



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

FABRICACIÓN DE LADRILLOS AISLANTES Y REVESTIMIENTOS CERÁMICOS CON DIATOMITAS DE SAN JUAN, ARGENTINA

Dalia Susana Saldarriaga Rangel

Piura, 16 de Julio de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y Sistemas

Julio 2009



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Fabricación de ladrillos aislantes y revestimientos cerámicos con diatomita de San Juan, Argentina.”

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas

DALIA SUSANA SALDARRIAGA RANGEL

Asesor: Dr. Ing. José Luis Barranzuela Queneche

Piura, Mayo 2009

“A mis padres ,abuelos y hermanos por su apoyo
constante e incondicional”

Prólogo

La diatomita se usa en todo el mundo para variadas aplicaciones dependiendo de su pureza y del contenido de impurezas. La diatomita de alta pureza se usa principalmente como material filtrante, producto de alto valor agregado. Aquella diatomita con menor grado de pureza, como la de San Juan y la de Bayóvar, se usa en la producción de materiales aislantes, productos de alto/medio valor agregado.

El rol de los aislantes en la industria es vital, sobretodo en estos momentos en que los combustibles convencionales han alcanzado un precio record histórico, ya que contribuyen notablemente al ahorro energético cuando se les utiliza como recubrimiento en hornos y/o tuberías de vapor.

De allí el interés en evaluar las diatomitas como materia prima valiosa para la elaboración de productos aislantes.

En la Universidad de San Juan se han estudiado las diatomitas desde el año 1993 para su aplicación como material filtrante, Diatomitas de San Juan para uso en filtración (Zuletta, Mario). No se tiene estudios de la aplicación de la diatomita para la fabricación de materiales aislantes. Sin embargo se han realizado experiencias con ladrillos realizados a base de diatomita y arcillas que han indicado variaciones de temperatura muy grandes entre la superficie caliente, expuesta a una fuente de calor y la cara opuesta. Esto nos da un indicio de la capacidad del material para impedir el paso del calor y de su posible aplicación como material aislante.

Un agradecimiento especial a mi asesor y profesor Doctor José Luis Barranzuela, por su paciencia e invaluable apoyo durante la realización del presente trabajo y al Doctor Daniel Marino de Universidad de San Juan por su constante apoyo.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es investigar la factibilidad de uso de las tierras diatomeas de la provincia de San Juan, Argentina, para la fabricación de ladrillos y cerámicos aislantes. Para la investigación se realizaron análisis físicos de probetas cerámicas y ladrillos con diferentes porcentajes de diatomita.

Para la fabricación de ladrillos y cerámicos primero se preparó la mezcla con agua y se agregó el mineral en diferentes proporciones, luego se realizó el moldeo/prensado, siguiendo con el secado y la cocción.

Los resultados de los análisis físicos obtenidos con ladrillos nos indican que si agregamos diatomitas a la mezcla, sus propiedades térmicas mejoran y las propiedades mecánicas, en cambio disminuyen.

Para los revestimientos cerámicos los resultados para la mezcla uno preparada con arcilla verde no son favorables ya que el gradiente de temperatura no presenta variación al incrementarse el porcentaje de diatomitas. Para la mezcla que contiene arcilla marquesita y diatomitas se observa una disminución del gradiente de temperatura cuando el porcentaje de diatomita aumenta

La abundancia del mineral en la provincia de San Juan justifica la realización de un estudio más profundo para definir nuevas aplicaciones de este mineral. Para la realización de este estudio no se contó con análisis termo gravimétrico y térmico diferencial del mineral. Estos estudios nos hubieran brindado información como: pérdida en peso y reacciones que acontecen a diferentes intervalos de temperatura además permitirán diseñar programas de cocción óptimos para la fabricación de ladrillos y cerámicos.

Índice

Prólogo	I
Resumen	III
Índice	V
Introducción	IX
Capítulo 1: Diatomitas y sus aplicaciones	1
1.1 Concepto y tipos de diatomitas	2
1.2 Aplicaciones	2
1.3 Propiedades físicas y químicas	3
1.4 Clasificación de las diatomeas	4
1.5 Diatomita en Argentina	4
1.5.1 Diatomita en San Juan	6
1.5.2 Ubicación del yacimiento “La Iglesiasiana”	7
1.5.3 Geología regional y local	7
1.5.4 Origen	8
1.5.5 Explotación	8
1.5.6 Procesamiento	10
1.5.7 Características químicas de la diatomita	12
1.5.8 Ubicación del yacimiento Cerro de la Luna	12
1.5.9 Explotación del mineral	15
1.5.10 Características químicas y estructurales de la diatomita	15
1.5.10.1 Análisis químico	15
1.6 Industria cerámica	16
1.6.1 Clasificación	17
1.6.2 Proceso de fabricación de materiales cerámicos	17
1.6.2.1 Materias Prima	17
1.6.2.2 Moliendas	17

