

Obtención industrial de materiales cerámicos a partir de lodos rojos del proceso Bayer

G. A. PÉREZ RODRÍGUEZ*, F. GUITIÁN RIVERA*, S. DE AZA PENDÁS**

*Instituto de Cerámica de Galicia (ICG). Edificio Monte da Condosa, Campus universitario Sur. 15706 Santiago de Compostela. A Coruña

**Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV). Km 24,3 Carretera Antigua Madrid-Valencia, 28500 Arganda del Rey (MADRID)

Los Lodos Rojos son el residuo insoluble de la extracción de alúmina a partir de la bauxita por el proceso Bayer. En Galicia se producen más de 400.000 toneladas anuales de este residuo industrial, constituido fundamentalmente por una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro, óxidos de titanio, cuarzo, con cantidades menores de, arcillas, y otros minerales.

El presente trabajo describe el proceso de aprovechamiento industrial de los Lodos Rojos, para obtener ladrillos densos para acumuladores de calor, áridos para carreteras y otros productos cerámicos.

Este tipo de materiales, hasta ahora fabricados de forma experimental en el Instituto de Cerámica de Galicia han dado lugar a la creación de una nueva empresa y a la actual construcción y puesta en funcionamiento, de una planta piloto valorada en 200.000.000 Ptas. ubicada en el norte de la Provincia de Lugo.

Dicha planta permitirá la fabricación de 20 Tm/día de material para su estudio y comercialización.

Palabras clave: Lodos Rojos, Barros Rojos, Acumuladores Térmicos, Ladrillos Densos, Proceso Bayer.

Industrial obtaining of ceramic materials from the Bayer proces red mud's

The Red Mud is the insoluble residue of the alumina extraction starting from the bauxite for the process Bayer. In Galicia they take place more than 400.000 annual tons of this industrial residue, constituted fundamentally by a mixture of oxides and iron hydroxides, titanium oxides, quartz, and small quantities of clays and other minerals.

The present work describes the process of industrial use of the Red Mud, to obtain dense bricks used in heat accumulators, arid for highways and other ceramic products.

This type of materials, up to now manufactured in an experimental way in the Institute of Ceramic of Galicia have given place to the creation of a new company and the current construction and setting in operation, of a pilot plant valued in 200.000.000 Ptas. Located in the north of the Province of Lugo, this plant will allow the production of 20 Tm/day of material for its study and commercialisation.

Keywords: Red Mud, Bauxite-Residues, Electric Thermal Storage, Dense Bricks, ETS

1. INTRODUCCION

En la producción de óxidos e hidróxidos de aluminio a partir de la bauxita por el proceso Bayer, las impurezas son separadas, generándose un residuo llamado Lodos o Barros Rojos. En este proceso se utiliza una solución caliente de hidróxido sódico para extraer la alúmina de la bauxita. La producción aproximada de residuos a nivel mundial es de 66,1 millones de toneladas anuales, el promedio anual de la planta de Alúmina Española S.A.-Alcoa Europe es de 400.000 Toneladas. Este residuo luego de ser lavado para recuperar alcalinos es vertido en embalses a la intemperie para su floculación. Los grandes volúmenes de residuos pueden crear problemas medioambientales debido a la ocupación de grandes áreas naturales y por el alto riesgo de contaminación del aire y del agua.

Se distinguen varias líneas de investigación dirigidas a este problema, agrupándose así:

Manejo de los vertidos: Métodos de clasificación, deshumidificación y lavado en la planta de producción. Sistemas de descarga y almacenamiento (floculación y secado) en las zonas de vertidos. Estudios del comportamiento de los Lodos Rojos en los embalses, como migración de elementos

y minerales hacia el subsuelo y por lo tanto la posibilidad de contaminar corrientes acuáticas subterráneas. Estudios sobre la posible revegetación de los embalses, determinando especies vegetales resistentes a la alcalinidad del medio.

Reutilización de los vertidos: Utilización de los Lodos Rojos en la industria, como aditivo en las empresas de productos cerámicos y plásticos; producción de pigmentos y ladrillos sinterizados químicamente para la industria de la construcción; áridos para la construcción de carreteras^[7]; baldosas acústicas.^[5] Utilización de los Lodos Rojos en agricultura, como agente acondicionador de suelos.

Reducción de los vertidos: Disminución del contenido de álcalis de los Lodos Rojos. Recuperación de elementos y minerales presentes en los Lodos, como, sodio, hierro, titanio, tierras raras, etc.^[8]

Eliminación de los vertidos: Desarrollo de procesos libres de vertidos de Lodos Rojos.

Reciclado de los vertidos: Utilización de los Lodos Rojos en el mismo proceso Bayer.

