones líquido/sólido en los valores evaluados. Además, tener presente la recuperación de Al y el comportamiento del SiO₂.

Dirigir acciones de investigación encaminadas a evaluar y minimizar el problema ecológico que representa la industria del cromo, es decir la carga de aguas residuales debido a su elevado contenido de cromo y desarrollar todas las posibilidades tecnológicas existentes para reducirlo a valores aceptados por las normativas ambientales internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- ARIZA, S. B.(a). Lixiviación química de las colas producto del proceso carbonato-amoniaco con ácidos orgánicos. [Universidad de Oriente], Santiago de Cuba. (Tesis de Master en Ingeniería Química), 2004, 108 p.
- ARIZA, S. B.(b); SALAZAR, Y.I.; CAPOTE, N. F. Lixiviación química de las colas producto del proceso carbonato-amoniaco con ácidos orgánicos, en Tecnología Química, Vol. XXIV, No. 3, 2004, pp. 32-37.
- ARCOS S. MA. E., et al.; "Transporte, destino y toxicidad de constituyentes que hacen peligroso a un residuo"; cuadernos de investigación N° 2; pág. 57; CENAPRED; México, Marzo de 1994.
- BATH F. P. Chromium in South Africa. Journal of the Institute of Mining and Metallurgy. (?) 340-360. March, 1968.
- BALLESTER A, F GONZÁLES, M BLÁZQUEZ: Biolixiviación de menas naturales. Posibilidad actual de utilización. Revista de Metalurgia. Vol. 24, #2,1998:pp. 91-101.
- BUSTAMANTE, M. S.; SAMALEA, G. M.; CHACÓN, J. Tecnología Química, Vol. XIX No 3, 2007, pp.
- CATHY G, FALCÓN, LEYVA E, GUERRA A. Estudio para el posible empleo de las colas de Nicaro en la obtención de concentrado de cromita. Boletín Siderurgia #2, CIS, Nicaro, 1990 a.
- CARTHY G. Tecnología de obtención de concentrado de cromita a partir de las colas de Nicaro. Inf. Inv. CIS. 1990 b.
- CARTHY G.; LEYVA E.; et. al. Procedimiento para la obtención de concentrado de cromita a partir de las colas de la tecnología carbonato-amoniaco. Certificado No 23316. La Habana. 2008.
- CHANG C.A.R.: "Conferencia Internacional de aprovechamiento de recursos minerales: CINAREM 2000", ISMM, Moa, en archivo de CEDINIQ, Nicaro.
- COELLO A. "Curso de preparación mecánica de menas y minerales". ISMM, Moa, 1999. 20p,

COLECTIVO DE AUTORES UH. Análisis de regresión y series cronológicas. La Habana. 2003.

DEL TORO A. Lixiviación de residuales sólidos de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” utilizando el sulfato de hierro II como agente reductor y ácido sulfúrico para lixiviar. [ISMM], Moa, Cuba. (Trabajo de Diploma). 2001, 98 p.

FERNÁNDEZ E. Y C. MORA “Estudio preliminar de la lixiviación ácida de los residuos sólidos de la lixiviación alcalina de las lateritas”. Minería y Geología. Vol. 1/No 1. Moa, Cuba. (1992).

FERNÁNDEZ. J. A. Informe final sobre la explotación detallada del depósito de las colas de Nicaro. Emp. Geol. Sgto. de Cuba. 1979.

FERREIRO, G. Y.; Evaluación experimental de la recuperación de cobalto con ácido orgánico a partir de las colas de la empresa Rene Ramos Latour de Nicaro, ISMM, Moa Cuba (Trabajo de Diploma). 2001, 98 p.

FERREIRO, G. Y.; Determinación de la ecuación de regresión que rige el proceso de extracción de cobalto a partir de las colas de la tecnología carbonato amoniacal utilizando un ácido orgánico como agente lixivante. Revista Ciencias Holguín. [Vol 13, No 3 \(2007\)](#) [Consulta; 11 de enero de 2013].