1.6.2.3	Técnicas de conformado	18
1.6.2.4	Secado	19
1.6.2.5	Cocción	19
1.7	Revestimientos cerámicos. Generalidades	20
1.7.1	Proceso de fabricación	21
1.8	Aislantes térmicos. Generalidades	21
1.8.1	Proceso de fabricación	21
1.8.2	Diatomita de San Juan como aislante	22
1.8.3	Clasificación de materiales aislantes	22
Capítulo 2: Efectos de la diatomita en las propiedades mecánicas y térmicas de ladrillos		23
2.1	Transferencia de calor	23
2.2	Proceso de fabricación de ladrillos	24
2.3	Materias primas	
2.3.1	Trituración y molienda	24
2.3.2	Análisis granulométrico	24
2.4	Variables de producción en la confección de ladrillos	25
2.4.1	Granulometría	25
2.4.2	Composición de la pasta aislante	27
2.4.3	Porcentaje de agua	28
2.4.4	Temperatura	29
2.5	Control de calidad	34
2.5.1	Propiedades físico – mecánicas	34
2.5.1.1	Densidad	34
2.5.1.2	Porosidad	35
2.5.1.3	Resistencia mecánica	36
2.5.2	Propiedades térmicas	37

2.5.2.1 Conductividad térmica	37
2.6 Cálculos y resultados	40
2.6.1 Densidad global	40
2.6.2 Densidad real	41
2.6.3 Porosidad	42
2.6.4 Resistencia mecánica	43
2.6.5 Conductividad térmica	45
2.7 Control de calidad	47
Capítulo 3: Efecto de la diatomita en las propiedades mecánicas y aislantes de revestimientos cerámicos	51
3.1 Preparación de probetas	52
3.1.1 Determinación de la mezcla	53
3.1.2 Proporción de la mezcla	55
3.1.3 Preparación de la mezcla	55
3.1.4 Prensado	56
3.1.5 Cocido	56
3.2 Control de calidad	56
3.2.1 Resistencia mecánica a la flexión	56
3.2.2 Medida de la absorción	56
3.2.3 Medida del porcentaje de contracción después del cochura	57
3.3 Cálculos y resultados	57
3.3.1 Resistencia mecánica a la flexión en verde	57
3.3.2 Absorción de agua o porosidad	61
3.3.3 Contracción después de la cochura	61
3.3.4 Gradiente de temperatura	62
Conclusiones y recomendaciones	69
Bibliografía	73

Introducción

La diatomita es un mineral de origen orgánico cuyas propiedades físicas como baja densidad, baja conductividad térmica, elevada área superficial y alta porosidad lo hacen apropiado para variadas aplicaciones que van desde su uso como material filtrante, el más conocido, hasta su aporte en la fabricación de materiales de construcción.

En el Capítulo I del presente trabajo se realiza una investigación de la composición química de este mineral, la cual varía dependiendo del origen del yacimiento. Utilizamos mineral de dos yacimientos de la provincia de San Juan: La Iglesiasiana y Cerro de la Luna.

En el Capítulo II, se desarrolla el estudio de factibilidad de uso del mineral proveniente del yacimiento Cerro de la Luna para la manufactura de ladrillos aislantes. Se fabricaron diferentes tipos de ladrillos con diferentes contenidos de diatomita y se sometieron a ensayos físicos a fin de relacionar las propiedades físicas con el contenido de diatomita.

En el Capítulo III, se desarrolla el estudio para evaluar la factibilidad de uso de la diatomita del yacimiento la Iglesiasiana, para la fabricación de revestimientos cerámicos. Para ello se prepararon dos mezclas de arcillas típicas utilizadas para la fabricación de cerámicos. Se fabricaron revestimientos con ambos tipos de arcillas, a las cuales se añaden diferentes proporciones de diatomita.

Las probetas realizadas se sometieron a ensayos físicos como resistencia mecánica a la flexión en verde, resistencia mecánica después de la cocción, porosidad y gradiente de temperatura para comparar su variación con el contenido de diatomita.

Los resultados de los análisis realizados nos permiten concluir que la introducción de este mineral en la fabricación de ladrillos y cerámicos mejora las propiedades térmicas de ambos materiales, con lo que se comprueba la capacidad aislante del material. Los ladrillos aislantes cumplen con la norma **IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) 12530**, con porosidad superior al 45%.

Capítulo 1

Diatomitas y sus aplicaciones.

1.1. Concepto y tipos de diatomitas

Con el nombre de diatomita o tierras diatomeas se conoce a una clase de sustancias minerales no metálicas compuestas en su mayor parte por frústulas o micro esqueletos silicios de diatomeas. Según la Nomenclatura Mineralógica Internacional, que se basa en las respectivas composiciones químicas, la diatomita se considera una variedad del ópalo, especie mineral de la clase del silicio, cuya unidad fundamental es el agrupamiento de iones silicio-oxígeno de fórmula $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Cabrera, 1963).

Las diatomeas son prolíficas y microscópicas algas acuáticas unicelulares, del género de las bacilariáceas que viven tanto en el mar como en aguas dulces y salobres expuestas al aire y a la luz. Éstas poseen dos valvas silíceas situadas dentro de la capa externa del plasma. El tamaño de la valva de la diatomea varía según la especie, aproximadamente entre 5 y 150 μm de diámetro.

Este organismo tiene la capacidad de extraer sílice de su hábitat natural acuoso. Cuando el organismo muere se hunde dentro del medio acuoso, formando un sedimento de carácter orgánico. La descomposición del residuo orgánico deja paso a la acumulación de los caparazones silíceos, los cuales se van compactando para convertirse en depósitos potenciales de diatomita (Talledo, 1989).

La pureza de los depósitos depende principalmente, de la presencia en medio acuoso de contaminantes que pueden incorporarse a los caparazones del microorganismo. Estas impurezas pueden ser fósiles acuáticos (residuos de esponjas, radiolarios, sílico flagelados), arena, arcilla, ceniza volcánica, carbonatos cálcicos y magnésicos, sales solubles y materia orgánica (Talledo, 1989). La cantidad de impurezas es sumamente variable y depende de las condiciones de sedimentación en el momento que se depositan las diatomeas (Viera, 1983).