Diversos autores encuentran más eficiente tanto a nivel ecológico como económico el reutilizar lodo rojo en produc-

tos comerciales.^[3, 4, 5] Específicamente en España diversos departamentos de investigación han intentado responder a este reto científico. Se destacan por su utilidad en este trabajo las siguientes publicaciones: "Utilización cerámica de los barros rojos de las plantas de alúmina"^[4]; "Obtención de ladrillos densos a partir de Barros Rojos, subproducto de las plantas de alúmina"^[9], siendo posiblemente los pioneros en este tipo de aplicaciones. Ahora ha sido el momento preciso para retomar esas investigaciones y desarrollarlas hasta el escalado industrial, motivados por una conciencia ecológica y el interés del sector privado.

La facilidad con que la energía eléctrica se transforma en calor ha permitido desarrollar una gran variedad de sistemas y aparatos de calefacción, entre ellos están los calefactores por acumulación. Estos aparatos están diseñados para funcionar con un ciclo de carga y descarga separados en el tiempo, ésta característica permite aprovechar total o casi totalmente la tarifa eléctrica con discriminación de horas valle (tarifa nocturna). El almacenamiento de calor se realiza en un núcleo acumulador, compuesto por un conjunto de ladrillos de material refractario de elevado punto de fusión (del orden de 1600°C) por lo que pueden alcanzar grandes temperaturas. El núcleo acumulador trabaja a una temperatura máxima entre 600 y 700°C, temperatura que se ve limitada en razón de la temperatura que debe soportar el aislamiento y otras razones constructivas. Son materiales de alta densidad, aproximadamente 3g/ml, con un calor específico del orden de 0,3 kcal/kg. °C, dependiendo de cada material. Estas características suponen un peso del núcleo acumulador de 5-6 Kg. por kw/h de acumulación y capacidades de acumulación de 500 a 625 kwh/m³ para un salto térmico de 50 a 650°C. Los materiales más utilizados son la periclasa en los acumuladores dinámicos y la magnetita en los estáticos.^[1] Verificando lo expuesto en las publicaciones anteriores, este trabajo expone los resultados preliminares a la implementación de una planta piloto para la producción industrial de estos ladrillos.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Material

La muestra de lodo rojo utilizada en este trabajo procede del depósito de la fabrica de Alúmina Española S.A.-Alcoa Europe, localizada en San Ciprián, provincia de Lugo, España.

2.2 Caracterización

2.2.1. HUMEDAD DE RECEPCIÓN

Este valor es variable pues es dependiente de las condiciones atmosféricas de la zona de vertidos, como de la profundidad a la cual es recogida la muestra. El material suministrado para las pruebas de laboratorio contó con contenido medio de humedad del 31% ± 3.

2.2.2. PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

El lodo rojo al calcinarse a 1000°C por un tiempo de mantenimiento de una hora presenta una pérdida del 10% ± 1.

2.2.3. DENSIDAD REAL

Se determinó la densidad real con picnómetro de helio sobre muestra de lodo rojo seco, molido y tamizado por tamiz de 62µm. Su valor es de 3,39 g/ml.

2.2.4. ANÁLISIS QUÍMICO

En las Tablas I y II se presentan los resultados de elementos mayoritarios y traza respectivamente.

TABLA I
ANÁLISIS POR FRX. ELEMENTOS MAYORITARIOS. PORCENTAJE EN ÓXIDO

Oxidos	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O
Porcentaje	30,6	23,3	20,5	7,0	4,75	4,65	0,17	0,05

Tabla II
ANÁLISIS POR FRX. ELEMENTOS TRAZA. PARTES POR MILLÓN

Elemento	Zr	Cr	V	Y	Sr	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Rb
ppm.	3198	2737	1780	192	109	116	69	31	18	16	<5

2.2.5. ANÁLISIS POR DRX

Por difracción de Rayos-X se detectan fases mineralógicas muy variadas y complejas presentando materiales amorfos en abundancia que se revelan por la altura del ruido de fondo y por la baja intensidad de las señales. Se definen, las siguientes fases mayoritarias en el lodo rojo seco a 110°C por 24 horas: Hematita, Gibbsita Boehmita, Rutilo Goetita y Cristobalita,

