

# GESTION DE RESIDUOS

Lefter, Marilena, González Luisa, Almazán Laura, Guzmán Silvio

Univ. Nacional de Salta, Consejo de Investigación, Fac. de Ingeniería  
Av. Bolivia 5150 4400 Salta Email: [lefterm@unsa.edu.ar](mailto:lefterm@unsa.edu.ar)

## RESUMEN

Los recursos naturales son finitos, el itinerario que recorren estas materias primas en las diferentes bases de elaboración, consumo y uso deberían gestionarse fomentando el reciclaje de los materiales para evitar su derroche ó la contaminación ambiental que producen, de cara a las generaciones futuras. El presente trabajo se propuso determinar la factibilidad de producir un material cerámico usando como materia prima residuo de planta boratera. El estudio de mercado preliminar se realizó buscando datos en páginas de Internet proporcionados por fuentes confiables como [www.scavage.com](http://www.scavage.com), [www.exportapymes.com](http://www.exportapymes.com) e [www.indec.medcon.ar](http://www.indec.medcon.ar); estos sitios brindan información sobre las exportaciones e importaciones del país. Nuestro producto ingresa en el rubro de baldosas cerámicas.

Para entablar el estudio, se realizó una comparación entre los valores de m<sup>2</sup> de cerámicas baldosas producidas en los últimos años (Gráfico 1) y los m<sup>2</sup> exportados (Gráfico 2) para estos mismos períodos de tiempo. En base a los datos obtenidos referidos a los valores exportados, se realizó una regresión y se consiguió un modelo matemático con el que se proyectó la exportación de cerámicos para los próximos 8 años. La regresión se puede observar en el (Gráfico 3).



Gráfico 1



Gráfico 2



Gráfico 3

El modelo muestra que la exportación tiene un comportamiento oscilante. Para completar el panorama económico de esta industria, estamos ejecutando la segunda parte de este estudio. El alcance del trabajo es ofrecer una manera de acabar con materiales contaminantes para el medio ambiente, a la vez que brindaría ganancias superiores a las de un cerámico comercial común debido a que, una buena parte de la materia prima es residuo de otra industria

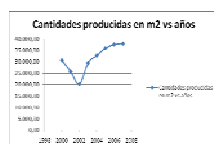
Palabras clave: Boro, cerámico, mercado, producción.

## ABSTRACT

The natural resources are finite, the run over itinerary of these materials in different elaboration, consume and use station should be managed to foment recycling in order to avoid its waste or ambiental contamination, looking forward the future generations.

The aim of this work is to determine the feasibility to produce a ceramic material using residue from borate industry as raw material. Preliminary market study was realized searching in internet sites as [www.scavage.com](http://www.scavage.com), [www.exportapymes.com](http://www.exportapymes.com) e [www.indec.medcon.ar](http://www.indec.medcon.ar) that brings trusty information about country importation and exportation. Our product enter in ceramic tile rubric.

Its been made a comparition between m<sup>2</sup> produced grafic 1 and m<sup>2</sup> exported grafic 2 during the last years. With the obtained exportation data a mathematical regretion projected ceramic exportation for the next 8 years, as shown in graphic 3.



Graphic 1



Graphic 2



Graphic 3

The model shows an oscillating behavior. To complete the economic overview, the second part of the study is carrying out.

The overtaken of this work finish with a contaminant material for the environment using as low cost raw material an industrial residue.

Key words: Boron, ceramic, market, production

## 1. INTRODUCCIÓN

Los fundamentos de la estructura económica Argentina se han basado, tradicionalmente, en los magníficos recursos naturales con que cuenta en muchos lugares del país y en la calidad de su mano de obra.

Existen una gran variedad de materias primas minerales y muchas de ellas en abundancia, pero falta más trabajo de exploración y relevamiento. En el caso de los materiales avanzados, los cuales se fabrican con lo ya mencionado, su desarrollo se lleva a cabo principalmente en otros países, utilizando materias primas minerales procesadas de acuerdo a normas estrictas lo que se traduce en un elevado valor agregado a los productos de la minería. Pero en realidad, la actividad minera y la fabricación y uso de materiales forman parte del mismo ciclo, que se completa con los procesos de reciclado naturales y los realizados por el hombre o la dispersión final en el medio ambiente: es el denominado CICLO MINERALES – MATERIALES.

