



MX0500360

Elaboración de materiales de construcción a partir de residuos mineros, propiedades y perspectivas

Vite Torres Jaime*, Vite Torres Manuel, Díaz Calva Andrés

Tel. (01|-55)53-29-72-00 Ext. 2631, Fax. (01-55) 5329-7332

Resumen

La introducción en 1887⁽¹⁾ del proceso de lixiviación de metales, utilizando el cianuro de sodio, revolucionó las técnicas para la obtención de oro y plata. A partir de entonces es un método utilizado en todo el mundo para la recuperación de éstos y otros metales. La actividad minera genera los residuos sólidos conocidos popularmente como jales (voz náhuatl derivada del xalli, que significa arena). Un caso importante, es lo relacionado con aquellos jales, cuyo contenido de pirita (FeS_2) es elevado y por ende están sujetas a reacciones químicas, ocasionadas por el intemperismo en jales. Ante este panorama, es importante procesar los jales para utilizarlos para la construcción.⁽²⁻⁷⁾

Introducción

En el ININ se ha logrado la eliminación total del cianuro, se obtuvieron materiales de construcción como ladrillos y celosías, las cuales triplican en resistencia a la ruptura, comparado con los ladrillos convencionales, de acuerdo a la normativa Mexicana NOM-C-IDI, así mismo el por ciento de absorción en el material obtenido es menor (cerca del 17.1%) que el exigido por la norma NOM-C-101, cuyo valor máximo es de 25%. La evaluación consistió en la medición de las siguientes características:

1. Prueba de densidad relativa aparente (De acuerdo a la norma ASTM D 2049-69)
2. Prueba de absorción (Según la norma ASTM C 97-47)
3. Prueba de límite líquido (Según la norma ASTM 423-66)
4. Prueba de límite plástico (Según la norma ASTM 424-59)
5. Granulometría (Según la norma ASTM D 422-63)

Pruebas mecánicas:

1. Resistencia a la compresión (Según las normas ASTM C 170-50 y la ASTM C-36)
2. Pruebas Tribológicas. Se planea realizar las siguientes pruebas tribológicas con los materiales que se obtengan:

- a) Prueba de Resistencia al Desgaste Adhesivo de acuerdo a la norma ASTM G99
- b) Prueba de Resistencia al Desgaste Abrasivo de acuerdo a la norma ASTM G105 (Condición Húmeda)
- c) Prueba de Resistencia al Desgaste Abrasivo de acuerdo a la norma ASTM G65 (Condición Seca)

Metodología

Análisis cualitativo y cuantitativo

La técnica que se utilizó para determinar los elementos presentes en la muestra, será a través de Fluorescencia de Rayos X. Para este análisis se hace necesario un sistema de excitación y otro de detección. El primero consiste en varias fuentes puntuales de Fe-55; Cd-109, Pu-238, cuyo tamaño varía alrededor de 1 cm de diámetro. El segundo aspecto, es el detector que es un semiconductor de silicio – litio, cuya función es la absorción de la radiación que causa ionización, la cual crea una cantidad de energía libre, que es proporcional a la energía depositada por la partícula incidente. Este proceso es una carga que se manifiesta en forma de pulso. La proporcionalidad entre la carga y la energía depositada, es la clave para la medición del espectro. Los análisis por este método generalmente son semicuantitativos o cualitativos para muestras sólidas y líquidas.

Para el estudio cuantitativo se utilizó la técnica de Espectrometría por Emisión de Plasma. La Espectrometría por emisión mide los átomos en estado excitado, en

este proceso es necesario utilizar un sistema monocromador capaz de seleccionar las líneas de emisión características del elemento que se desea medir. En esta técnica, el plasma se inicia mediante una descarga de chispa. Una fotocelda detecta esta llama y pone en marcha el dispositivo automático de sintonización de impedancia entre el generador y la antorcha; un nebulizador automático convierte la muestra líquida en aerosol, que pasa a través de una cámara de condensación donde se eliminan las gotas y finalmente se introduce a la antorcha de plasma.

La radiación característica es dispersada por una red de difracción en sus líneas espectrales. La rotación de esta red de difracción, dirigida por un motor de pasos controlados por un ordenador, permite la selección de la longitud de onda deseada y el examen de líneas espectrales secuencialmente. Las intensidades de las líneas pueden convertirse por medio de un receptor optoeléctrico en una tensión eléctrica que es proporcional a la concentración del elemento analizado.