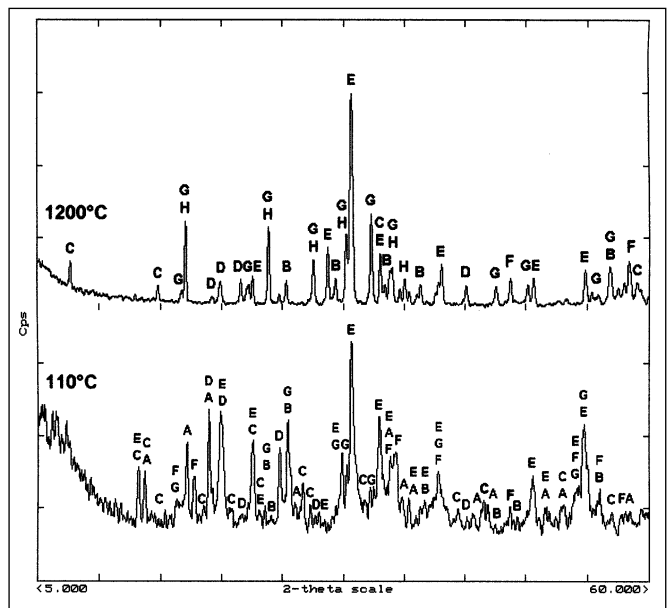


Fig. 1 Difractogramas de Lodo Rojo a 110° C y 1200° C.

presentándose además en menor cantidad una serie de compuestos con elementos característicos como el Sodio y Calcio. A 1200°C las fases predominantes son Pseudobrookita Hematita y Titanatos de Hierro y Aluminio, con presencia de β alúmina (Ca, Na). En la Tabla III se presentan estas fases con la correspondiente identificación utilizada en la Figura 1.

2.2.6. ANÁLISIS TÉRMICO

Por ATD y ATG se presentan los siguientes efectos endotérmicos máximos con pérdidas de peso correspondientes. En la Figura 2, se muestra la gráfica correspondiente al experimento y en la Tabla IV la identificación [6] de las reacciones.

2.2.7. MICROSCOPIA DE CALEFACCIÓN

Se realizó microscopía de calefacción con una rampa de calentamiento de 10°C/minuto hasta temperatura de fusión parcial. El resultado puede observarse en la Figura 3; en la Tabla V se enumeran los principales comportamientos.

2.2.8. ENSAYOS DE COCCIÓN

Se realizaron tratamientos térmicos para observar la evolución de los valores de densidad aparente y real sobre cilindros prensados isostáticamente. Las temperaturas de ensayo fueron 110, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200, 1250 y 1300°C, con un tiempo de mantenimiento a temperatura máxima de 120 minutos y con rampa de subida de 5°C/minuto. Es importante señalar que a partir de 1200°C suele presentarse una ligera adherencia de la probeta al soporte, posiblemente originada por la presencia de una fase líquida. Los resultados se presentan en las Figuras 4 y 5, representando la influencia de la temperatura de calcinación frente al porcentaje de porosidad y frente a los valores de densidad aparente y real respectivamente.

Se concluye que a partir de 1000°C comienza una disminución de porosidad hasta 1150°C en donde es mínima. Se observa además que en el rango de 1150°C a 1200°C las temperaturas intermedias son más favorables que en el intervalo 1100°C a 1150°C en donde se presenta una pendiente más acusada. De los análisis realizados se concluye que los Lodos Rojos pueden procesarse a temperaturas entre 1100°C y 1200°C para obtener sinterizados que estarán constituidos por óxidos de hierro y titanio y titanatos de aluminio y hierro estables, con una densidad superior a 3g/ml.

