

# Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas

Recibido: 00/00/10 Aceptado: 00/00/10

<sup>(1)</sup>Alfonso A. Romero

<sup>(2)</sup>Silvana L. Flores

## RESUMEN

El presente paper hace referencia al reuso de relave mediante la forma de un agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y agregados de construcción. Actualmente, existe una enorme relavera en Ticapampa que pertenece a la Cía. Minera Alianza que fue construida a orillas del río en el km 170 y paralela de la carretera asfaltada Pativilca Huaraz, la cual tiene una dimensión de 750 X 200 metros con una altura máxima de 19 metros, que constituye un pasivo ambiental minero de grandes proporciones, por el enorme volumen que ocupa en el área aledaña a la cuenca media del río Santa.

Es en ese sentido, que surge la necesidad de formular soluciones frente a este tipo de problemática ambiental existente a nivel nacional y se desarrollaron varios proyectos de investigación en la zona de Ticapampa, a cargo de un grupo de investigadores de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, que proponen resolver este tipo de problema nacional, mediante la alternativa de solución que propone dar valor agregado al relave mediante el reuso de relave bajo la forma de un agregado de construcción que constituye la materia prima para la fabricación de agregados de construcción.

**Palabras clave:** Agregados de construcción, relave, ladrillos, baldosa.

## REUSE OF MINING TAILING AS RAW CRUDE FOR THE ELABORATION OF AGGREGATES OF CONSTRUCTION FOR THE MAKING OF BRICKS AND TILE

## ABSTRACT

The present paper treats about the reuse of the tailing through the shape of an aggregate of construction for the making of bricks and aggregates of construction. Actually, there is a huge tailing pond in Ticapampa which belongs to the Mining Company Alianza, which has been built near the shore of the Santa river in km 170 and it is parallel to the highway Pativilca-Huaraz, which has a dimension of 750 X 200 meters and it has 19 metres high, which constitute an environment mining passive of high proportions by the huge volume that has been located near to the area of the Santa River Basin.

In that sense, there is a need of formulating solutions for this sort of environment problem which is a national concern and that was the main reason for developing many projects of research at The Ticapampa zone, in charge of a group of researchers from La Universidad Nacional Mayor de San Marcos, who proposed give an added value to this tailing through the reuse of the tailing under the shape of an aggregate of construction which constitute the raw crude for the elaboration of aggregates of construction.

**Keywords:** Aggregate of construction, tailing, brick, tiles.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló para formular y proponer una alternativa de solución a la problemática ambiental nacional crítica, mediante la aplicación de un valor agregado de manera directa al relave, que permita el reuso de relave bajo la forma de agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas.

Puesto que dar solución a esta problemática ambiental es de suma importancia, debido a que actualmente, el Perú tiene alrededor de 450 minas polimetálicas en estado de abandono, denominados pasivos ambientales mineros, cada uno de ellos actualmente representa una alteración al medio físico con el riesgo permanente de contaminación ambiental, generando un impacto visual negativo y la continua contaminación producida por efectos climatológicos del medio físico circundante. Esta alteración al medio físico se ve afectada en sus tres componentes principales como son el agua, el suelo y el aire; solamente en la cuenca del río Santa.

En Ancash existen aproximadamente 55 pasivos mineros ambientales, cada uno con sus respectivos relaves polimetálicos del proceso de concentración de minerales sulfurados por concentración físico química.

Por lo menos ocho de los ríos principales en el Perú están afectados por altos niveles de cianuro y/o metales, incluyendo cobre, plomo, zinc, cadmio, arsénico, níquel, y mercurio (Dirección General de Asuntos Ambientales-DGAS, 1992).

Algunos de estos ríos son también afectados por contaminantes que no están relacionados a la minería, tales como los coliformes y nitratos, incluyendo el Rímac que es la única fuente de agua de beber para 8 millones de habitantes en Lima.

Esta situación se agrava al existir minas abandonadas que tienen relaves mineros sulfurados, y a ello debemos añadir que las minas que actualmente están funcionando son más de 200 que se encuentran operativas y que diariamente generan aproximadamente 100 mil toneladas de relaves mineros polimetálicos que provienen de concentrar minerales de plomo, cobre y zinc.