Por las formas generales y la orientación de sus frústulas, se puede determinar mediante observaciones microscópicas, si las diatomeas que integran un material diatomítico, se formaron en aguas dulces (lagos o pantanos) o tuvieron su origen en aguas del mar (Cabrera, 1963). Esto conviene conocerlo por las distintas aplicaciones industriales que tienen ambas.

El mayor porcentaje de frústulas sanas, respecto de rotas o trituradas se encuentra íntimamente ligado con la cantidad filtrante, decolorante y de absorción. Según su coloración vinculada estrechamente a su composición, se las puede clasificar en tres tipos comerciales (Rosario Minerales, <http://rosario-minerales.com.ar>):

- **Diatomita extra:** de colores blancos, apariencia limpia.
- **Diatomita de primera:** de colores muy blanquecinos.
- **Diatomita de segunda:** con colores grisáceos o amarillentos blanquecinos.

Algunos nombres comerciales de la diatomita son: “Celaton”, “Dicalite”, “Microsil”, “Kenite” y “Diactiv”.

1.2. Aplicaciones.

Las diatomitas se usan principalmente como:

- Elemento filtrante: para clarificación de cerveza, vino, licores azucarados, zumos y aceites comestibles.
- Absorbente: en forma sólida o pulverizada, mezclándolas con líquidos, debido a la cualidad que presentan de absorber entre 150 y 200% su peso de agua, sin perder su forma. Esta cualidad se aprovecha para embeber sustancias en ella como desinfectantes e insecticidas. También se utiliza como soporte de pesticidas y catalizadores, lechos de animales.
- Carga o material de relleno (*filler*): en pinturas, plásticos, caucho, papel, pasta y moldes dentales. También en la preparación de jabones pastillas y comprimidos medicinales, fertilizantes y otras muchas aplicaciones más.

- Aporte de sílice: para el cemento Pórtland, elaboración de silicatos sintéticos y productos aislantes o ignífugos.
- Abrasivo suave: en polvo para la preparación de pasta de dientes, en ciertas pastas de jabones y materiales de limpieza. También se emplean en el pulimento de superficies metálicas, vidrios, etc.
- Material aislante del calor y del ruido: En forma natural, como bloques aserrados o en forma de ladrillos hechos con diatomitas pulverizadas y arcillas u otros aglutinantes. Su utilización industrial se lleva a cabo en la fabricación de empaquetaduras, cubiertas aisladoras de tuberías, aislamiento de hornos, en la fabricación de planchas aisladoras de ruidos para recubrir paredes y cielos rasos. También se utiliza para manufacturar cementos especiales refractarios.
- Materiales de construcción: como aditivos para el concreto con la finalidad de mejorar la homogeneidad y manejabilidad de éste. También permite mejorar su impermeabilidad final.
- Lechos de animales: en forma granular envuelve las eyecciones de los animales y elimina los malos olores. Se utiliza extendiendo una capa de los granos de aproximadamente 6 cm de espesor en una caja.

Actualmente se han descubierto aplicaciones de la diatomita en ciencias forenses y arqueología.

1.3. Propiedades físicas y químicas

Las principales propiedades de las diatomitas son:

- Dureza Mohs
 - Tierra natural : 4,5 – 5,0
 - Dureza Mohs - Tierra calcinada : 5,5 – 6,0
- Gravedad específica (g/cm^3)
 - Real : 2,1 - 2,2
 - Aparente (bloques secos) : 0,45
 - Aparente (polvo seco) : 0,80 - 0,13
- Raya : Blanca
- Brillo : Mate y terroso
- Fractura : De pulverulenta a sub-concoidal
- Transparencia : Opaca
- Tenacidad : Desmenuzable a friable
- Solubilidad : Insoluble en ácidos
- Índice refractario
 - Tierra natural : 1,44 - 1,46
- Índice de refracción (calcinada) : 1,49
- Adsorción de agua (% en peso) : 100 - 400

Cristalográficamente, la diatomita es microamorfa, aunque bajo la luz del microscopio aparecen amorfas. La difracción de rayos X, indica la predominancia de β -

cristobalita y de una aproximación de la α -cristobalita. Esto nos indica que la diatomita es isotrópica.

La estructura esquelética diatomítica, de baja densidad, alta capacidad de adsorción, gran área superficial, baja conductividad térmica, baja capacidad de abrasión, le permite a la diatomita diversas aplicaciones industriales.

La composición química de la diatomita se describe en la Tabla I.1:

Tabla I.1. Composición química de la diatomita.

Componente	Composición (%)
SiO ₂	65-95
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0,2-0,8
CaO + MgO	0,1-7
K ₂ O + Na ₂ O	0,0-5
H ₂ O + Materia orgánica	4 – 15

1.4. Clasificación de las diatomeas

Existen más de 10 000 variedades de diatomeas, en la Figura 1.1 se muestran algunas de ellas.

1.5 Diatomita en Argentina

En Argentina, el principal yacimiento de diatomita se encuentra ubicado en la Provincia del Río Negro, localidad de Ingeniero Jacobacci. Este yacimiento produce el 98,40% del total de diatomita producida a nivel nacional. La conformación geológica del lugar está dada por una cubierta sedimentaria que recibió aportes areno-limo arcillosos y volcánicos recurrentes durante los periodos terciario y cuaternario principalmente.