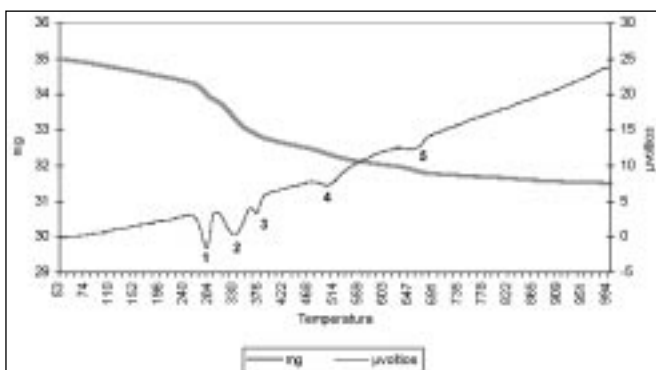


Fig. 2 Curvas de ATD y ATG del Lodo Rojo seco

TABLA III
FASES CRISTALINAS PRESENTES EN EL LODO ROJO

Símbolo	Elemento característico	Fase cristalina	Fórmula
A	Aluminio	Boehmita	$Al(OH)_3$
		Gibbsita	$Al(OH)_3$
B	Titanio	Rutilo y Brookita	TiO_2
C	Sodio	Oxido de Titanio y Sodio	$Na_{0,23}TiO_2$
		Natrosilita	$Na_2Si_2O_5$
		Diaoyudaoita	$NaAl_{11}O_{17}$
		Sodalita	$Na_4Al_3Si_3O_{12}Cl$
D	Sílice	Cristobalita, Cuarzo y Tridimita	SiO_2
E	Hierro	Hematita y Magemita	Fe_2O_3
		Siderita	$FeCO_3$
		Oxido de Hierro	Fe_3O_4
		Lepidocrocita y Goetita	$FeO(OH)$
F	Calcio	Oxido cálcico	CaO
		Mayenita	$Ca_{12}Al_{14}O_{33}$
		Aluminato cálcico	$CaAl_2O_4$
		Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4
		Oxido de Hierro y Calcio	$CaFe_2O_4$
G	Hierro y Titanio	Ilmenita	$FeTiO_3$
		Ilmenorutilo	$Fe_x(Nb,Ta)_{2x}Ti_{1-x}O_2$
		Ulvospinela	Fe_2TiO_4
		Pseudobrookita	$FeTiO_3$
H	Hierro + Titanio + Aluminio	Titanatos de Aluminio y Hierro	$TiO_2(Al_2O_3)_{1-x}(Fe_2O_3)_x$

TABLA IV
REACCIONES OBSERVADAS EN ATD / ATG

Nº de pico	Temp. (°C)	Reacción
1	273	Deshidratación de la Goetita α -FeO(OH)
2	325	Pérdida parcial o total de los grupos (OH) de la Gibbsita $Al(OH)_3$
3	366	Deshidratación de la Limonita α -FeO(OH)·nH ₂ O
4	498	Deshidratación de la Boehmita γ -AlO(OH)
5	657	Descarbonatación de la Siderita $FeCO_3$

TABLA V
COMPORTAMIENTO DEL LODO ROJO EN MICROSCOPIA DE CALEFACCIÓN

Comportamiento	Temperatura
Estable	20-1020°C
Comienzo de la contracción	1020°C
Fin de la contracción – inicio de la dilatación	1250°C
Fin de la dilatación – inicio del reblandecimiento	1300°C
Fusión	1373°C

TABLA VI
PROPIEDADES Y CONDICIONES DE LA MEJOR MEZCLA DE LODOS ROJOS CALCINADOS Y ARCILLA

Mezcla	75% Lodo Rojo a 1000°C + 25% de arcilla
Agua de amasado	22%
Temperatura de cocción	1150°C
Contracción	13,4% ± 0,2
Absorción de agua	2,71
Resistencia	43 MPa
Densidad aparente	2,76

2.2.9. ENSAYOS DE CONFORMACIÓN

Examinando los diferentes sistemas de conformación convencionales de materiales cerámicos y después de evaluar sus propiedades se consideró que para las condiciones dimensionales de la pieza final, los sistemas más apropiados son, el moldeo plástico y el prensado de polvos.

2.2.9.1. Moldeo plástico

Se determinó el límite líquido y el límite plástico. Los resultados son 30,7% para el límite líquido y 25,8 para el límite plástico, siendo entonces su índice de plasticidad de 4,9%. Aunque este índice se consideró muy ajustado, se realizaron pruebas en una extrusora de avance manual con una boquilla de sección cuadrada de 1cm de lado.

Se observó que el lodo rojo extrusionado dentro de sus límites plásticos, no posee la resistencia adecuada para una producción industrial. Se aprecia también una diferencia del porcentaje de humedad entre las piezas extrusionadas al inicio de la carga con las del final del 7%, quedando en algunos casos agua residual no integrada a la masa, y presentándose en las piezas extruidas al final grietas producidas por esta pérdida. Las piezas que presentaron un mejor comportamiento fueron sometidas a calcinación a 1175°C en horno eléctrico, determinándose una contracción del 20% ± 1.

Los ensayos realizados con diferentes mezclas de material crudo con porcentajes variables de material calcinado y gra-

nulometrías medias (<500µm) se obtuvieron también resultados negativos. Se conformaron también mezclas de material calcinado y arcilla plástica, en un intento de mejorar su comportamiento en la extrusión y reducir su contracción. Se observa un mejor comportamiento en extrusión, sin ser excesivamente el deseable. El resultado más relevante es el de la mezcla presentada en la Tabla VI, en donde se exponen las características alcanzadas.