1 Docente de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
E-mail: aromerob@unmsm.edu.pe

2 Docente de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
E-mail: sfloresc@unmsm.edu.pe

Asimismo, se han realizado estudios de relaves mineros abandonados de este tipo y con características similares, llegando el volumen acumulado que hacen un total de unos 4 millones de metros cúbicos únicamente en el relave minero abandonado de Ticapampa que por su ubicación reconstituye en un alto riesgo de contaminación a la población de las ciudades como Ticapampa y Recuay [Ministerio de Energía Y Minas, Perú (1995)].

Los residuos actuales aparecieron como consecuencia del proceso de concentración de los minerales sulfurados por flotación; como la galena, la blenda, la pirita argentífera, entre otros, dichos residuos se encuentran en cantidades considerables y actualmente están fuera de control ambiental óptimo.

Por ejemplo, como en muchos lugares de la cuenca del río Santa que son afectadas por la contaminación minera, todo esto se debe a la falta de recursos económicos para su estudio y evaluación del comportamiento de los metales pesados y su tratamiento correspondiente con tecnologías que permitan controlar la permanente contaminación a través de los metales pesados que se encuentran en cada uno de éstos relaves y que por acción meteorológica van contaminando el medio físico circundante.

La parte experimental de este estudio se realizó mediante el diseño experimental de los agregados de construcción con la realización de los ensayos de obtención de los agregados propiamente dichos y de la obtención de ladrillos y baldosas, a partir de dichos agregados, todos los cuales se realizaron a nivel de Laboratorio, en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones Multidisciplinarias de la Escuela de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Nuestro propósito fue establecer una metodología del procedimiento experimental para la elaboración de los agregados de construcción, el cual constituirá la materia prima para la fabricación de ladrillos y baldosas, teniendo como materia prima al relave.

Cabe resaltar, que este estudio tuvo como finalidad, el establecimiento de las técnicas estándar de la fabricación de ladrillos y baldosas, que ofreciera una serie de ventajas en la industria de la construcción civil.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

### Relaves

Residuos "No Valiosos" provenientes de la minería y el procesamiento de mineral. Como el material es

mayormente fino y húmedo, debe ser almacenado en botaderos de residuos industriales.

Los relaves deberán ser depositados en terrenos de relleno que han sido sellados empleando botaderos. Si una morfología favorable no está disponible, los relaves pueden también estar rodeados en todas partes por los botaderos [1].

### Residuos sólidos mineros [2]

Los residuos sólidos mineros, que resultan del proceso de flotación de minerales polimetálicos en las plantas concentradoras de las minas son conocidos en la minería como **relaves mineros**, existiendo estos en sus dos modalidades, como pasivos mineros y activos mineros.

#### Pasivos mineros

Los pasivos ambientales mineros involucran tanto los socavones o labores mineras, así como los botaderos (escombreras) y los relaves (presas de colas) de minas que dejaron de operar o en abandono, siendo los **relaves mineros abandonados**, en forma específica, los que generan las siguientes alteraciones en el medio físico (medio ambiente):

- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Contaminación de suelos de la zona de influencia de estos depósitos.
- Impacto visual negativo.
- Riesgo continuo de daños al ecosistema frente a los desastres naturales.
- Presencia de metales pesados en el medio físico.

#### Activos mineros

Los activos mineros, en forma específica, los relaves del proceso de flotación de minerales polimetálicos, son aquellos relaves mineros de minas en operación, sólo una de las minas en el Perú produce 25,000 toneladas diarias, lo que hace al mes 750 mil toneladas y al año 9 millones de toneladas que pasan a formar parte del relave minero de minas en operación [Ministerio de Energía y Minas, Perú (1995)]. Este residuo sólido minero proviene únicamente de una sola mina, como existen más de 150 minas en operación, Actualmente, esta cifra se eleva a 900 millones de toneladas de residuos mineros en forma anual y creciente.

### **Agregado de construcción [2]**

El presente estudio se refiere a la obtención del agregado de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos para fabricar ladrillos o baldosas. Es por ello, que el agregado mediante la metodología de la investigación realizada, se estableció las técnicas de fijación y microencapsulación de los metales pesados en los relaves mineros, que tiene como propósito estabilizar a los metales peligrosos y contaminantes que se encuentran en los relaves, anulando el proceso natural de disponibilidad y movilidad de los metales pesados que se caracterizan por causar contaminación cuando están en estado inestable y por lo tanto migran hacia al medio físico (suelo y agua).