FERREIRO, G. Y.; LEYVA, R. E.; LEYVA, G. O. Evaluaron experimental de la recuperación del cobalto con ácido orgánico a partir de las colas de la empresa "René Ramos Latour" de Nicaro. Nicaro. Revista Ciencias Holguín. [Vol 13, No 3 \(2007\)](#) [Consulta; 11 de enero de 2013].

FERREIRO, G. Y.; SANTIESTEBAN D. E.; LEYVA, R. E. Estudio de las regularidades físico químicas de la lixiviación del magnesio presente en las colas de la fábrica de níquel René Ramos Latour de Nicaro. Revista Ciencias Holguín. [Vol 11, No 4 \(2005\)](#) [Consult; 11 de enero de 2013].

GARBEY A. Recuperación de cobalto a partir de las colas de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” mediante el uso de mezclas de ácidos oxálicas y tartáricas. [ISMM], Moa, Cuba. (Trabajo de Diploma). 2005, 94 p.

GARRIDO-RODRÍGUEZ, M.; COELLO-VELÁZQUEZ, A. L.; IZAGUIRRE-BONILLA, C.

Tratamiento alcalino de las cromitas de baja ley. Minería y Geología. Vol. 13, No. 2, p. 27-28, jul. 1996.

GIRALD, G. O; PENEDO, M.M.; FALCÓN, J. H; ARIZA, S.B. Comportamiento de la extracción y Selectividad de níquel y cobalto de colas Amoniacaes con ácido piroleñoso de bagazo de caña, en Tecnología Química, Vol. XXX, No. 2, 2010, pp. 58-66.

HERNÁNDEZ B. M. "Holguín puede impulsar crecimiento económico". [En línea] <http://www.opciones.cu/cuba/2012-03-22/holquin-puede-impulsar-crecimiento-economico/> [Consulta: 10 de mayo de 2013].

HERRERA V. Reporte final sobre el estudio de la separación hidrometalúrgica del cromo en los minerales lateríticos. Inf. Tec.#4. Nicaro 1962.

HERRERA V. "Caracterización de los productos del proceso de beneficio de cromo a partir de las colas de Nicaro", Informe parcial CEADEN, C. Habana, 1991.

HERRERA V. et. al. Caracterización de los productos del proceso de beneficio de las colas de Nicaro a nivel de laboratorio ampliado, Inf. CEADEN, C. Habana, Cuba, 1994.

KASATKIN. A.G. Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1985. pp.204-207.

KIRK-OTHMER. Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 6; 4a edición; Ed. John Wiley and Sons; pág. 229, 1994.

LEYVA R. E, J. E. RODRÍGUEZ, J. ORTÍZ, "Estudio de la cromita contenida en las colas de Nicaro". Minería y Geología. Vol. 12, No 3: 49, Moa, Cuba, (1995).

LEYVA R. E, J. ORTÍZ, GUERRA Q. A."Cromitas del norte de Holguín Estado actual de las investigaciones. Minería y Geología Vol. XIV, No 2: 69-71, Moa, Cuba, (1997).

LEYVA. R. E."Posibilidad de utilizar el concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro en la obtención de productos químicos". Conferencia de química, Sgto. de Cuba, U.O, 1999.

LEYVA. R. E. et. al. Repercusión Social del Desarrollo de una Tecnología para la

Obtención de Concentrados de Hierro y de Cromita a partir de Residuales de la Industria del Níquel. Revista Ciencias Holguín. [Vol 10, No 2 \(2004\)](#) [Consulta: 10 de mayo de 2013].

LÓPEZ P. R. Diseño estadístico de experimentos. de. Científico-técnica. La Habana. 1988.

MARTÍNEZ L. Lixiviación del sólido residual de la tecnología carbonato amoniacal con ácido sulfúrico y sulfato de hierro II como agente reductor. [ISMM], Moa, Cuba. (Trabajo de Diploma). 2007, 96 p.