2.2.9.2. Prensado de polvos

Se realizaron diferentes pruebas con el material crudo únicamente y material crudo mezclado con varios porcentajes de material calcinado con granulometría media (<500µm), utilizando moldes para piezas cilíndricas de 5cm de diámetro. Posteriormente, considerando los resultados anteriores y los requerimientos dimensionales del producto final (bloques de 20x20x5), se determinó que el proceso de conformación adecuado es el prensado de polvos. Con el fin de obtener una mejor aproximación a las condiciones del producto final, se utilizó un molde de acero con un volumen máximo de capacidad de 2340cm³, con una superficie de carga de 10x19,5cm. Como resultado de esta fase se observa que para obtener una mejor resistencia del producto en verde y una compactación superior es necesaria la adición de agua como ligante entre un 7 y un 10%. Después de ensayar diferentes distribuciones granulométricas para empaquetamientos máximos ideales, el desarrollo matemático con mejores resultados fue el desarrollado por Andreasen. El resultado medio de esta serie experi-

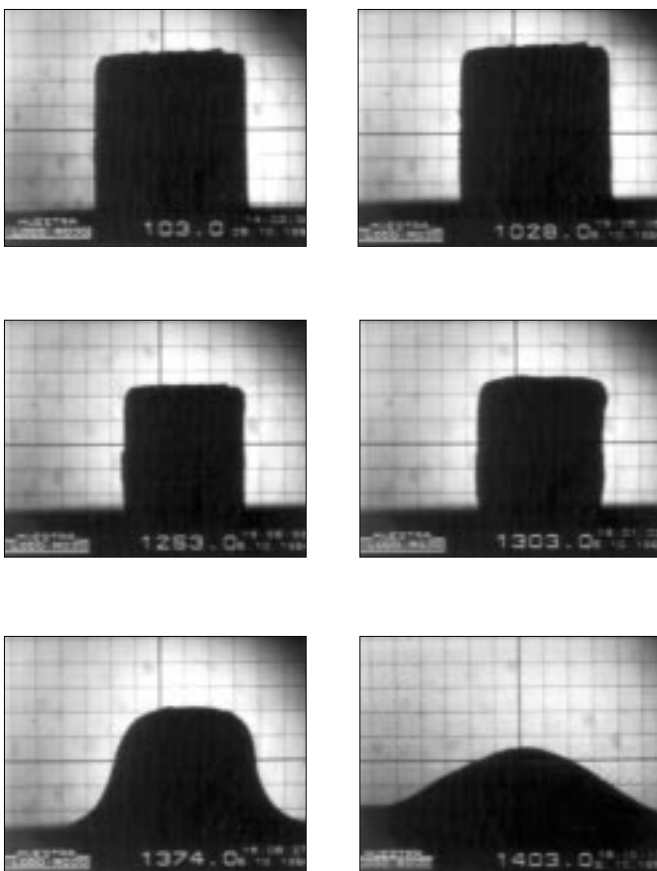


Fig. 3. Microscopía de calefacción de los Lodos Rojos.

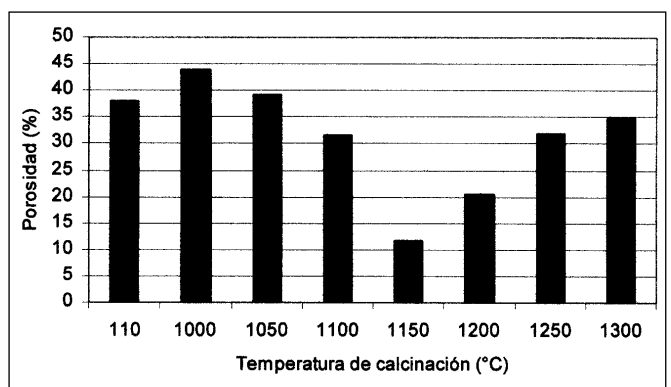


Fig. 4. Influencia de la temperatura de la porosidad

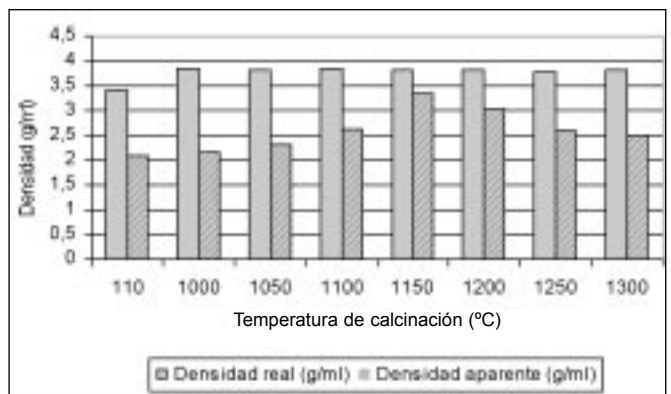


Fig. 5. Influencia de la temperatura en la densidad.

mental se presenta en la Tabla VII.