Hoy Salta posee alrededor de un millón de hectáreas destinadas a proyectos de exploración y explotación minera. El crecimiento de la actividad es notable ya que hasta 2004 los pedidos de minas, cateos y canteras sólo alcanzaban a unas 400.000 hectáreas. Entre los minerales no metalíferos que se extraen en la provincia, los boratos y derivados ocupan los primeros lugares en cuanto a volumen de producción. Se usan en las industrias de esmaltes, cerámicas, vidrios, fibras de vidrio, fertilizantes, fibras textiles, productos farmacéuticos y otros. En el mundo hay una constante búsqueda de nuevas aplicaciones.

Nuestra provincia es la región que concentra más del 70% de la producción nacional de minerales de boro. Los yacimientos de boratos se encuentran distribuidos en toda la zona, asociados a los salares. Salta vende minerales a 36 países de los cinco continentes y es la provincia con más destinos comerciales abiertos en este campo.

Los yacimientos de minerales de boro se explotan a cielo abierto, con diversos grados de mecanización. Los procesos de tratamiento o beneficio de los boratos son simples, y consisten en reducción de tamaño mediante operaciones de trituración y molienda, lavado por arrastre o disolución con agua.

Los procesos de mayor complejidad, como son la obtención de bórax, la "frita" de boratos y ácido bórico se realizan fuera de la región de la Puna, lejos de los yacimientos. Las plantas se encuentran instaladas en el Valle de Lerma, donde las disponibilidades de infraestructura así lo permiten.

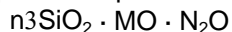
Con lo expuesto se puede concluir sobre la importancia de esta industria y por ende de la magnitud de su desarrollo; debido a esto, surge la incertidumbre respecto de qué fin darle a los residuos que produce la misma. Los rescoldos sólidos, en general, son mezclas del mineral de donde se extrajo los compuestos de boro, de restos de estas sustancias y de agregados que formaron parte del proceso de obtención utilizado en cada caso en particular; en base a esto, uno de los fines que podemos darle es aquel en pueda utilizarse esta mezcla como materia prima[1].

En general, el término «cerámica» (productos cerámicos) se utiliza para materiales inorgánicos (que pueden tener algún contenido orgánico) formados por compuestos no metálicos y estabilizados mediante un proceso de cocción. Además de los materiales a base de arcilla, la cerámica incluye actualmente multitud de productos con una pequeña fracción de arcilla o ninguna en absoluto. La cerámica puede ser vidriada o no vidriada, porosa o vitrificada[2].

La cocción se realiza de manera tal que la forma de los productos moldeados cerámicos permanezca inalterable, debido a la consistencia pétreo que adquieren por las reacciones que se verifican entre los elementos constructivos de las arcillas.

Cada tipo de producto cerámico necesita cierta temperatura: en alfarería y tejería 900°-1000°C; loza y gres cerámico, 1000°-1300°C; porcelana y productos refractarios, 1300°-1500°C.

El vidrio es una solución sólida de varios silicatos de sodio, calcio, y otros cationes obtenidos por fusión a elevada temperatura y una vez enfriado la masa adquiere el estado amorfo, es duro, transparente o translucido, frágil o resistente mecánicamente y químicamente forma general el vidrio se puede representar por la fórmula:



Siendo M: Ca, Pb, y N: Na, K .

Los vidrios sódicos son blandos. La seguridad mecánica esta relacionada a bajos coeficientes de expansión térmica, los que reducen la cantidad de tensiones internas. Esta pequeña expansión térmica es generalmente incompatible con un vidrio de bajo punto de fusión. Para obtener un silicato con una expansión térmica reducida es necesario remplazar los metales alcalinos por aluminio o Boro, con lo que se aumenta la temperatura de ablandamiento del vidrio resultante[3].

