Universidad Autónoma Metropolitana
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

División de Ciencias Básicas e Ingenierías

Ingeniería Mecánica

Propuesta de proyecto de integración:

Comprobación de la relación intrínseca que existe entre la porosidad y las propiedades termo-mecánicas del ladrillo refractario empleado en los hornos alfareros tradicionales.

Modalidad: Proyecto de investigación

Versión: Primera

Trimestre Lectivo: 20-I

Datos del alumno:

Nasser Mubarqui Guevara
2132001722
gering.coop@gmail.com
al2132001722@azc.uam.mx
6122892472

Firma:

Datos de Asesora:

Dra. María Elizabeth del Refugio García
Asociado
Departamento de Materiales
5527122060
merg@azc.uam.mx

Firma:

Junio/2020

1. Introducción

En el presente trabajo se tiene la finalidad de hacer la propuesta para la investigación necesaria referente a los materiales refractarios, específicamente para este trabajo, el ladrillo utilizado para la construcción de hornos alfareros es el principal interés de estudio. Se pretende desarrollar la experimentación adecuada para obtener la verdad científica en cuanto a la composición química del ladrillo así como los estudios necesarios para la obtención de otras características y propiedades esenciales como su porosidad, solubilidad, resistencia mecánica y por supuesto, su conductividad térmica. Esto para comprobar la relación intrínseca que existe entre la porosidad y las propiedades termo-mecánicas. Los métodos experimentales están basados en la revisión y el análisis de artículos científicos relacionados con el tema [1].

El ladrillo refractario utilizado en la práctica alfarera está compuesto principalmente de arcilla, misma que a su vez está compuesta en mayor proporción por óxido de Sílice (SiO_2), óxido de aluminio, también conocido como Alúmina (Al_2O_3) y en menor proporción por otros óxidos metálicos tales como el óxido de hierro (Fe_2O_3) y Óxido de Calcio (CaO). Para su elaboración, se mezcla la tierra arcillosa con agua, formando así un lodo de barro, el cual se bate con otros agregados para incrementar las propiedades refractarias y aislantes. Estos agregados son los que se estudiarán, pues se hará una comparación de las propiedades mecánicas y térmicas que se obtienen a partir de los agregados orgánicos utilizados habitualmente contra agregados inorgánicos de desperdicio que son propuestos por la literatura [1, 2].

Se realizarán las muestras para llevar a cabo las pruebas de resistencia mecánica atendiendo a la norma (ASTM C133). De igual forma se harán las muestras para llevar a cabo las pruebas experimentales que nos darán información acerca de la conductividad térmica del ladrillo (ASTM E1530). También se estudiarán la porosidad aparente, la absorción de agua y la densidad (ASTM C20 y ASTM C357). Por último pero no menos importante, se determinará la composición química de la arcilla utilizada para la fabricación del ladrillo refractario (ASTM C114).

2. Antecedentes

En la literatura científica se pueden encontrar diversas investigaciones relacionadas con el estudio de las propiedades físicas y químicas de los materiales refractarios y como estas se relacionan con los materiales agregados formadores de espacio, también llamados materiales fugitivos [3]. Está comprobado científicamente por distintos autores que existe una relación directa entre la porosidad y las propiedades térmicas del material ya que al aumentar los pequeños intersticios de aire en estos materiales, se pueden incrementar las propiedades refractarias y aislantes, así como se favorece su desempeño en altas temperaturas. Estos estudios tienen un común denominador y es que están relacionados con la demanda social en cuanto a la reducción del consumo de energía y el uso eficiente de la misma. Se reconoce que, el estudio y el desarrollo de los materiales refractarios es necesario para poder reducir el impacto ambiental que genera la industria de la construcción, creando materiales aislantes y resistentes a la vez que se reducen los desperdicios que también dejan consigo una huella ambiental [1-3].

Debido a la naturaleza química de la arcilla utilizada para la fabricación de este tipo de ladrillos refractarios, existe en ella un contenido de Alúmina (Al_2O_3) en la composición del material. La

estructura cristalina de este compuesto favorece a la resistencia mecánica del ladrillo [1] pero también tiene una conductividad térmica alta [3] y es por esto que se utilizan los materiales agregados que en muchos procesos pueden considerarse desechos, como plásticos, serrín y colillas de cigarros, estos son llamados materiales fugitivos o de soporte de espacio, permiten que aumente su porosidad y por ende, su propiedad aislante. La porosidad máxima que se puede alcanzar usando materiales fugitivos es alrededor de 60-70%. Esto constituye un límite para la composición del ladrillo refractario [1-4].