Existen en la actualidad tres plantas de tratamiento de diatomita: dos ubicadas en la localidad de Ingeniero Jacobacci, donde se realiza la trituración y molienda para obtención de granulados y absorbentes (camas de gatos); la otra ubicada en Padre Stefenelli, que posee una capacidad de producción de 2500 t/mes y está destinada a obtener productos filtrantes de alta calidad y pureza.

Otros yacimientos como Tinocán y Paschiñango se encuentran en la provincia de la Rioja, en el departamento de Auruco. En la provincia de Pampa, se encuentra otro yacimiento de diatomita, en Casa de Piedra, posee tres minas con una reserva de 500 000 t. Este mineral se destina para uso como tierra filtrante (Figura 1.2

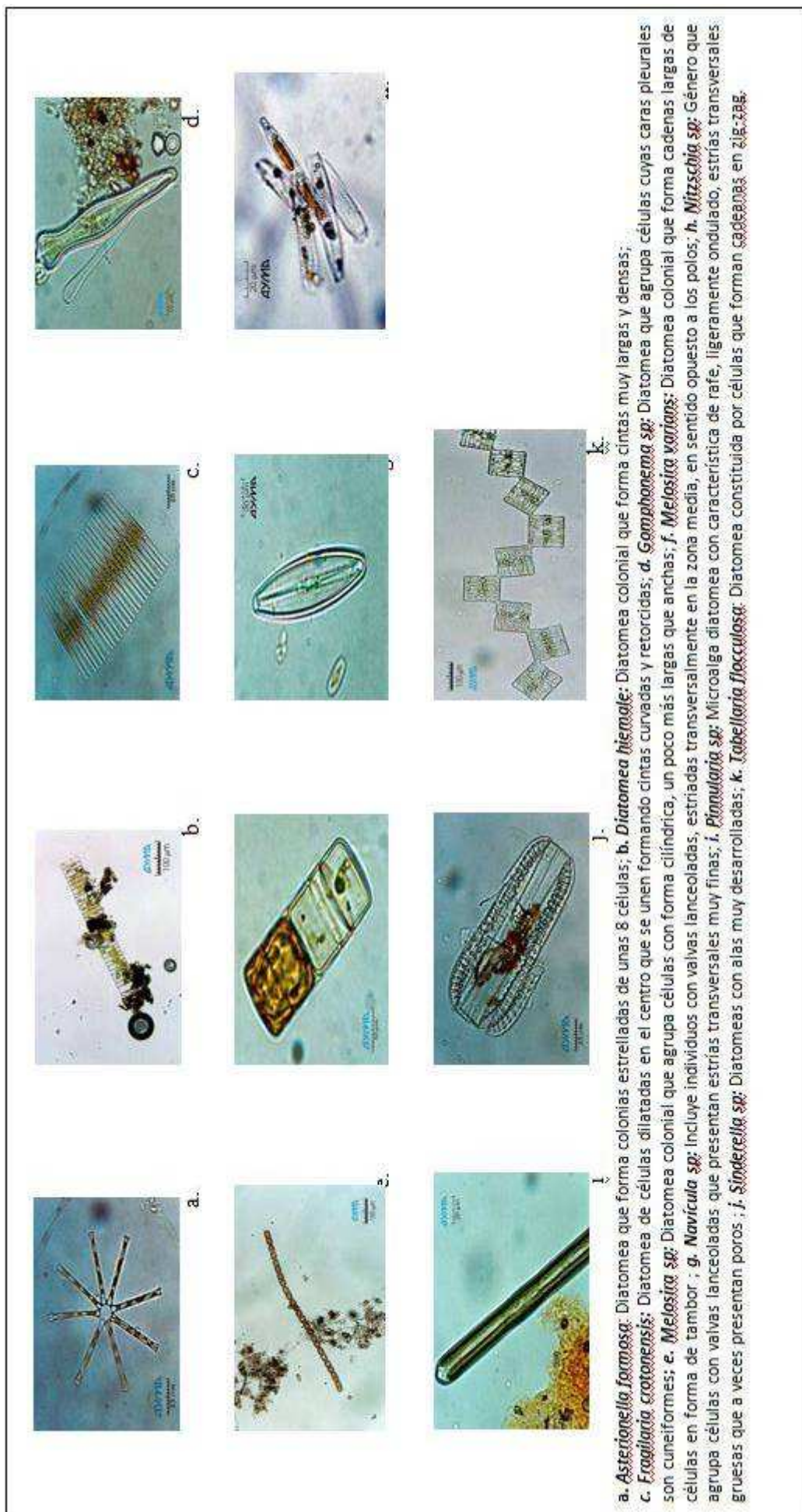


Figura 1.1. Clasificación de diatomita

1.5.1. Diatomita en San Juan

En la provincia de San Juan se conocen tres yacimientos de diatomita. Estos son:

- Cerro de la Luna, La Iglesiasiana en el departamento de Iglesia.
- Quebrada de las Burras, departamento de Calingasta.

Para fines del presente trabajo se hará referencia a dos yacimientos pertenecientes al departamento de Iglesia. La primera parte del trabajo referida a la fabricación de revestimientos cerámicos, se realizó con el mineral del yacimiento La Iglesiasiana, la segunda parte referida a la fabricación de ladrillos aislantes se realizó con material proveniente del yacimiento Cerro de la Luna.