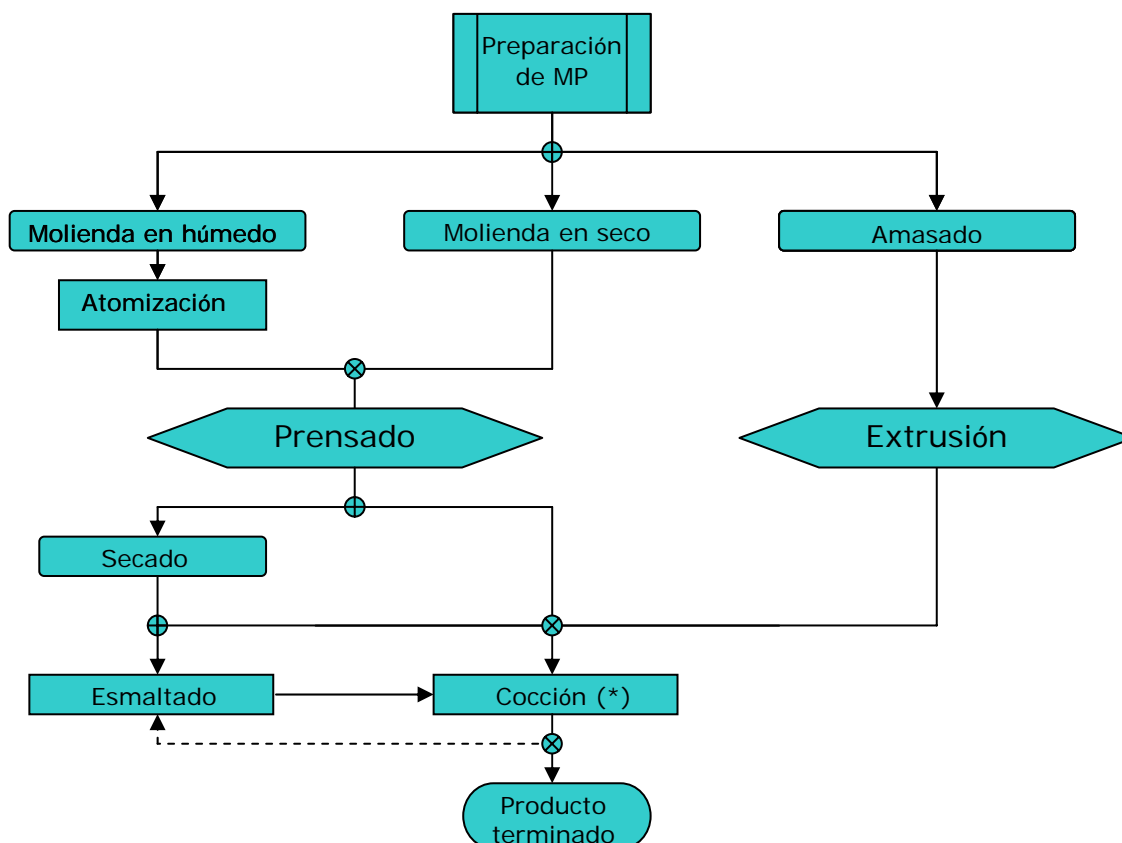
La cocción de cuerpos cerámicos produce una transformación de los minerales constituyentes, que depende del tiempo y de la temperatura, y que en general da lugar a una mezcla de nuevos minerales y fases vítreas. Entre las propiedades características de los productos cerámicos figuran la elevada resistencia mecánica, la resistencia al desgaste, una vida útil larga, la inercia química y la inocuidad, la resistencia al calor y al fuego, la resistencia eléctrica (generalmente) y a veces también una porosidad específica[4-6].

## 2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas se desarrolla en una serie de etapas sucesivas, que pueden resumirse del modo siguiente:

- Preparación de las materias primas.
- Conformación y secado en crudo de la pieza
- Cocción o cocciones, con o sin esmaltado
- Tratamientos adicionales
- Clasificación y embalaje

Dependiendo de que el producto a fabricar sea esmaltado o no, de que éste se fabrique por un procedimiento de monococción, bicocción o tercer fuego, en un determinado proceso se realizará o no el esmaltado, o se modificará la secuencia de las etapas de esmaltado y de cocción en la forma adecuada.