El diagrama de fases y el diagrama triaxial son una gran herramienta utilizada como guía para el desarrollo de los trabajos académicos referentes al estudio de los materiales cerámicos. De igual manera la ASTM (American Society Testing and Materials) ha sistematizado la información para hacer mediciones térmicas en los materiales cerámicos. Empleando modelos y equipos experimentales prácticos y al alcance. También existen investigaciones basadas en el estudio de ladrillos refractarios y su porcentaje de composición de alúmina [4].

3. Justificación

La ciencia está respondiendo a una demanda social generalizada que busca revertir el impacto ecológico de las actividades humanas. Es bien sabido que la industria de la construcción es una de la más contaminantes y que las actividades humanas en su mayoría, generan desperdicios que no son reutilizados y muchos de estos dejan una enorme huella ecológica, un claro ejemplo de esto son las colillas de cigarro (CCs) en donde se almacenan los químicos del mismo, una vez que se consumen por el humano, muchas de las veces son arrojadas al aire sin importar su destino final, se pueden encontrar en el estómago de algún animal marino, de aves o en su mayoría son transportadas por las escorrentías de las lluvias a una destinos que terminan contaminados por estas [2, 4].

Como ya se ha mencionado anteriormente, durante el proceso de fabricación del ladrillo refractario se utilizan materiales fugitivos para la formación de poros, mismos que incrementan la propiedad térmica de aislante, sacrificando un poco la resistencia mecánica. Se ha decidido direccionar el proyecto hacia la comparación de las propiedades térmicas y mecánicas de dos procesos distintos para la fabricación de ladrillo refractario, utilizando dos tipos diferentes de material fugitivo para la creación del poro 1) Serrín como material fugitivo de referencia y 2) Colillas de cigarro como material fugitivo.

4. Objetivos

Objetivo general
Comprobar de la relación intrínseca que existe entre la porosidad y las propiedades termo-mecánicas de compuestos del ladrillo refractario empleado en la construcción de hornos de alfarería.

Objetivos específicos
Fabricar muestras de ladrillos refractarios compuestos a base de arcilla y utilizando el serrín como material fugitivo, variando las concentraciones de serrín al 10, 20, 30 por ciento de su volumen total.

Fabricar muestras de ladrillos refractarios compuestos a base de arcilla y utilizando colillas de cigarro como material fugitivo, variando las concentraciones del mismo al 10, 20, 30 por ciento de su volumen total.

Determinar la resistencia mecánica a la compresión de las diferentes muestras y comparar resultados.

Determinar la conductividad térmica de las diferentes muestras y comparar resultados.

5. Metodología

5.1. Marco teórico

Para el planteamiento de la metodología experimental de este trabajo es necesario tener claridad en cuanto algunos procesos. El ladrillo refractario es utilizado en la construcción, sobretodo de hornos ya que este material muestra una gran capacidad energética y aislante.

La composición química del barro y las pastas cerámicas que pueden ser obtenidas del mismo, han sido estudiadas y se sabe que las propiedades físicas de un material cerámico dependen de la concentración porcentual en que se encuentra cada uno de los tres grupos que componen estas pastas: 1. Arcilla, 2. Sílice, 3. Feldespato. El diagrama triaxial es utilizado para esta parte del proceso pues es el referente para variar los porcentajes de cada uno de los componentes de la mezcla como se muestra en la figura 1.