Figura 1.2. Principales yacimientos de diatomita en Argentina.

1.5.2. Ubicación del yacimiento “La Iglesiasiana”

El yacimiento La Iglesiasiana se encuentra ubicado entre la zona denominada “Pampa de Avestruces” y “Las Vegas”. A este yacimiento se accede viajando desde San Juan (capital) por la ruta nacional N° 40 hasta el paraje Talacasto. Posteriormente se toma la ruta provincial N° 436 hasta la localidad de Iglesia, seguida por la ruta Provincial N° 412 (pasando la localidad de Bellavista).

Aquí se encuentra la huella por donde se accederá al yacimiento, el cual se encuentra al lado izquierdo del camino (Figura 1.3).

El yacimiento posee una reserva estimada en 152 475,77 t y se estima una vida útil de 15 años.



Figura 1.3. Acceso al yacimiento “La Iglesiasiana”.

1.5.3. Geología regional y local

El yacimiento se ubica sobre la margen occidental de la Precordillera, que está separada de la Cordillera Frontal por el valle de Uspallata-Calingasta-Iglesia. Se ubica al margen oriental del Valle de Tocota-Calingasta-Uspallata (Figura 1.4).

1.5.4. Origen

El yacimiento de origen lacustre está emplazado en sedimentitas del terciario cuaternario, las cuales sobre yacen en discordancia angular a los terrenos constituidos fundamentalmente por sedimentitas clásticas ordóvicas. Los sedimentos terciarios-

cuaternarios están representados por depósitos aluvionales y eluvionales. El material eluvional presenta elementos muy redondeados los que nos indica que han tenido un mayor transporte. Los segundos se ubican en laderas de las quebradas y están constituidos por clastos muy angulosos indicando un menor transporte.

Las especies diatomeas encontradas son mayormente diatomeas de distintos tamaños, también se encuentran presentes pinularias de diferentes tipos y tamaños, navículas (Figuras 1.5. y 1.6).

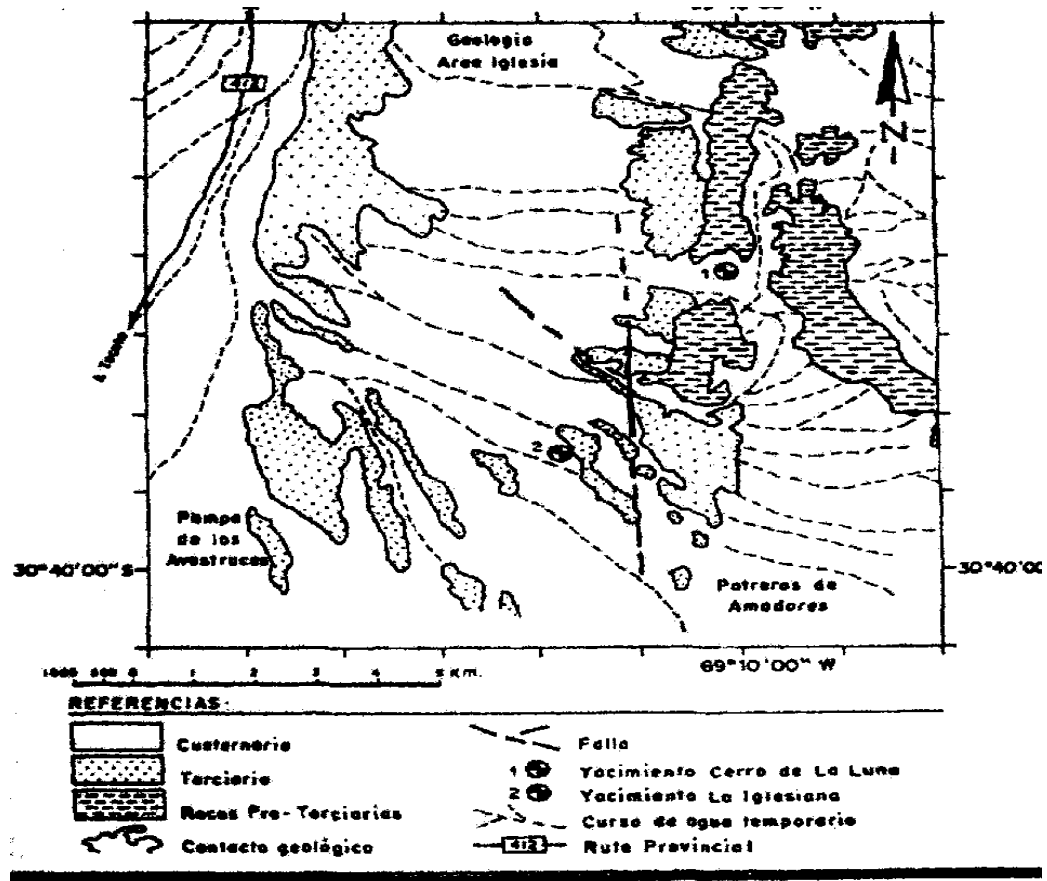


Figura 1.4. Geología Iglesiasiana.

1.5.5. Explotación

Este yacimiento recién está siendo explotado. Resultados de estudios realizados por el Instituto de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de San Juan, proponen una explotación mediante el "método de destape a cielo abierto", debido a las características que presenta el yacimiento: una capa de material estéril (encape) que cubre al mineral que continúa en forma estratificada. Los estratos están dispuestos casi en forma horizontal (Figura 1.7).