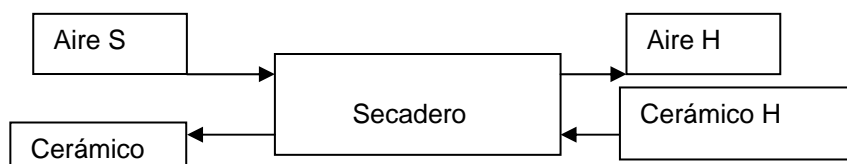


(\*) Puede llevarse a cabo más de 1 vez)

Figura 1.- Diagrama del proceso y sus opciones de desarrollo

## 3. GRADOS DE LIBERTAD DE ALGUNOS EQUIPOS

### 3.1 Secadero



$N_C = 4$  (número de corrientes)

$N = 3$  (número de sustancias)

- Número de variables:

$N_V = N_C(N+2)+1$  (debido a que no hay RQ)

$N_V = 4(3+2)+1 = 21$

- Relaciones de vínculo:

Balance de materia: 3

Balance de energía: 1

$R_V = 3$

- Grados de libertad:  $G_L = N_V - R_V$   $G_L = 21 - 4 = 17$
- Variables no disponibles:

Tabla 1 Variables no disponibles

Variable	Cerámico H	Cerámico S	Aire H	Aire S
P	Si	Si	Si	Si
T	Si	No	No	Si
X(agua)	Si	Si	No	Si
X(c)	Si	Si	Si	Si
W	Si	Si	No	No

$$V_{ND}=15$$

- Grados de libertad verdaderos:

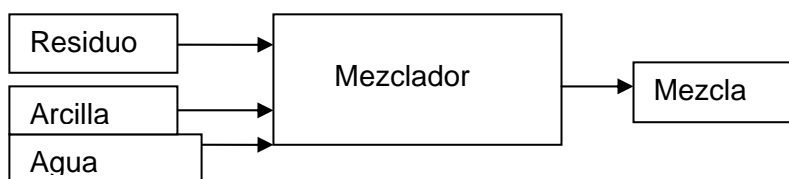
$$G_{LV}=G_L-V_{ND}$$

$$G_{LV}=17-15$$

$$G_{LV}=2$$

Los grados de libertad a fijar para este equipo son el área de transferencia y el caudal de aire seco.

### 3.2 Mezclador



$$NC=4$$

$$N=3$$

- Número de variables:

$$NV=NC(N+2)+1 \text{ (no hay Reacción Química)}$$

$$NV=4(3+2)+1=21$$

$$NV=21$$

- Relaciones de vínculo:

Balances de materia: 3

$$RV=3$$

- Grados de libertad:

$$GL=NV-RV$$

$$GL=21-4$$

$$GL=17$$

- Variables no disponibles:

Tabla 2 Variables no disponibles

Variables	Agua	Arcilla	Residuo	Mezcla
P	Si	Si	Si	Si
T	Si	Si	Si	Si
Q	No	No	No	No
X(agua)	Si	Si	Si	Si
X(residuo)	Si	Si	Si	Si

$$V_{ND}=16$$

- Grados de libertad verdaderos:

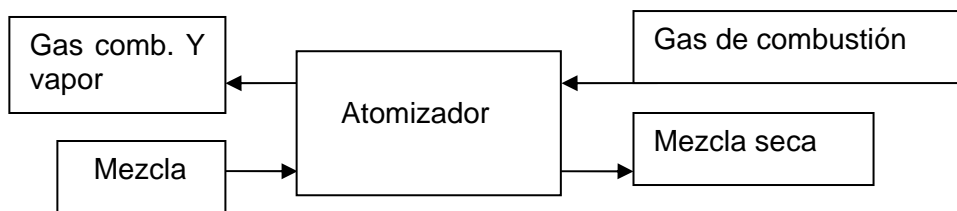
$$GLV=GL-V_{ND}$$

$$GLV=17-16$$

$$GLV=1$$

El grado de libertad a fijar en este equipo puede ser el caudal de cualquiera de las corrientes de entrada o el caudal de la salida.