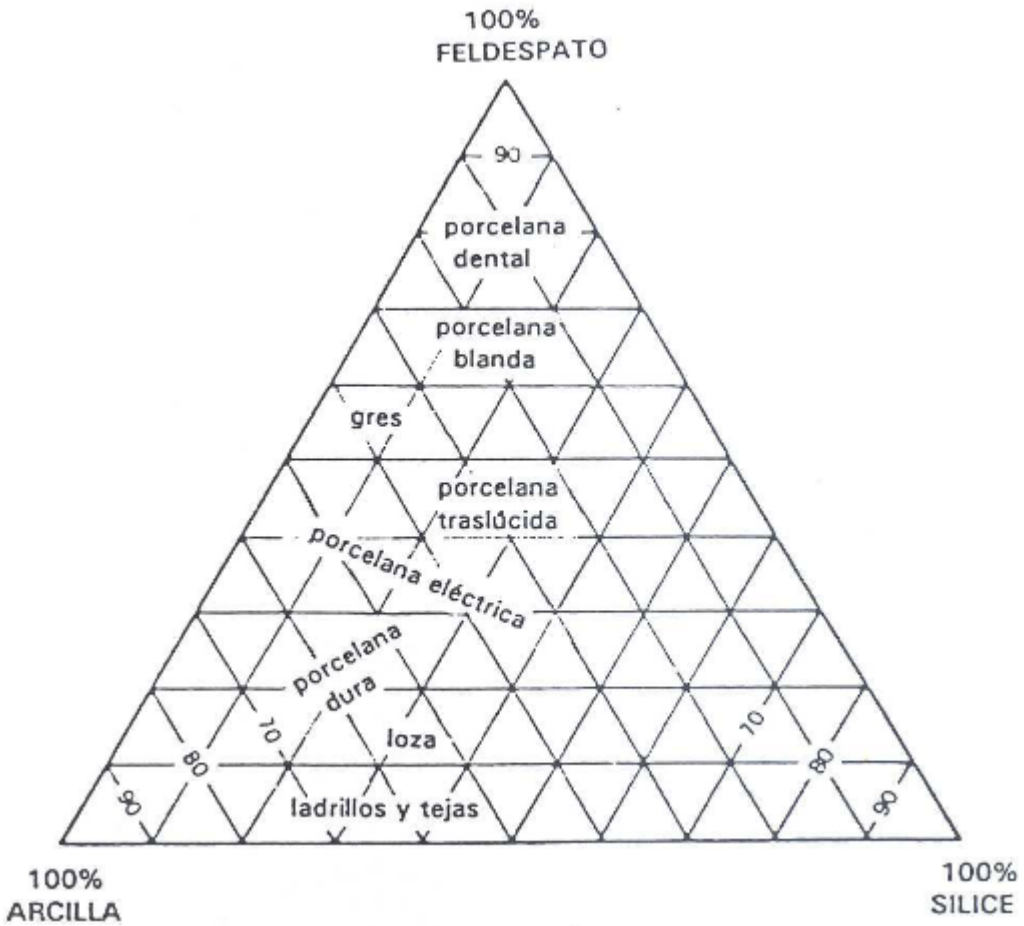

Figura 1. Diagrama triaxial utilizado para realizar las pastas cerámicas.

5.2. Procedimientos experimentales

5.2.1. Procesamiento de materia prima. Fabricación de ladrillos y especímenes.

Se realizarán cuatro ladrillos refractarios de composición base arcilla de dimensiones estándar de 24x11x10, variando el porcentaje de agregados formadores de poro (serrín y CCs). Se harán dos lotes principales con la misma composición básica. Para cada lote, es necesario primero triturar y cernir 20 kg de tierra arcillosa, esto se hará para lograr un tamaño de partícula más pequeño de aproximadamente 0.004 mm. Esta mezcla en polvo se dejará reposando con suficiente agua por unos 20 min. Es necesario batir para lograr una mezcla homogénea. Una vez obtenida la homogeneidad deseada por cada lote, éste se separará en tres partes iguales para añadir los materiales fugitivos en tres distintas proporciones 10, 20 y 30 por ciento de su volumen total. A continuación se crearán las geometrías de los especímenes que para este caso se ha seleccionado una geometría prismática de 65 x 65 x 40 mm. En seguida, se someterá a un proceso de secado al sol por una semana para después pasar al proceso de cocción en el horno alfarero en donde se elimina la mayor parte de la humedad de la muestra, quemándose alrededor de los 900°C. Al concluir este proceso de quema, los especímenes se someten a un proceso de enfriamiento natural de un día. Este proceso se realizará en el Centro de Estudios Alfareros (CEA).

5.3.2. Determinación de composición química

Con el fin de conocer la composición en porcentaje de masa se utilizará el método instrumental de espectroscopía de absorción atómica. Su funcionamiento está basado en la absorción de energía en los átomos elementales del compuesto.

5.3.3. Determinación de la densidad y porosidad aparente

La densidad aparente es el cociente entre la masa de producto y el volumen aparente del mismo. El volumen aparente es el que está delimitado por sus geometría. La densidad real es el cociente entre la masa del producto y su volumen real. El volumen real es el que considera también los espacios de los poros [2].

$$\rho_{aparente} = m / V_{aparente}$$

$$\rho_{real} = m / V_{real}$$

Una vez conocidas estas densidades, es posible calcular la porosidad aparente mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = (\rho_{real} - \rho_{aparente}) / \rho_{real}$$

Para esta el desarrollo experimental es indispensable una báscula de laboratorio.

5.3.4. Determinación de conductividad térmica

Para medir la conductividad térmica de materiales refractarios se utiliza el método experimental del dispositivo de la placa caliente en donde se coloca la muestra del ladrillo encima de la superficie a calentar (resistencia eléctrica), se colocan termopares en las superficies de la muestra y se miden las temperaturas en las distintas partes del arreglo como se muestra en la figura 2. [4-8].