En este yacimiento se han encontrado dos calidades de diatomitas. Mediante la observación de la coloración que presentaban, se pudo intuir la diferenciación entre los dos

tipos de materiales. Se denominó **D1** a la diatomita de coloración muy blanca, baja dureza con promedio del 30% de diatomeas y **D2** a la diatomita de coloración verde, amarillenta, de mayor dureza y promedio de 7% de diatomeas (Figura 1.8).



Figura 1.5. Diatomea perteneciente a la familia de las pinnularias.

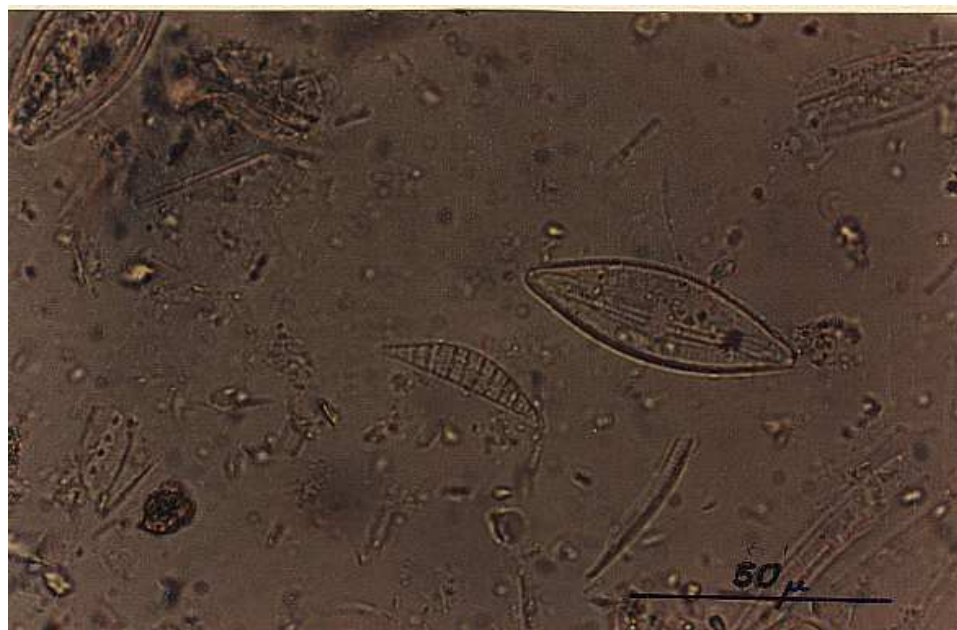


Figura 1.6. Diatomeas pertenecientes a la familia de las fragilarias.

1.5.6. Procesamiento

La diatomita proveniente del yacimiento La Iglesiasiana es sometida a un determinado tratamiento, como el que se muestra en la Figura 1.9, con la finalidad de eliminar las impurezas que ésta posee. La molienda se realiza en un molino de martillo hasta que el mineral molido pase por un tamiz **IRAM N° 20**, equivalente a un tamaño de partícula igual a 750 μm .

Posteriormente se realiza una clasificación neumática en el clasificador neumático Denver, obteniéndose tres productos: cono1, cono2, cono3, los cuales difieren en el porcentaje de diatomita. El producto resultante del cono 3, que tiene un mayor contenido de diatomita es sometido a una calcinación y nueva clasificación para su aplicación como material filtrante para la industria vitivinícola (Figura 1.10). La diatomita que se utilizará será aquella que se somete a los dos primeros pasos del proceso (molienda y trituración).



Figura 1.7. Diatomitas de yacimiento “La Iglesiasiana”.

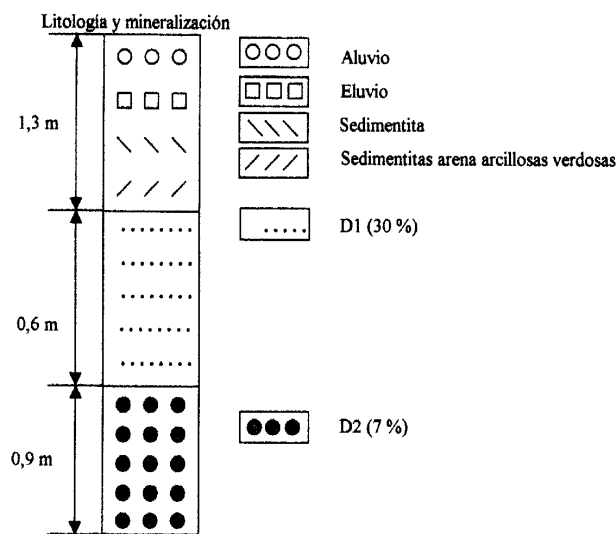


Figura 1.8. Perfil geológico cantera principal.

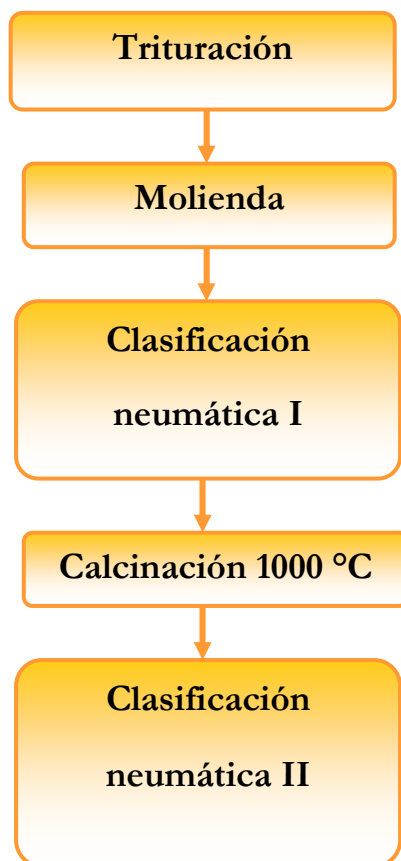


Figura 1.9. Procesamiento de la diatomita del yacimiento La Iglesiasiana.