### **Encapsulamiento [2]**

Conocido también como fijación química, es un proceso a través del cual se inmoviliza e insolubiliza a los metales pesados, este efecto se logra a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento.

Los procesos de encapsulamiento en relaves no son conocidos, sin embargo el encapsulamiento en escorias es conocido tal como se ha desarrollado en algunos países como Colombia y Chile, se han elaborado materiales como el ladrillo y baldosas pero a través de escorias que son materiales de la industria de la fundición [2].

En el Perú, se han elaborado estudios para la obtención de ladrillos a partir de lodos, el caso más conocido es el de la compañía Buenaventura, quienes realizaron el diseño y elaboración de ladrillos a partir de los lodos de empozamiento del proceso metalúrgico.

La hidratación del cemento, se produce cuando se mezcla el cemento con  $H_2O$  los silicatos y aluminatos se hidratan, dando lugar una masa rígida y clara conocida con el nombre de cemento endurecido. Existen dos teorías de hidratación la De Chatelier, y la Micaselis [2].

La primera hidratación de chatelier está admitida para la hidratación de fases intersticiales y la formación de portlandita. Por su parte la teoría de Micaelis, denominada teoría coloidal está considerada para la hidratación de los silicatos de calcio.

Cuando se da lugar a la etapa de cristalización para formar un cristal de  $C_2S$  (di silicato de calcio), esta etapa se caracteriza por estar en contacto con el

agua, lo cual da lugar a que se forme inmediatamente alrededor de este grano, una capa de hidratos primarios más pobres en cal que el  $C_2S$ . De esta manera, al alcanzarse el límite crítico de solubilidad de la portlandita esta precipita y la solución se empobrece en calcio.

Dos factores influyen decididamente en la velocidad de hidratación: la finura de las partículas y la temperatura, puesto que la reacción tiene lugar a través de las superficies en contacto con la solución una mayor finura del cemento, y por tanto un aumento en la superficie específica, tiende a acelerar la hidratación.

### **Microencapsulación con sílice [2]**

Es un proceso de tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva efluentes, aguas y otros líquidos y también residuos sólidos, suelos, sedimentos y relaves contaminados.

Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante el recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

### **Proceso de microcristalización de los metales pesados [2]**

Para establecer las condiciones de estabilización de los metales pesados a través de la microcristalización con el cemento andino que se caracteriza por poseer el silicato di y tri cálcico, este componente del cemento logra micro cristalizar a los metales pesados presentes en el relave.

Debido a la presencia de silicio ( $Si_2O$ ) en este tipo de relaves, el proceso de microcristalización es más efectivo, pues al entrar en esta nueva estructura cristalina se van formando silicatos y carbonatos en forma de arcillas que en el tiempo favorecen la consistencia del ladrillo.

### **Uso del cemento en el proceso de microcristalización [2]**

Cuando se mezcla el cemento con  $H_2O$  los silicatos y aluminatos se hidratan, dando lugar una masa rígida y clara conocida con el nombre de cemento endurecido. Según Chatelier, y la Micaselis, la primera está admitida para la hidratación de fases intersticiales y la formación de portlandita, mientras que hay controversias sobre sus aplicaciones en el caso de silicatos.

La cristalización es un proceso de tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva a los metales pesados en residuos sólidos contaminados. Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante el recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

### JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Mediante el presente artículo, se busca dar solución a la problemática ambiental minera de las relaveras de gran volumen, tal como el depósito de relaves “Alianza”, que esta ubicada en el Distrito de Ticapampa, cuyas dimensiones son de grandes proporciones, 750 X 200 metros con una altura máxima de 19 metros, ocupando un volumen de 5 millones de toneladas métricas de relaves [2]. Es por ello, que el depósito de relaves “Alianza” constituye un pasivo ambiental minero, desde que la compañía minera “The Anglo French Silver Minino Co”, inició operaciones en 1912, hasta la actualidad, puesto que la relavera tiene 98 años de existencia que contamina el medio ambiente.

Asimismo, la relavera de la compañía minera “Alianza”, constituye un problema ambiental, puesto que tiene una ubicación no adecuada y cuya operación sólo fue posible por alimentar los relaves por distintos puntos alternados y camuflar los rebales y deslizamientos de bordes por la corriente del caudaloso Río Santa, al que muchas veces se vertió relave de manera directa [3].