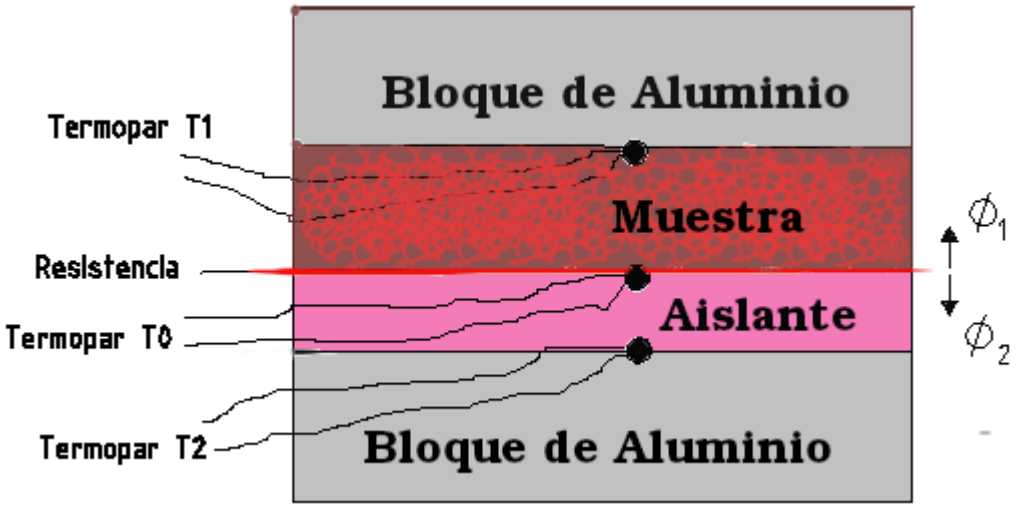

Figura 2. Dispositivo experimental de la placa térmica para medir conductividad. [4].

5.3.4.Determinación de la resistencia mecánica a la compresión

Cada uno de los especímenes se someten al ensayo de compresión que, en esencia, determina la resistencia del material ante un esfuerzo aplicado. Para este ensayo es necesaria la máquina servohidráulica del laboratorio de materiales. Se analizan y se comparan resultados.

6. Normatividad

NOM-008-SCFI-2002. Sistema General de Unidades de Medida. Esta norma ofrece una guía al trabajo en cuanto al manejo de unidades de los datos recopilados. Establece las definiciones, símbolos y reglas de escritura de las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) y otras unidades fuera de este Sistema que acepte la CGPM, que en conjunto, constituyen el Sistema General de Unidades de Medida utilizado en los diferentes campos de la ciencia, la tecnología, la industria, la educación y el comercio.

NMX-C-189-ONNCCE-2010. Industria de la construcción - Materiales termoaislantes - Determinación de la transmisión térmica (Aparato de placa caliente aislada). Establece el método de ensayo para la determinación de la transmisión térmica de los materiales termoaislantes en estado estacionario

utilizando un aparato calefactor de placas aisladas. Este método está limitado a especímenes cuya resistencia térmica sea mayor de 0,017K m2 W-1 en todas direcciones.

NMX-C-228-ONNCCE-2013. Industria de la construcción - Materiales termoaislantes - Determinación de la adsorción de humedad y absorción de agua. Establece los métodos de ensayo para determinar la adsorción de humedad y la absorción de agua. Es aplicable a los materiales termoaislantes. No aplica para materiales con recubrimiento.

NMX-C-238-ONNCCE-2010. Industria de la construcción - Materiales termoaislantes - Terminología. tiene por objeto establecer un lenguaje común que unifique la terminología empleada para los productos termoaislantes que se emplean en la industria y la construcción nacional. Aplica a toda la normativa nacional que haga referencia a los materiales termoaislantes.

7. Cronograma de actividades

Se considera el siguiente cronograma de actividades:

	Actividades experimentales del trimestre 20-P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Fabricar muestras del material												
2	Determinar composición química de la arcilla												
3	Determinar la porosidad del material												
4	Determinar conductividad térmica												
5	Determinar resistencia a la compresión												
6	Estudiar bases matemáticas (estadística y física)												
7	Analizar resultados												
8	Redactar el reporte final												
9	Entregar el reporte final												
10	Revisar la bibliografía												

8. Entregables

Reporte final de proyecto con:

Resultados
Con el análisis de los datos recabados experimentalmente se pretende completar las siguiente tablas para la presentación de resultados:

Tabla 1. Composición Química de la arcilla
Tabla 2. Composición química de la mezcla para ladrillo refractario
Tabla 3. Solubilidad
Tabla 4. Conductividad térmica del ladrillo
Tabla 5. Porosidad del ladrillo
Tabla 6. Resistencia mecánica del ladrillo.
Gráficas:
G1. Resistencia mecánica vs. Conductividad térmica
G2. Porosidad vs. Conductividad Térmica
G3. Densidad vs. Conductividad térmica.