Asimismo se realizó la técnica de Absorción Atómica a cuyo equipo se adaptará un dispositivo generador de hidruros el cual se utiliza específicamente para detectar As y Hg de los desechos.

La Espectrometría por Absorción Atómica es una técnica que comprende los siguientes aspectos. En esta técnica la muestra líquida se introduce en la flama en forma de aerosol o sea, un bruma o neblina de gotas minúsculas, conforme las gotas llegan a la flama, se disolvan y producen pequeñas partículas. Después el sólido se disocia para producir los átomos del metal. Todas estas etapas deben suceder en una distancia de unos cuantos centímetros al tiempo que las partículas de la muestra son impulsadas por la base de la flama. Esta técnica es primordial para los estudios en donde se determina vestigios de metales en muestras biológicas o del medio ambiente. En el caso de la determinación de As y Hg, es una técnica más sensible aun, que la de espectrometría por emisión de plasma, adaptándole un generador a hidruros.

Se utilizó la técnica por Difracción de Rayos X con el objeto de identificar la composición de la matriz química así como los elementos o aleaciones metálicas o minerales presentes.

El equipo se basa en la ley de Bragg que establece que debe cumplirse para que exista la difracción. Las variables que están involucradas con la radiación electromagnética, esto es, los Rayos X de una cierta longitud de onda, los planos de un material sólido cristalino, espaciados a una distancia "d" y el ángulo con el que llegan los Rayos X al material.

Se utilizó la técnica por Difracción de Rayos X con el objeto de identificar la composición de la matriz química

así como los elementos o aleaciones metálicas o minerales presentes.

El equipo se basa en la ley de Bragg que establece que debe cumplirse para que exista la difracción. Las variables que están involucradas con la radiación electromagnética, esto es, los Rayos X de una cierta longitud de onda, los planos de un material sólido cristalino, espaciados a una distancia "d" y el ángulo con el que llegan los Rayos X al material.

Objetivos y alcances

El propósito del siguiente estudio de investigación fue:

a) Identificar y evaluar los elementos así como las posibles estructuras componentes de los residuos, con la finalidad de obtener los criterios de las características físicas y químicas de los mismos.

b) Determinar, evaluar y caracterizar los materiales obtenidos con el tratamiento desarrollado en el laboratorio, utilizando para ello normativa y nacionales e internacionales.

Pruebas físicas de los materiales obtenidos

Para completar los conocimientos sobre las propiedades de los materiales obtenidos para utilizarlos como materiales de construcción, es necesario determinar propiedades físicas tales como límite líquido, límite plástico, contracción lineal, humedad óptima, densidad, absorción, granulometría, peso volumétrico, equivalente de arena, etc. Esta información es de utilidad para proceder a sus aplicaciones prácticas en la industria de la construcción. Antes de llevar a cabo las pruebas mencionadas las muestras se preparan de la siguiente manera:

a) **Extracción de la muestra.** Una vez que extrae la muestra, se transporta al área donde se tratará. El peso mínimo de la muestra es de 42 Kg. Al ensayar cualquier muestra, siempre se debe secar, disgregar y cuartear, para que con esto se pueda obtener realmente una muestra representativa. Si el material está muy alterado, se recomienda hacer tantos cuarteos como sea necesario para una mejor calidad.

b) **Secado de la muestra.** La operación de secado de las muestras podrá ser al sol o al horno; En el primer caso se extiende la muestra sobre una superficie horizontal lisa y limpia de polvo para que sea más fácil de maniobrar, evitando pérdida de finos así como la contaminación con material extraño.