Posteriormente se realizaron ensayos para determinar la influencia de diferentes variables en el producto final (velocidad de prensado, tiempo de mantenimiento, métodos de humectación y mezclado de las diferentes fracciones, tiempo y temperatura de secado, tiempos y velocidades de calcinación y enfriamiento, etc.) llegándose de esta forma al proceso de conformación definitivo para piezas de 10x19,5x5cm en el laboratorio. Una descripción de este proceso se presenta a continuación.

2.3 Proceso

Para la elaboración de los ladrillos en laboratorio, la conformación de las piezas se dividió en las siguientes etapas:

2.3.1. PREPARACIÓN DEL POLVO

Se determina que la granulometría de partida del material crudo seco estará comprendida dentro de los siguientes tamaños:

Fracción 1: <3 >1mm. Fracción 2: <1mm. Fracción 3: <250µm.

Se partió del material con la humedad de recepción (31%) y se extruyó utilizando una boquilla circular de 3mm de diámetro. Este proceso reduce drásticamente los tiempos de secado y facilita las operaciones posteriores. Una vez seco el material se granula y se tamiza. Debido a la fragilidad del material extruido este proceso se realizó directamente sobre el tamiz de 3mm, consiguiéndose simultáneamente fracciones inferiores. Se calcinaron separadamente las fracciones 1 y 2 en horno eléctrico a una temperatura máxima de 1150°C y tiempo de mantenimiento de 60 minutos, las cuales una vez finalizado el ciclo, se vuelven a tamizar para obtener las fracciones ya mencionadas. Se realizó este tamizado doble porque algunas partículas alcanzan a adherirse a las otras, y su separación es más sencilla al tener fracciones de tamaño más concretas. La fracción 3 se deja como material crudo.

Con este chamotado se alcanza la estabilidad química y mecánica del Lodo Rojo y a su vez se disminuyen los posibles problemas de secado y contracción de cocido de los ladrillos.

2.3.2. ADICIÓN DEL LIGANTE

Se decide que en esta etapa de laboratorio, no se utilice ningún aglomerante comercial con el fin de determinar la fiabilidad de este proceso en condiciones desfavorables, por lo tanto

para este fin solo se utilizará agua. El mezclado del material con el ligante (7% en peso del total del material), fue realizado usando un tambor giratorio similar al sistema de molino de bolas.

Los porcentajes de cada fracción en peso son:

Fracción 1: 30%. Fracción 2: 45%. Fracción 3: 25%

El procedimiento de mezcla utilizado fue el siguiente: Mezclado 1: la fracción 1 con el total del ligante, Mezclado 2 adición de la fracción 2 y finalmente Mezclado 3 adición de la fracción 3. Todas las operaciones de mezcla se realizan hasta lograr homogeneización.

Ejemplo para obtener bloques de 10x19x5cm.

Peso total del material calcinado y crudo seco: 3000g., repartido de la siguiente forma: fracción 1: 900g, fracción 2: 1350g y fracción 3: 750g. Peso de agua utilizada como ligante 210g. Tiempos de mezclado: Todas las mezclas se realizaron con un tiempo promedio de 10 minutos.

2.3.3. LLENADO DEL MOLDE

Se utilizó el molde descrito con anterioridad. El material se vertió en la cavidad del molde y con ayuda de una espátula se repartió sin presionar hasta obtener una superficie superior llana. Posteriormente se carga el pistón macho, realizando pequeños desplazamientos multidireccionales para ajustar el pistón y el material.

2.3.4. PRENSADO

Se utilizó una prensa hidráulica con carga máxima de 120 Ton. El prensado se realizó de la forma más lenta posible ejecutándolo en "tres tiempos", es decir a 210, 420 y 630 Kg/cm², se detuvo la carga y se realizó una descarga de 100 Kg/cm² para permitir el desplazamiento de las partículas, continuando hasta el siguiente valor. Cuando se alcanzó la presión máxima del equipo, se mantuvo la carga por 60 segundos y posteriormente se descargó totalmente.

2.3.5. DESCARGA DE LA PIEZA

Debido a la configuración del equipo, las piezas se desmoldaron colocando el molde sobre unos soportes adecuados y ejerciendo nuevamente presión sobre el pistón en la misma dirección de carga. En la parte inferior fue colocada una superficie amortiguadora para eliminar o disminuir la posibilidad de fractura de la pieza al caer.

2.3.6. MANEJO DEL PRODUCTO EN VERDE

El producto se colocó sobre un soporte de cordierita de dimensiones apropiadas para su transporte. En este momento los ladrillos húmedos son sometidos a dimensionamiento y pesados para los cálculos posteriores.

2.3.7. SECADO

El secado de los ladrillos se realizó en estufa eléctrica semi-industrial, a una temperatura de 100°C, con un tiempo de permanencia de 24 horas.