Es en ese sentido, que es importante promover la remediación de los pasivos ambientales mineros o mitigar hasta reducir el volumen de la relavera de la Compañía Minera Alianza, puesto que causa la contaminación del cuerpo de agua de la cuenca del río Santa, debido a la existencia de drenaje de la relavera que se determina por la variación de pH de la escorrentía superficial proveniente de éstos relaves, cuyo pH da un valor casi neutro, lo cual no indica que no exista movilidad de los metales pesados en el cuerpo de agua del río Santa, y prueba de ello se da por el alto contenido de metales pesados en este cuerpo de agua.

Asimismo, la interacción de relave con la cuenca del río Santa establece una interrelación Agua-Sedimento y/o relave en la cuenca superior del río Santa, que promueve la contaminación por sólidos y efluentes de las relaveras.

Como se sabe, este tipo de interacción promueve la generación de Drenaje Ácido de Roca (DAR). Es por ello, que los relaves y las rocas de mina son

probablemente las mayores fuentes del DAR en la mayoría de asientos mineros de la parte alta del Río Santa.

Por su parte, la contaminación ambiental química de una relavera principalmente ocurre como la movilización de metales pesados semejante a la alteración o desgaste debido a los procesos atmosféricos de materiales inorgánicos sólidos bajo condiciones exogénicas.

Por ello, es importante señalar que se debe **caracterizar y establecer procesos capaces de inmovilizar metales pesados de relaves y desechos de mina abandonados**, los cuales no sólo dependen de la física y química de los cuerpos hídricos, sino también y principalmente sobre la mineralogía de los cuerpos de la mena y rocas que lo hospedan, de tal manera que los efectos de contaminación son mejor descritos cuando cada elemento tóxico puede ser referido a fases mineralógicas específicas [4].

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El estudio involucra el estudio del reuso del relave como un agregado de construcción para fabricar ladrillos y baldosas así como la determinación de una metodología de trabajo que permita el establecimiento de técnicas estándares de la fabricación de ladrillos y baldosas.

Para el Desarrollo del proyecto, se tuvo en cuenta los siguientes materiales:

#### Materiales

- Relave
- Cemento
- Cal
- Agua destilada
- Malla Serie Tyler N.º 200
- Espátula
- Balde
- Molde para ladrillos
- Molde para baldosas
- Badilejo.

#### Pruebas experimentales

Cabe resaltar que se establecerá la siguiente metodología experimental, que a continuación se describirá:

- Procedimiento para la obtención de agregados de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos.
- Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción.

**Procedimiento para la obtención del agregado de construcción**

El proceso para la obtención del agregado de construcción, comprende los siguientes pasos:

- Caracterizar y determinar la calidad del relave, lo cual involucra los siguientes pasos:
  - Caracterizar geoquímicamente el relave;
  - Analizar granulométricamente;
  - Caracterizar físicoquímica;
  - Analizar químicamente;
  - Encapsular los metales pesados en el relave, preparando una mezcla con una proporción en peso del relave que representa del 70 al 90% del peso total del relave a encapsular, cemento que representa del 9 al 16% en peso del total del relave a encapsular, cal que representa del 1 al 10% en peso del total del relave a encapsular; agregar agua hasta obtener una mezcla coloidal y finalmente secar la mezcla.

**• Caracterización geoquímica del relave**

**Tabla 1.** Caracterización geoquímica del relave in situ.

Muestra	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd
P-190	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
	26.9	5.99	>10000	200	0.5	11	0.76	0.5

Muestra	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	K	La	Mg
P-190	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%
	3	13	112	6.53	10	2	10	0.51

Muestra	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb
P-190	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
	564	1	0.15	1	680	4970	1.67	221

Muestra	Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	Au
P-190	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	7	69	< 20	0.24	< 10	< 10	77	10	225	0.514

**• Análisis granulométrico**

El relave es de naturaleza polimetálica sulfurado, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico.