Se remueve periódicamente la muestra con un jalador o rastrillo de un lado a otro para que pierda humedad el material y se seque a la temperatura ambiente. No deberá secarse a temperaturas elevadas porque se podrá alterar

las características del material tales como su plasticidad y su contenido de materia orgánica.

c) **Disgregado.** La disgregación tiene por objeto separar las partículas que forman la muestra cuando contiene grumos, esta operación es realmente fácil cuando son materiales no cohesivos, granulares poco cementados, aumentando su dificultad a medida que va siendo mayor la cementación.

d) **Cuarteo.** Después del secado y disgregado, se homogeniza la muestra formando un cono por traspaleo del material, dejando caer este en forma circular, sobre el vértice del mismo, para evitar su segregación. Posteriormente se trunca dicho cono girando una pala sobre el vértice a una altura de 15 cm y se cuarteo la muestra con una regla metálica procurando perder la menor cantidad de finos, siempre del centro del cono, hacia fuera para obtener en cada cuarteo una cantidad de material que se aproxime lo mejor posible a una cuarta parte de la muestra original. Cuarteada la muestra se lleva a cabo la ejecución de pruebas físicas. El material se tomo de dos cuarteos opuestos con un cucharón del centro hacia fuera.

Resultados experimentales

Para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron dos muestras, una de ellas fue de jales recientemente procesados y la otra de jales establecidos en el lugar de muestreo por 3 meses atrás.

| Tabla 1. Concentración de materiales y CN [*] contenidos en la matriz de los desechos sólidos provenientes de la *CN Industria Minera | |
|--|-----------------------|
| Elemento | Concentración (mg/Kg) |
| Au | <0.500 |
| Pb | 109.5 ± 5.4 |
| Ag | 1.62 ± 0.5 |
| Mn | 1920 ± 5 |
| Zn | 168.3 ± 3 |
| Al | 4813 ± 50 |
| Fe | 5070 ± 70 |
| Ti | 360 ± 15 |
| Mg | 733 ± 30 |
| Ca | 2750 ± 50 |

* CN-. En este caso se utilizó una técnica instrumental, detectándose una concentración de 0.55% de Cianuro, este fue encontrado únicamente en jales recientemente procesados.

Para eliminar la presencia de Cianuro se utilizaron columnas termostatizadas acopladas, se consiguió su total eliminación a pH de 7 con temperatura de 25 °C, con la presencia de 0.1 M de Hipoclorito de sodio y con un tiempo de tratamiento de 1 hora⁽⁸⁻¹⁰⁾.

Tamaño de partículas en sólidos de acuerdo a la norma ASTM-D422-63

Se designó como la muestra 1, a los jales recientemente procesados y la muestra 2 a la muestra antigua.

El tamaño de partícula permite la determinación cuantitativa de partículas en sólidos. En esta norma la determinación de partículas mayores de 75µm es determinado por tamizado y de las partículas menores de 75µm son determinadas por sedimentación.

Peso Volumétrico

El concepto de peso volumétrico, aplicado a materiales heterogéneos o discontinuos (concreto, arenas, mercancías, etc.), se utiliza para estimar el peso medio por unidad de volumen de materiales que integran un conjunto estructural, con el que se realiza una construcción.

Prueba de Densidad Relativa Aparente (De acuerdo a la Norma ASTM D2049-69)

La densidad aparente de un suelo es la relación entre la masa de muestra (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan. La densidad puede servir para calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas.

Si comparamos las densidades absolutas de dos cuerpos, se obtiene el concepto de densidad relativa. Como el cuerpo o material que sirve de comparación debe ser el que tenga una densidad absoluta bien conocida, se escoge siempre el agua como elemento de comparación, cuya densidad absoluta a 4 °C es la unidad.

Prueba de Absorción (Según la norma ASTM C 97-47)

El objetivo de la prueba consistente en determinar la cantidad de agua absorbida por la muestra, la cual se deja saturar durante 24 horas dentro de un recipiente con agua. Transcurrido es tiempo se extrae la muestra de agua y se seca superficialmente con un paño absorbente, ligeramente húmedo.

Prueba de Límite Líquido (Según la norma ASTM 423-66)

El límite líquido es un porcentaje de humedad que se para el estado plástico de un suelo con menores niveles

de humedad y el estado viscoso o líquido del suelo con mayores niveles de agua.

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de agua (de una fracción de suelo) que pasa la malla No. 40.

Prueba del Límite Plástico (Según la norma ASTM 423-66)

El límite plástico es el porcentaje de humedad por abajo del cual el suelo tiene una consistencia blanda o friable y por encima del mismo una consistencia plástica.

El objetivo de esta prueba es determinar el mínimo contenido de agua de la fracción de material que pasa la malla No. 40, de tal manera que la muestra no se rompa o desmorone.