### 3.3 Atomizador



$N_C = 4$  (número de corrientes)

$N = 2$  (número de sustancias)

- Número de variables:

$N_V = N_C(N+2)+1$  (debido a que no hay RQ)

$N_V = 4(2+2)+1 = 17$

- Relaciones de vínculo:

Balance de materia: 2

Balance de energía: 1

$R_V = 3$

- Grados de libertad:  $G_L = N_V - R_V$

$G_L = 17 - 3 = 14$

- Variables no disponibles:

Tabla 3 variables no disponibles

Variables	Corriente 1 (Cerámico H)	Corriente 2 (Aire S)	Corriente 3 (Cerámico S)	Corriente 4 (Aire H)
P	Si	Si	Si	Si
T	Si	Si	No	No
X	Si	Si	No	No
w	Si	Si	Si	Si

$V_{ND} = 12$

- Grados de libertad verdaderos:

$G_{LV} = G_L - V_{ND}$

$G_{LV} = 14 - 12$

$G_{LV} = 2$

## 4. OPTIMIZACIÓN DE EQUIPOS - SECADERO

### 4.1 Objetivos

- Caracterizar el equipo y fijar los grados de libertad de una manera óptima usando como criterios de bondad parámetros que reflejen costos de dimensionamiento y operación.
- Utilizar las herramientas matemáticas y programas de computación desarrollados en clase para el diseño óptimo del equipo elegido.

### 4.2 Formulación del criterio de bondad

Se elige como criterio de bondad el mínimo costo total, definido como:

$$C_T = C_{op} + C_{inv} \quad (1)$$

### 4.3 Cálculo de costo de inversión

- Costo de inversión ( $C_{inv}$ ):

$$C_{inv} = C_{invB} \left( \frac{A}{A_B} \right)^{0.6} \quad (2)$$

- $C_{inv}$  = Inversión deseada para el área de bandejas A

- $C_{invB}$  = Inversión conocida para la el área de bandejas  $A_B$

Se determinó el costo de inversión para un secadero continuo de bandejas (secadero túnel). El secadero consta de cuatro bastidores con cuarenta bandejas cada una. Las dimensiones de las bandejas normalizadas son 80cm. x 40cm. x 3cm.

El costo de inversión para ese tipo de secador es: U\$S 2414<sup>1</sup>

### 4.4 Cálculo del costo operativo

Dentro de éste, encontramos los costos del fluido que circulan por el ánulo, cuyo caudal es variable:

$$C_{op} = C_{H_2O} w Hr \quad (3)$$

Siendo:

- $C_{H_2O}$ : 0.16 U\$\$/m<sup>3</sup> materia prima (vapor de agua).
- Hr: Horas de servicio por año (7200).

#### 4.5. Cálculo del costo total

El costo total será nuestra función objetivo a minimizar y su expresión es:

$$C_T = C_{op} + C_{inv} = \left( \frac{C_B}{A_B^{0.6}} \right) A^{0.6} + w C_{H_2O} Hr \quad (4)$$

$$x = \begin{cases} x1 \\ x2 \\ x3 \end{cases}$$

$$x1 = A$$

$$x2 = w$$

$$x3 = \theta$$

$$f(x) = \frac{(M_s - M_c) * W}{Ac * \theta} - \frac{h_c (T_g - T_{wb})}{\lambda} \quad (6)$$

Dado que las x son dependientes entre sí y están relacionadas a través de  $f(x)=0$  formulamos una función de Lagrange ampliando el espacio.