MAUBERT F. R.; FERNÁNDEZ V. G. Minimización de la peligrosidad en plantas y talleres de cromado. CENAPRED. 1ª Edición. Impreso en México. 2001. Pág 6-8

MIKAMI M.H. "Chromite". Industrial minerals and rocks, vol. 1. 5th ed.: .567, Editorial Board, New York, (1983).

NIPPON STEEL Co. Study of Nicaro mailing pretreatment procedure. Inf. Nippon Steel Corporation. Japan. 1977.

PETERS S. M.; K.D. TIMMERHAUS; WEST R. E. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Ed. McGraw Hill (2004)

PIPLANI P. D. "Recognition and Control of Chemical Hazards in Plating Operations"; Metal Finishing, edit. Elsevier; Tulsa, Oklahoma pagó 43; Noviembre 1993.

PONCE N. et. al. Estudio complejo de las colas de Nicaro. CIG, CNIC, C. Habana, 1983.

RAMÍREZ Y. Recuperación de cobalto a partir de los residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniacal empleando mezclas de ácido orgánicos oxálico y tartárico. [ISMM], Moa, Cuba. (Trabajo de Diploma), 2002, 98 p.

ROJAS, V. A.: "Metodología perfeccionada para determinar el Extractable de Ni y Co en la lixiviación carbonato-amoniacal". [Universidad de Oriente], Santiago de Cuba. (Tesis de Master en Ingeniería Química), 2007, 108 p.

ROJAS P. A.; TURRO B. A. Minería y Geología, ISSN 0258 5979, Nos. 3-4, 2003.

ROY T. Aprovechamiento Integral de las lateritas de Pinares de Mayarí. Inf. Tec. #1. 1967.

SANTIESTEBAN E. Perspectiva para el desarrollo en Cuba de las ferroaleaciones base cromo, manganeso y níquel, congreso Metalúrgico-METANICA'99 (5: 1999: La Habana): Antillana de Acero, 1999.

TREYBAL E.R. Operaciones de transferencia de Masa. Editorial Mc Graw-Hill, Segunda edición 2002. pp721-723.

ZEHNDER, A.J.B. (1995) "Fundamentals, Risk Assessment and Legislation"; Proceedings of the Scope Workshop on Soil and Groundwater Pollution; Kluwer Academic Publishers; Netherlands.

CROMATO Y DICROMATO, PROPIEDADES QUÍMICAS, APLICACIONES, PRESENCIA NATURAL Y PRODUCCIÓN, SEGURIDAD. [EN LÍNEA] [HTTP://CENTRODEARTIGOS.COM/ARTICULOS-ENCICLOPEDIOS/ARTICLE_86410.HTML](http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos/article_86410.html), [CONSULTA: 10 DE MAYO DE 2013].

Cromo. [En línea] <http://es.wikipedia.org/wiki/Cromo> [Consulta: 20 de mayo de 2013].

Cromita. [En línea] <http://www.ecured.cu/index.php/Cromita> [Consulta: 20 de mayo de 2013].

Cromita. [En línea] http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos/article_86410.html Consulta: 20 de mayo de 2013].

Curtido de pieles. [En línea] <http://www.cueronet.com/flujograma/curtido3.htm> [Consulta: 12 de junio de 2013].

Diseño de equipos e instalaciones. Tema 2. Estimación de costes y rentabilidad de equipos. [En línea] http://web.usal.es/~tonidm/DEI_02_Costes.pdf [Consulta: 14 de junio de 2013].

ANEXOS

ANEXO 1

Relación de óxidos presentes en la cromita y en el mineral.