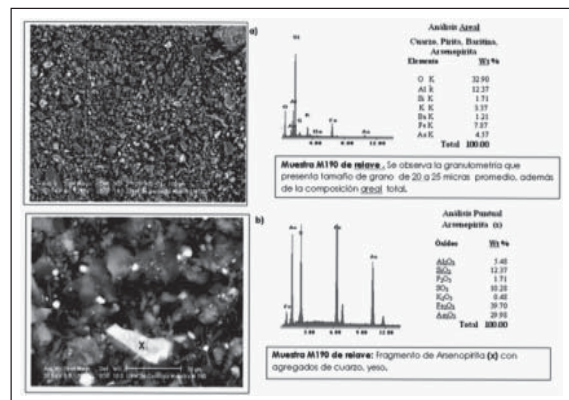
La granulometría del relave se divide en dos tamaños; por un lado se tiene un tamaño de partícula fina, de 74 micrones, y por otro, un tamaño de partícula gruesa, de 100 micrones, donde el relave posee una humedad con un valor de 10%; de esta manera, el tamaño de grano y el porcentaje de humedad son considerados como las condiciones óptimas del relave para poder someterlo a las pruebas de elaboración de agregados de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas.

**• Caracterización físicoquímica**

**- Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación de Ticapampa por microscopía electrónica de barrido.**

La caracterización se emplea para determinar la forma de cristalización, así como el grado de asociación de las diferentes especies minerales que se encuentran en las muestras del relave polimetálico de flotación.

La caracterización mineralógica por microscopía electrónica de barrido se realizó a las muestras de relave, que indicaron la presencia de altos contenidos de sulfuros tales como: galena, esfalerita, pirita.



**Figura 1.** Caracterización mineralógica de relave por microscopía electrónica de barrido

**- Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X.**



Se ha realizado los análisis por difracción de rayos X y microscopía electrónica de muestra de los relaves, determinándose la siguiente mineralogía:

**Tabla 2.** Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X.

Mineral	Fórmula	%
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	80.82
Muscovita	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	5.15
Jarosita	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	4.11
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.45
Diáspora	$\text{AlOOH}$	2.79
Paligorskita	$(\text{Mg}, \text{Al})_5(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1.75
Clorita	$(\text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_6$	1.21
Anhidrita	$\text{CaSO}_4$	0.71

El análisis de difracción de rayos X, realizada a los puntos de muestreo, indicó un alto contenido de sílice cuyos valores se encuentran en los rangos entre 80.82-91.27%, así como presencia de yeso, y silicatos hidratados tal como, la muscovita; todos éstos minerales, facilitan el posterior proceso de encapsulamiento de metales pesados.

#### Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción

El proceso para la fabricación de baldosas y ladrillos a partir del agregado de construcción comprende:

- Proporcionar los moldes convencionales para los ladrillos y baldosas de acuerdo al tamaño y forma requeridos.
- Preparar una mezcla homogénea con una proporción en:
  - Peso de los gruesos del agregado de construcción que representa entre 14 al 70% del peso total de la mezcla,
  - Cemento que representa del 40 al 70% del peso total de la mezcla,
  - Cal que representa del 1 al 10% en peso del total del mezcla y
  - Finos del agregado de construcción que representa del 10 al 22% del peso total de la mezcla.



**Figura 2.** Mezcla seca del agregado.

- Agregar agua hasta obtener una mezcla homogénea.



**Figura 3.** Mezcla homogénea con agua.

- Verter en cada molde correspondiente; la mezcla obtenida en los pasos anteriores.



**Figura 4.** Molde de ladrillo con mezcla homogénea de agregado de construcción.

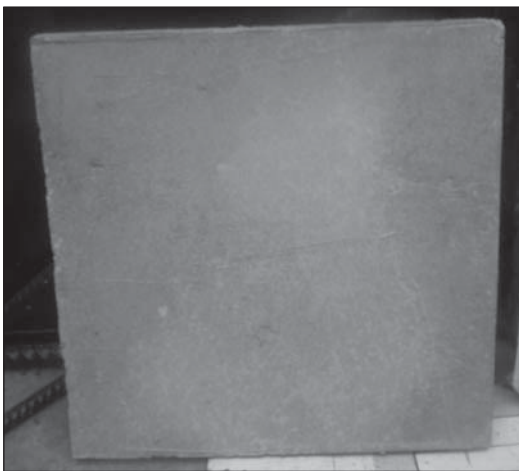


**Figura 5.** Molde de baldosa con vertido de la mezcla homogénea húmeda.

e) Curar (secar) el ladrillo o baldosa en condiciones de temperatura ambiente por un periodo de 26 a 30 días.