Prueba de Índice Plástico (Según la norma ASTM 424-59)

El objetivo de esta prueba es valorar rápidamente los datos sobre la calidad del material en cuanto a partículas plásticas y no plásticas, que pudieran evitar una cohesión adecuada en el material y que contribuyen en producir fracturas en el material elaborado.

Discusión

Los objetivos principales que se persiguen con estos elementos constructivos son: aligerar las construcciones, mayor aislamiento y facilidad de operación. Se escogen generalmente materiales inertes livianos. La fabricación puede llevarse a cabo mediante morteros y hormigones dosificados en forma conveniente, con consistencias fluidas, pastosa o seca, dependiendo del sistema que siga y la pieza por moldear.

a) **Preparación de la pasta:** Se preparan pastas de lodo con agentes aglomerantes como el cemento o la arcilla y se amasan con agua convenientemente sin exceder su plasticidad.

b) **Moldeo:** El moldeo se hace por compresión directa o por vibrado, con mortero u hormigón, los materiales han de estar prácticamente secos, si el proceso se realiza por colada, el material ha de estar más o menos fluido. Los procedimientos pueden ser manuales o mecánicos, dependiendo de la producción, costo y calidad del producto.

En nuestro caso utilizaremos el procedimiento manual debido a que las piezas elaboradas únicamente fueron para análisis de laboratorio. Se utilizaron moldes metálicos y de madera en caso de las celosías.

Nota: Cabe hacer mención en caso de las celosías no existe ninguna normatividad que indique las condiciones

de calidad que debe cumplir. Su fabricación se realizará en base al proporcionamiento de materiales que alcanzarán en un ladrillo las condiciones de resistencia óptimas. El procedimiento para su fabricación fué el mismo que se utilizó en ladrillos.

Pruebas mecánicas

Resistencia y la compresión según las normas ASTM C-170-50 y la ASTM C-36

Las pruebas de compresión requiere someter la muestra a una carga a compresión, hasta que se rompa o se fracture. Se pueden hacer pruebas de compresión en la mayoría de los materiales, en los cuales, en la mayor parte de los casos, se rigen por la norma ASTM C170-50. Entre los que podemos mencionar a los productos de cemento, concreto, caucho, madera, plástico y arcillas (cerámicos). Este ensayo consiste en la aplicación de una carga vertical variable al material, con el objeto de determinar si este cumple o no dicha carga de compresión preestablecida de acuerdo al tipo de material estudiado. La fabricación puede llevarse a cabo mediante morteros y hormigones dosificados en forma conveniente, con consistencias fluidas, pastosa o seca, dependiendo del sistema que siga y de la pieza por moldear.

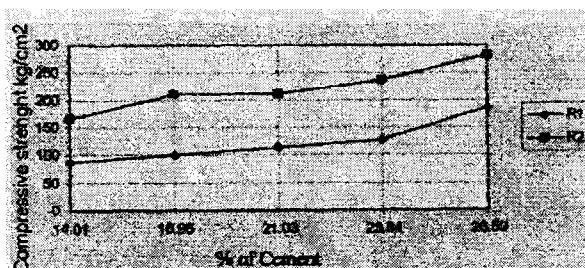


Fig. 1 Resistencia a la tensión de ladrillos elaborados de la muestra 1, con diferentes porcentajes de cemento.

R1= Resistencia a la tensión en la primera fractura

R2= Resistencia a la tensión por fractura total

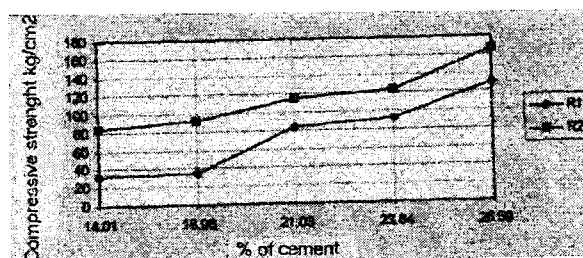


Fig. 2 Resistencia a la tensión de ladrillos elaborados de la muestra 2, con diferentes porcentajes de cemento.