TABLA VII

PROPIEDADES Y CONDICIONES DE LA MEZCLA PRELIMINAR

Mezcla	Lodo calcinado a 1150°C: 14% (<3 >2mm), 19% (<2 >1mm), 15% (<1 >0,5mm), 26 % (<500µm) Lodo crudo: 26% (<500)
Contracción	4,5 en largo y ancho: 9,5 en espesor
Absorción	4,3%
Densidad	2,97 g/ml
Presión	550 kg/cm ²
Temperatura de cocción	1175°C / 240 minutos

2.3.8. COCCIÓN:

La cocción se realiza en horno eléctrico a una temperatura máxima de 1175°C, con un tiempo de mantenimiento de 240 minutos.

3. RESULTADOS Y COMPARACIÓN FRENTE A UN LADRILLO COMERCIAL

En la Tabla VIII se presentan los resultados de diferentes determinaciones sobre un ladrillo comercial y el obtenido en laboratorio: Densidad real, aparente y porcentaje de porosidad, (por porosimetría de mercurio). Resistencia al choque térmico, (norma B.S.1902/PART 1A, 1966; British Standard Specification). Dilatometría en el rango 20-800°C. Calor específico. Composición mayoritaria. Poder de acumulación. Precio aproximado de los ladrillos. Relación precio frente a poder acumulativo.

En la Figura 6 se presenta el resultado de la prueba de cesión de calor de los dos ladrillos en ambiente abierto sobre un intervalo de temperatura de 500-50°C.

En el laboratorio se prepararon series de ladrillos que fueron enviados a Technotherm GmbH (empresa alemana líder en el mercado de calefactores por acumulación) para comprobación y evaluación de las piezas obtenidas por este procedimiento, consiguiendo la homologación para ser utilizados en los acumuladores ensamblados por su empresa filial en Galicia (Electromecánicos Viveiro S.A.). Se realizó una pre-serie de 100 ladrillos con la colaboración de la empresa Lomba Camiña S.A., confirmándose la efectividad del método propuesto.

4. CONCLUSIONES

Cuando se selecciona un material o materiales para la fabricación de un producto comercial generalmente se tienen en cuenta tres puntos importantes:

- a) Que el material tenga o desarrolle las propiedades físicas y mecánicas deseadas.

- b) Que el material pueda ser procesado o manufacturado en la forma requerida.

- c) Que tanto el material como el proceso sean económicos.

En la medida que estos puntos son alcanzados, se obtendrá un producto competitivo y comercial. [2]

Basados en las diferentes fases experimentales brevemente expuestas en este trabajo, se puede concluir que este proyecto cumple satisfactoriamente con estos tres puntos. Recapitulando tenemos que: El Lodo Rojo principalmente por su composición mineralógica desarrolla después de su calcinación bajo condiciones apropiadas, unas propiedades térmicas que le permiten ser un serio competidor frente a los productos comerciales que en la actualidad en su gran mayoría vienen de mercados extranjeros. Después de su conformación bajo las condiciones anteriormente descritas el producto final presenta valores superiores y mejores comportamientos frente su resistencia al choque térmico, resistencia a flexión y compresión, por ejemplo. Siendo en otros aspectos muy similar al producto comercial. El Lodo Rojo permite ser conformado con facilidad por prensado de polvos, bajo las condiciones anteriormente expuestas, sin embargo, como la gran mayoría de los procesos, éste también será susceptible de mejorar, un ejemplo puede ser la necesidad de adicionar un ligante-lubricante comercial de uso común en las empresas del sector cerámico tradicional para permitir trabajar piezas de mayor tamaño a las realizadas en el laboratorio, siendo éste un condicionante de gran importancia para el éxito comercial. Otras series de ajustes serán necesarios desde el momento de la puesta en marcha de la planta industrial para obtener la máxima eficiencia del proceso y una alta reproducibilidad en las características del producto final, hasta ahora conseguidas en el trabajo de laboratorio. El material desde un primer punto de vista puede considerarse bastante económico debido principalmente a que es un residuo del proceso Bayer. Al desarrollarse este proceso desde su inicio con la condicionante de utilizar tecnología convencional de procesos cerámicos tradicionales, es fácil asegurar por lo tanto que la inversión necesaria para el montaje de una planta industrial para el sinterizado del Lodo Rojo y su posterior conformación, como en este caso concreto, en ladrillos acumuladores de calor, no necesitara de inversiones excesivas. Garantizando además que el personal necesario para su fabricación no requiera algún nivel de conocimiento demasiado avanzado.