$$\mathcal{L}(x, \lambda) = E(x) + \lambda f(x)$$

$$\lambda = x^4$$

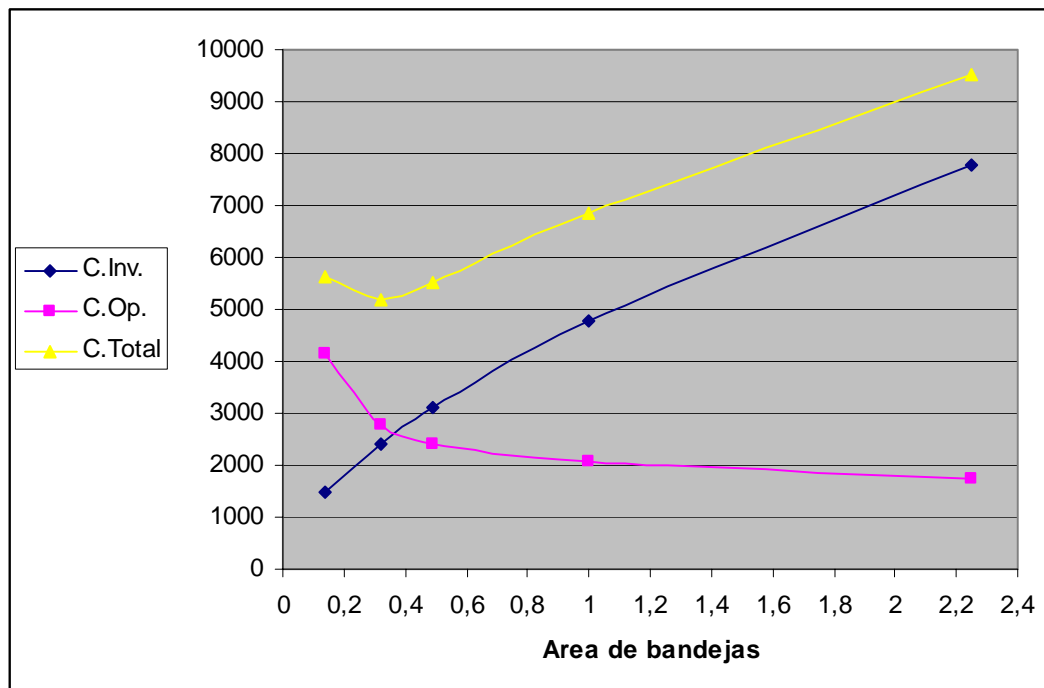


Figura 2.- Área de bandejas vs. Costos

#### 5. ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado se realizó buscando datos en la página de Internet [www.scavage.com](http://www.scavage.com), la que proporciona datos sobre la exportación de diferentes productos exportados o importados en el país. Nuestro producto no se fabrica actualmente en el país por lo que los datos obtenidos de dicha página corresponden a cerámicos comunes, que son a los que más se asemejan nuestros cerámicos a base de residuos mineros.

Con los datos que se obtuvo, se realizó una regresión y se consiguió un modelo matemático con el que se proyectó el consumo de cerámicos para los próximos 8 años.

El estudio no es exacto, pero da una idea de cómo puede llegar a moverse el mercado que es de interés a nuestro proyecto.

A continuación se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 4 Estudio de mercado

Período	Consumo (m2)	Precio (USD)
2000	1091589,67	4,284
2001	2156960,54	4,185
2002	4840279,54	2,734
2003	5069304,54	2,687
2004	3716732,46	2,746
2005	4121648,77	2,844
2006	4114337,98	3,139
2007	3082147,76	3,461
2008	271755,53	3,917
2009	1121925,43	3,956
2010	977133,24	3,995
2011	834358,25	4,035
2012	689670,01	4,076
2013	543208,25	4,116
2014	394943,44	4,157
2015	244852,76	4,199
2016	92912,80	4,241

A partir de esta tabla se construyó un gráfico en el que se muestra la variación del consumo a lo largo del período tomado como referencia y se trazó una línea de tendencia, la que nos da una idea de cómo puede llegar a oscilar el mercado:

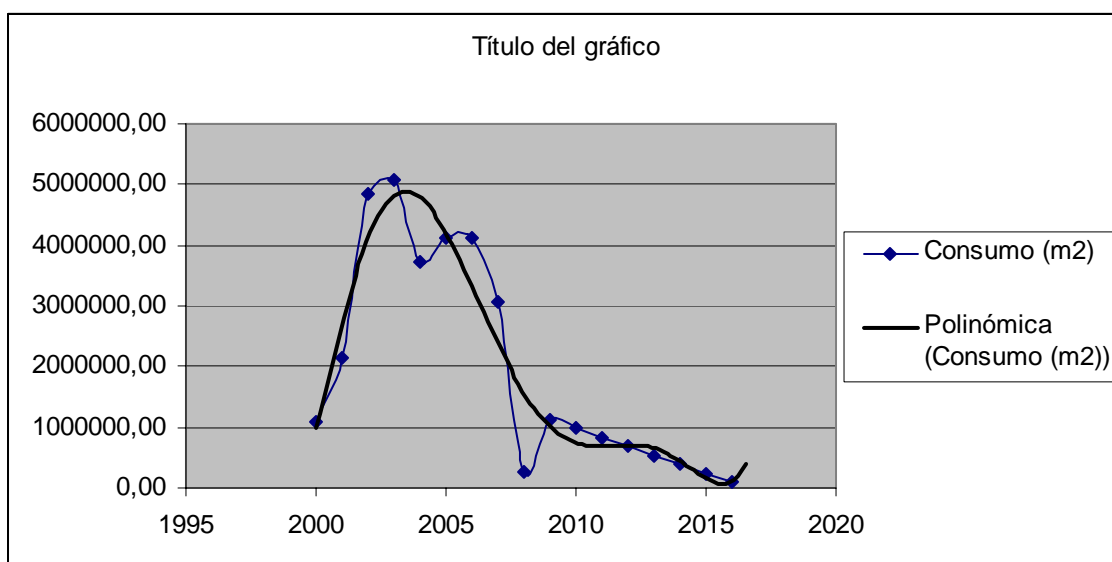


Figura3. Tiempo vs. Consumo

Se puede observar que el consumo tiene un comportamiento oscilante a lo largo del tiempo, por lo que el mercado al que se estaría por ingresar con un producto innovador presenta un desafío interesante. Se sabe que el estudio no es totalmente exacto, y no se entra al mercado con la seguridad de que se va a hacer un buen negocio, pero entrega un panorama aproximado de lo que puede llegar a ser.

## 6. CONCLUSIÓN

Durante el desarrollo del trabajo nos encontramos con varios métodos de fabricación lo que nos lleva a la necesidad de realizar primero un estudio detallado de las propiedades del producto final para poder definir el proceso que conviene utilizar en nuestro caso, debido a que las MP a utiliza no son las convencionales.

El alcance del trabajo es ofrecer una manera de acabar con materiales contaminantes para el medio ambiente, a la vez que brindaría ganancias superiores a las de un cerámico comercial común debido a que, una buena parte de la materia prima es residuo de otra industria

## 8. REFERENCIAS

- [1] Coimbra M.A., dos Santos W.N., Morelli M.R. (2002), " *Recuperacao de residuos inorgánicos para a construcao civil*", *Cerámica*, vol. 48 n. 306.Sao Paulo.
- [2] Jordan M.M., Sanfeliu T., de la Fuente C., (2001), " *Firing transformation of Tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies*", *Applied Clay Science*, vol. 20, Issues 1-2 pag.87-95.
- [3] Kurama S., Kara A., Kurama H., (2005), " *The effect of boron waste in phase and microstructural development of a terracotta body during firing*", *Journal of the European Ceramic Society*, in press.
- [4] Manezes R.R., Segadaes A.M. Ferreira H.S. Ferreira H.C., (2003), " *Analise da expansao por umidade e absorcao de agua de pisos cerámicos comerciáis em relacao a composicao química e a quantidade estimada de fase vítrea*" *Cerámica*, vol. 49 no. 310 Sao Paulo.
- [5] Mari, Eduardo. *Los Materiales Cerámicos*. Librería y Editorial Alsina, 1998
- [6] Vittel, Claude; " *Cerámica (pastas y vidriados)*"; Editorial paraninfo; Madrid, 1986.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Facultad de Ingenieria y el Consejo de Investigacion de la Universidad Nacional de Salta