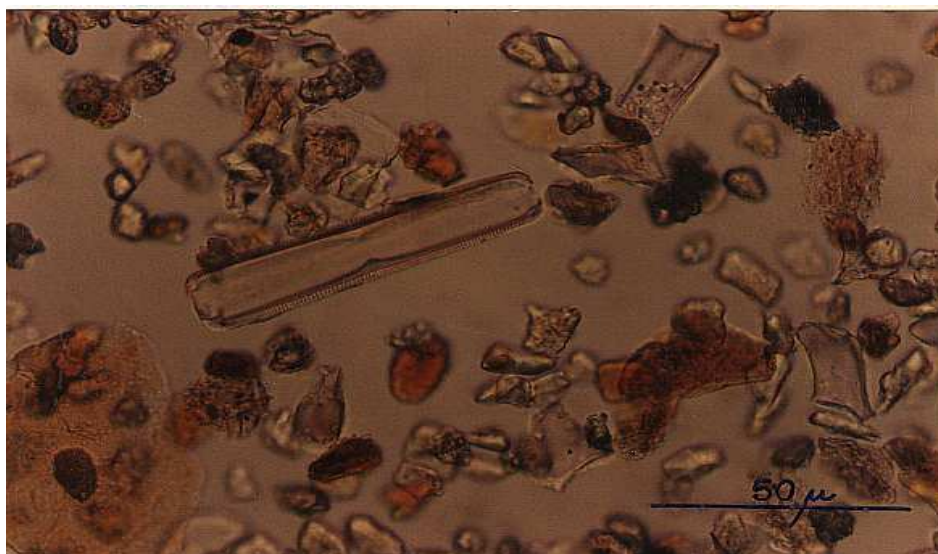


Figura 1.10. Observación microscópica de diatomita ya procesada.

1.5.7. Características químicas de la diatomita

La siguiente tabla muestra la composición química de la diatomita sin procesar del yacimiento La Iglesiasiana, sin procesar. La observación microscópica indica la presencia de cuarzo de grano grueso y feldespato. Asimismo de la sílice presente se estima que el 55% es sílice amorfa.

Tabla I. 2. Análisis químico de la diatomita

Componente	Composición (%)	
	Manto D1	Manto D2
SiO ₂	71,00	70,09
Al ₂ O ₃	10,34	11,02
Fe ₂ O ₃	4,51	4,02
CaO	3,21	3,21
MgO	4,01	0,15
Na ₂ O	0,12	3,52
K ₂ O	6,20	1,52

1.5.8. Ubicación del yacimiento Cerro de la Luna

El yacimiento de diatomita al cual se referirá la segunda parte del presente trabajo se conoce con el nombre de Cerro de la Luna. Se encuentra ubicado en la falda occidental de la serranía de Cerro Negro, Departamento de Iglesia, Provincia de San Juan (Figura 1.11 y 1.12).

Para acceder a él se recorren 139 km por la Ruta Nacional 40 hasta Talacasto y se continúa por la Ruta Provincial 436 a la Iglesia. Pasando el Portazuelo de Colorado se abandona la ruta asfaltada, para continuar por una huella de 13 kilómetros que se desvía hacia el oeste del yacimiento. Se estima la reserva del mineral en 51 000 t.