Conclusiones
¿Qué nos muestran los datos y los resultados?

9. Referencias Bibliográficas

[1] Muñoz P., Morales M.P., Letelier V. and Mendívil M.A., 2016. "Fired clay bricks made by adding wastes: Assessment of the impact on physical, mechanical and thermal properties", Construction and Buildings Materials 125, 241-252.

[2] Amira Sarani N. and Abd Kadir A., 2013, "Thermal Conductivity Of Fired Clay Bricks Incorporated With Cigarette Butts", Advanced Materials Research Vols. 690-693, pp 919-924.

[3] Shimizu T.,Matsuura K., Furue H. and Matsuzak K., 2012. "Thermal conductivity of high porosity alumina refractory bricks made by a slurry gelation and foaming method", Journal of the European Ceramic Society 33, 3429–3435.

[4] RUH E. and McDOWELL, J., "Thermal Conductivity of Refractory Brick", Journal of the American Ceramic Society 45, 189-195.

[5] Laaroussi N., Lauriat G., Garoum M., Cherki A. and Jannot Y., 2014, "Measurement of thermal properties of brick materials based on clay mixtures". Journal of Construction and Building Materials 70. 351–361.

[6] Jannot Y., Schaefer S., Degiovanni A., Bianchin J. and Fierro V., 2019, "A new method for measuring the thermal conductivity of small insulating samples". Review of Scientific Instruments, American Institute of Physics, 2019, 90 (5), pp.054901.

[7] Lira-Cortés L., González Rodríguez O. J. and Méndez-Lango E.“Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones”. Simposio de metrología 2008.

[8] Rani J., Singh K.J. and Singh R., 2015, “An approach for Measuring Thermal Conductivity of Bricks using Transient Hot Wire method”. IJEDR | Volume 3, Issue 4 | ISSN: 2321-9939.

[10] Hideomi Kodama, 2013, “Clay mineral”, de https://web.archive.org/web/20140421194347/http://global.britannica.com/EBchecked/topic/120723/clay-mineral.

[11] Chang, R., 2007, “Química”, Novena ed., Mc Graw Hill, México., pp. 1110.

[12] Industrial Mineral Association, 2003, “Feldespar. *What is Feldespar?*”, de https://web.archive.org/web/20080215184749/http://www.ima-na.org/about_industrial_minerals/feldspar.asp.

10. Terminología

La ***arcilla*** es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito.
Físicamente se considera como un coloide (líquido y sólido). Químicamente se puede considerar como un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\mathbf{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O.}$ [10]

Un ***coloide*** es un sistema conformado por dos o más fases, una fluida y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas. [11]

Los ***feldespatos*** son un grupo de minerales tectónicos y aluminosilicatos que corresponden en volumen a tanto como el 60 % de la corteza terrestre. Su fórmula química genérica del grupo es: $\mathbf{(K,Na,Ca,Ba,NH_4)(Si,Al)_4O_8}$. [12]

Un material ***refractario*** es aquel que posee la propiedad de resistir altas temperaturas, incluso el fuego directo, sin descomponerse.

11. Infraestructura

Para la determinación de la resistencia mecánica del ladrillo se hará uso del laboratorio de materiales de la UAM-Azcapotzalco.

Para las pruebas de conductividad térmica se contará con el apoyo del departamento de Energía de la UAM-Azcapotzalco. Se cuenta con un dispositivo de placa caliente con fibra cerámica para su aislamiento y termopares.

Para las pruebas de composición, solubilidad y porosidad es necesario contar con un laboratorio de química ya sea en la UAM-Azcapotzalco o en UAM-Iztapalapa.

Para fabricar el material se contará con el apoyo del centro de estudios alfareros (CEA)

12. Asesoría Complementaria

Se contará con el apoyo y asesoría complementaria por parte del lic. Domingo Martínez Romero, integrante del equipo del CEA.

13. Publicación o difusión de resultados

La publicación de este trabajo se encontrará disponible en el archivo digital de la UAM-Azcapotzalco.