R1= Resistencia a la tensión en la primera fractura

R2= Resistencia a la tensión por fractura total

Discusión

Los ladrillos obtenidos de la mezcla de jales recientemente tratados, cemento y agua, tuvieron excelentes propiedades físicas para ser usados en la industria de la construcción, dichas propiedades son: alta resistencia a la compresión, que los ladrillos convencionales, ya que se obtuvieron muestras que **resistieron entre 166.59 a 255.42 Kg/cm²**, mientras que para los ladrillos convencionales su resistencia a la compresión es de cerca de 100 Kg/cm². En los jales tratados con 3 meses previos a su procesamiento para la obtención de ladrillos, se obtuvieron valores entre 282.60 Kg/cm². Por otro lado el porcentaje de absorción de agua, también tienen ventajas los materiales obtenidos de jales, ya que los valores de absorción, variaron de 17 a 25.3% mientras que los ladrillos convencionales tienen valores superiores al 25%.

Así mismo en el análisis que se realizó para caracterizar las muestras utilizando la técnica de Microscopía Electrónica, se encontró que la composición multielemental de la muestra 1 fue de: O (52.16%); C (20.75%); Si (11.63%); Ca (9.62%); Al (2.06%); K (1.21%) y Fe (1.00%).

En la muestra 2 la composición fue la siguiente: O (52.4%); C (20.56%); Si (9.70%); Ca (9.29%); Al (2.31%); K (1.51%) y Fe (1.18%).

Estos materiales tienen una composición química similar, esto podría significar, que la diferencia en sus propiedades mecánicas son, debidas al arreglo estructural entre las partículas que conforman cada material.

Existen otros materiales como son residuos de Arenas de fundición de las empresas automotrices, o bien tierras diatomáceas provenientes de los filtros de prensa de diferentes procesos químicos, farmacéuticos o provenientes de la industria productora de alimentos, los cuales pueden mezclarse junto con los jales y agentes conglomerantes, ofreciendo un material ligero y resistente útil para la industria de la construcción.

Es menester también mencionar que este campo es muy promisorio y ofrece la posibilidad de obtener un valor agregado de los materiales elaborados.

Conclusiones

1. Utilizando las columnas termostáticas es posible eliminar completamente el contenido de Cianuro presen-

te en los jales recientemente procesados. Después de este tratamiento, el material sólido se seca, caracteriza y se procesa con agentes conglomerantes, cuyo resultado final ofrece un material con excelentes propiedades mecánicas para su aplicación en las industrias de la construcción.

2. Los ladrillos obtenidos, tuvieron excelentes propiedades físicas y mecánicas, como es una mayor resistencia a la compresión que los ladrillos convencionales.

3. El porcentaje de absorción de agua de los ladrillos obtenidos en el laboratorio y que son producto de la mezcla de jales, agentes conglomerantes y agua, fue menor en estos materiales (entre 17 y 25%) que la de los ladrillos convencionales, que tiene un promedio superior al 25%.

4. Existe una amplia variedad de posibilidades de utilizar jales en combinación con otros residuos sólidos para su aplicación en la industria de la construcción o para la elaboración de material cerámico.

Referencias

1. Li J. and Wadsworth E.M. *Electrochemical study of silver dissolution in cyanide solutions* J. Electrochem. Soc. 140,7,1921-1927,1993.
2. Shrikhande V, *Sulfur control at the mold/metal interface of cast ductile iron*. Mod. Cast 85,44, 1995.
3. Shah D.B *Lead removal from foundry waste by solvent extraction*. J. Air waste Manage Assoc 45, 150-5 1995.
4. Leidel D.S. *Sand reuses: user requirements*. Mod. Cast 83, 38-9, 1993.
5. Salyer R.K. *Perils of oil contamination*. Mod. Cast. 82, 38, 1992.
6. Morley J.G. *Green sand and the environment:the european scene* Mod. Cast. 81, 38-40,1991.
7. Turkley W, *Pro-active stance on environmental safety rules urged*. Rock. Prod. 95,35, 1992.
8. Vite J. *Apparatus and process for extracting metal values from foundry sands*. U.S. Patent 5, 356, 601, 1994.
9. Vite J. *Apparatus and process for extracting metal values from foundry sands*. U.S. Patent 5, 376, 000, 1994.
10. Vite J. Vite M., and Carreño C. *Leaching of heavy metals of industrial dangerous wastes through Thermostatted Columns and design of a pilot plant*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 14, 101-110, 1998.