Comp.	No 1		No 2		No 3		No 4		No 5		No 6		No 7	
	Crom*	Min*	Crom*	Min*	Crom*	Min*	Crom*	Min*	Crom*	Min*	Crom*	Min*	Crom*	Min*
Cr ₂ O ₃	47,41	44,52	36,24	32,10	61,44	54,91	57,70	47,00	58,32	48,50	55,90	49,19	50,17	42,02
Al ₂ O ₃	14,82	15,50	31,86	30,20	11,41	9,92	13,44	12,65	11,06	10,01	11,92	11,37	18,16	12,03
Fe ₂ O ₃	9,21	-	2,97	-	-	-	3,42	-	4,10	-	2,18	-	2,07	3,55
FeO	16,85	-	11,32	-	12,53	-	11,66	-	11,10	-	18,80	-	17,69	23,05
Fe _i	25,26	24,72	13,99	2,72	12,41	-	14,70	11,93	14,75	13,28	18,27	-	16,03	19,00
MgO	11,40	10,10	17,10	18,06	13,66	14,92	13,29	15,46	14,23	18,83	10,36	12,35	11,31	11,71
CaO	0,30	-	0,44	-	0,70	-	1,77	-	0,40	-	0,48	-	-	-
SiO ₂	2,24	-	5,00	-	5,02	-	5,71	-	6,94	-	6,58	-	3,69	-
TiO ₂	0,41	0,43	0,38	0,30	0,17	0,20	0,39	0,32	0,06	0,05	0,76	0,67	-	-
MnO	0,09	0,07	0,11	0,08	0,16	0,14	0,24	0,06	0,15	0,12	0,30	0,26	-	-
NiO	-	-	0,12	0,10	-	-	-	-	0,20	0,18	0,09	0,08	0,35	-
V ₂ O ₅	0,33	0,30	-	-	-	-	-	-	0,07	0,05	0,18	0,16	-	-
Cr/Fe	1,67	1,58	2,30	2,22	4,31	3,90	3,45	3,47	3,45	3,25	2,37	2,37	2,12	1,51

Crom *. – Cromita, Min * - Mineral o Concentrado., Comp.- Compuestos.No 1- Transval Steelport. 2- Philippine Masinloc. 3- Kemmpirsai (USSR). 4- Selukwe, Zimbabwe. 5- Turkish. 6- Great Dyke. 7- Colas Nicaro.

ANEXO 2

8. Cromo (Cr)

Números de identificación:
ICSC # 0029

CAS # 7440-47-3

RTECS # GB4200000

TIPOS DE PELIGRO	PELIGROS/SINTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1L	2G	3H
Explosión	4F	5A	

EXPOSICIÓN			
Inhalación		7C	
Piel		9A	10C
Ojos	14B	12A	13A
Ingestión	15B	16A	17A
	17A	18B	19D

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20B	21A	

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA
24B	25A	26A	27B

Estado Físico; Aspecto: Polvo metálico.

Peligros químicos: Reacciona violentamente con peróxido de hidrógeno, ácidos y oxidantes

fuerteres, originando peligro de incendio y explosión.

Límites de exposición laboral: TLV 0.5 mg/m³ (como TWA).

Propiedades físicas:

Punto de ebullición = 2642 °C

Punto de fusión = 1900 °C

Densidad relativa (agua = 1): 7.1.

Solubilidad en agua = ninguna.

Notas: No aparecen en la bibliografía los límites de explosividad. No llevar a la casa la ropa de trabajo.

ANEXO 3.

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

CAS

Resumen químico de ayuda. Por sus siglas en Ingles: Chemical Abstract Service.

ICSC

Fichas Internacionales de Seguridad Química. (International Chemical Safety Cards).

PNUMA

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RTECS

Control de la Emisión de Sustancias Tóxicas Liberadas. (Release Toxics Emission Control Substances).

TLV

Valor límite umbral. (Threshold Limit Value). Límite fijado en base a experimentaciones con animales de laboratorio o menos frecuente, en base a estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos ocupacionalmente a una determinada sustancia química.

STEL

Valor de exposición corta. (Short Term Exposure Limit). Es un limite intermedio de concentración de sustancias químicas en el aire de los lugares de trabajo.

OSHA

Administración Ocupacional de Salud y Enfermedad. (Occupational Safety and Health Administration).

NIOSH

Instituto Nacional de Salud y Enfermedad Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health).

USEPA

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica.

OMS

Organización Mundial de la Salud.