**Figura 6.** Ladrillo fabricado a partir de relave empleado como agregado de construcción.

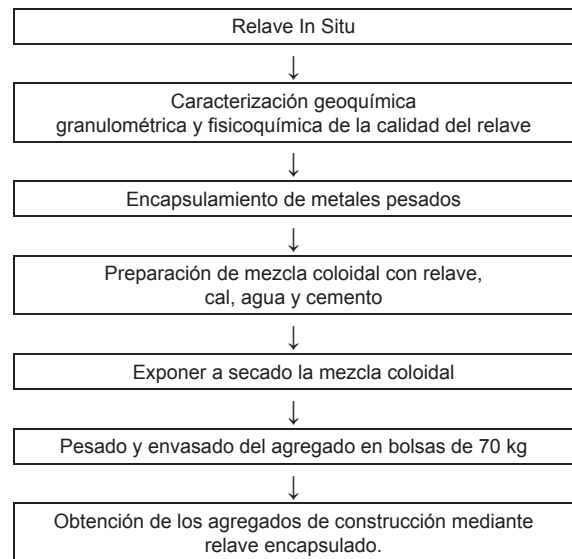


**Figura 7.** Baldosa artesanal fabricado a partir de relave empleado como agregado de construcción.

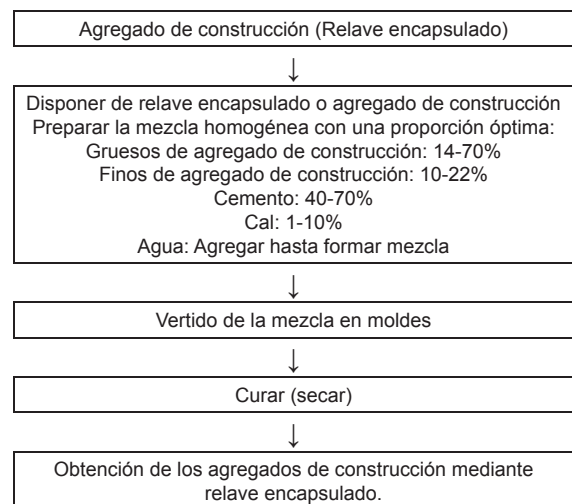
## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de este estudio se centran en la presentación de la Metodología Experimental del Procedimiento para la obtención de agregados de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos y el Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción.

A continuación se mostrarán los diagramas de flujo que resumen esta metodología experimental de ambos procedimientos.



**Figura 8.** Esquema del proceso de obtención de los agregados de construcción.



**Figura 9.** Esquema de fabricación de ladrillos o baldosas a partir de agregados de construcción.

## CONCLUSIONES

Respecto de la calidad del agregado de construcción, mediante diversas pruebas de toxicología y aplicando la metodología 3111-EPA, 3113-EPA y 3114-EPA, se estableció que el producto final, que es el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos, no es contaminante.

Como se sabe, esta característica se ha comprobado debido a la estabilidad fisicoquímica que se ha logrado mediante la técnica de la microencapsulación de los metales pesados en la matriz del agregado obtenido, luego del proceso del tratamiento del relave polimetálico con silicato di y tricálcico de los cementos portland tipo I, tipo II, tipo V.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lutz H. Benner, Wilhelm W. Coldewey. "New Methods for Handling of Tailings". International Mining and Environment Congress: Clean Technology: Third Millennium Challenge. 12<sup>th</sup>-16<sup>th</sup>, July 1999, Lima-Perú.
- [2] Romero B. Alfonso, Flores Ch. Silvana. "Manual de Reutilización de Pasivos Ambientales Mi-

neros del Proceso de Flotación de Minerales", Abril-2010, Lima-Perú.

- [3] Jara F. María Antonieta, "Distribución de Metales Pesados en Agua y Sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del río Santa". Tesis presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el grado de Magíster en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente. Junio 2003, Lima-Perú.

## AGRADECIMIENTOS

Mediante el proyecto de Investigación Multidisciplinario 2007, denominado "**REUTILIZACIÓN DE PASIVOS MINEROS ABANDONADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA-ANCASH**", con código N° 071601041, se agradece al Consejo Superior de Investigaciones por el apoyo financiero brindado al proyecto de investigación al igual que a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y al apoyo brindado a la Escuela de Ingeniería de Minas, por el préstamo de las Instalaciones de Laboratorio de Investigaciones Multidisciplinarias.