TABLA VIII
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES LADRILLO COMERCIAL Y LADRILLO ICG

Propiedades	Ladrillo Comercial Ref.Art. 830-900-006	Ladrillo ICG
Densidad real (g/ml)	4,39	3,74
Densidad aparente (g/ml)	3,76	3,28
Porosidad (%)	16,55	12,18
Resistencia a la compresión	105,4 MPa	171,8 MPa
Resistencia a la flexión	80,7Kg	283,55Kg.
Resistencia al choque térmico	19 ciclos	+ 21 ciclos
Dilatación 20-800°C (x10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	9,8	8,0
Cp cal/g °C	0,20	0,19
Composición Mayoritaria	Oxidos de hierro Fase vítrea	Oxidos de hierro Titanatos de hierro Fase vítrea
Poder de acumulación (%)	100	87,3
Ptas./Ladrillo 20x20x5 cm	425	80
R= Precio/P.A.	4,25	0,91

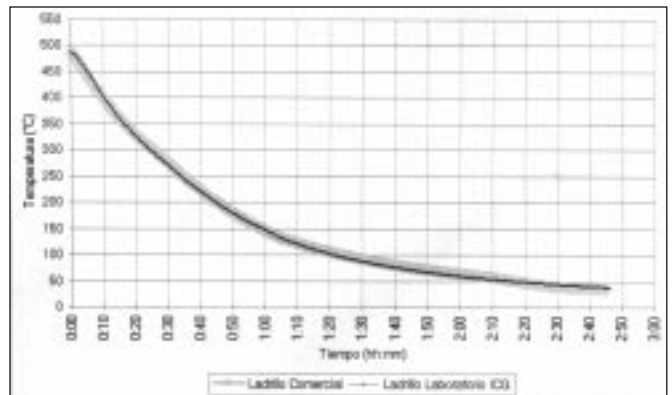


Fig. 6. Influencia de la temperatura en la densidad

5. PLANTA PILOTO

El desarrollo de este tipo de materiales a partir de los Lodos Rojos hasta ahora fabricados de forma experimental en el Instituto de Cerámica de Galicia, ha motivado a diferentes sectores de la sociedad a involucrarse más seriamente con el proyecto, impulsando su realización a nivel industrial. Partiendo de este procedimiento que está protegido por dos patentes de invención registradas a nombre de la Universidad de Santiago, y adquiridas por la empresa Indebar S.A. (Investigación y Desarrollo de Barros Rojos S.L.). Esta empresa está construyendo en la actualidad una planta piloto en las inmediaciones de Cervo (Lugo) con una inversión cercana a 300 millones de Ptas. Dicha planta permitirá la fabricación entre 15 y 20 Tm/día de material para su comercialización y estudio de nuevas aplicaciones, siendo cofinanciado por la Xunta de Galicia, el CDTI e Indebar S.A..

6. BIBLIOGRAFIA

1. Alonso Andonegui, A.; Fernández Salazar, L. C.; de Landa Amezua, J.; Toledano Gasca, J. C.; del Valle Antépara, J. *"Calefacción Eléctrica, Confort, Cálculo y Sistemas"*. Ed. Paraninfo. Madrid. (1996).
2. Askelan, D. R. *"The science and engineering of materials – 2nd SI ed."*. Ed. Chapman and Hall. UK. (1990)
3. McCarthy, S., Armour-Brown, A., Iyer, V. S., Desu, S. B., Kander, R. G., and Vaseashta, A. *"Utilization of Jamaica bauxite tailings as a building material and its socio-economic considerations"* presentado en *"Proceedings of An international bauxite tailings workshop"* 2-6 de noviembre de 1992. Australia occidental.
4. Morales, F.; Moya, J. S.; De Aza, S. *"Obtención de ladrillos densos a partir de Barros Rojos, subproducto de las plantas de alúmina"* Actas II del VIII Congreso-Exposición Argentino y II iberoamericano de Cerámica, Vidrio y Refractarios. 14-18 de noviembre de 1988. Buenos Aires.
5. Pepplinkhouse, H. J., Davern, W. A. *"Acoustic tiles from solid wastes"* Journal of the Australian Ceramic Society. Vol.11. N°2. (1995).
6. Todor D. N. *"Thermal analysis of minerals"* Abacus Press. Tunbridge Wells, Kent. (1976)
7. The Australian bauxite and alumina producers. *"Proceedings of An international bauxite tailings workshop"* 2-6 de noviembre de 1992. Australia occidental.
8. Wagh, A. S.; Morrison, D. E. *Utilization of Jamaican red mud – an overview"* presentado en *"Proceedings of An international bauxite tailings workshop"* 2-6 de noviembre de 1992. Australia occidental.

Recibido: 21-10-98

Aceptado: 1-3-99