Figura 1.11. Vista de yacimiento Cerro de la Luna

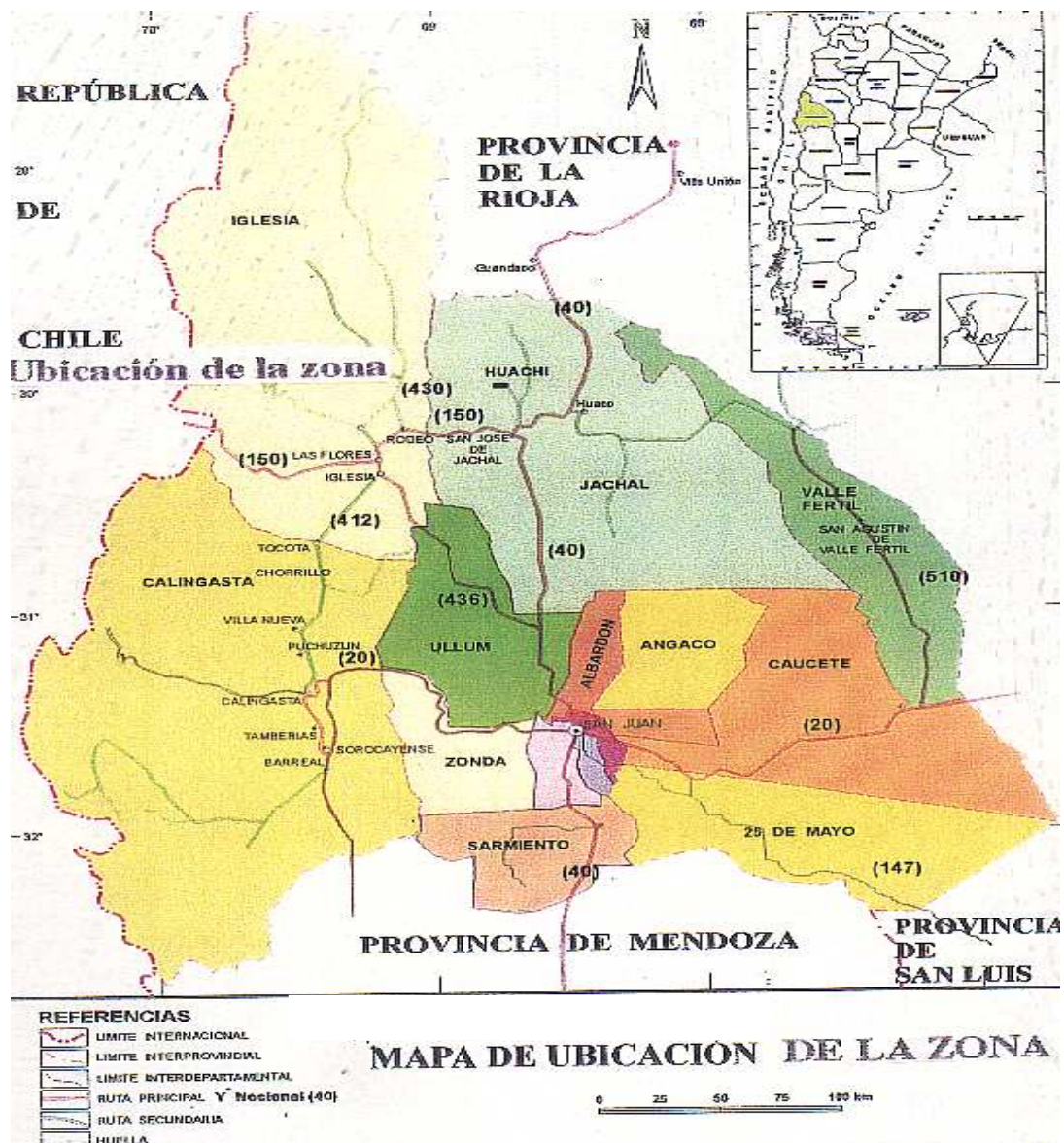


Figura 1.12. Ubicación de yacimiento “Cerro de la luna”.

El yacimiento se emplaza sobre la margen oriental del extenso Valle de Iglesia, que cubre el bajo entre la Cordillera Frontal y Precordillera; es decir, su ubicación corresponde a las estribaciones montañosas occidentales (Figura 1.13). La Precordillera occidental presenta la Sierra Negra y el Cordón de Coronel con 3000 m.s.n.m. como altura máxima. A partir de allí, las cotas descienden hacia un valle lateral conocido como Barrialito. Este valle nace por el sur en el Portezuelo de Colorado de 2500 m confundándose hacia el norte con el Valle de Iglesia.

Ambos valles están separados por una serranía alargada en dirección norte sur, que comprende los cerros Negro y Colorado. Sobre la falda oeste del Cerro Negro se emplaza un banco de diatomita cubierto por una delgada capa de detritos, el cual hacia el oeste se confunde con la cubierta eólica, aluvial del valle. Sobre la falda este aparecen bancos de yeso y glauberita.

El yacimiento se encuentra ubicado sobre la suave bajada este del valle, al pie de las serranías, surcado por quebradas secas.



Figura 1.13. Cantera de explotación yacimiento “Cerro de la Luna”.

El cordón del Cerro Negro continúa en el Alto del Colorado integrado por roca ordovícica de la *Formación Yerga Loca* que presenta un relieve antiguo ahogado por la formación del *Rodeo del Terciario*.

a. Formación Yerga Loca: El perfil correspondiente es el siguiente:

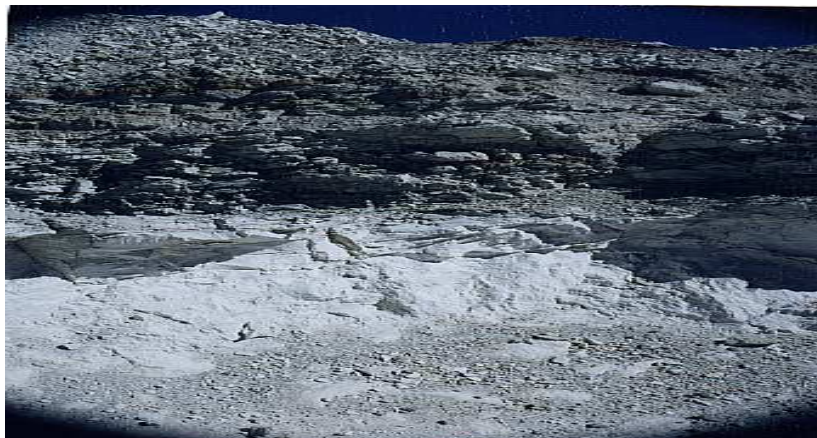
- Conglomerados de 2 a 3 m de espesor en la base constituidos por cuarcitas.
- Areniscas cuarcíticas y lutitas cericíticas de color gris claro y verde claro estratificadas.
- Cuarcitas en bancos gruesos, compactos de 1 a 2 m de espesor que por su resistencia a la erosión prevalecen en las partes más altas del paisaje.
- Sobre las rocas procedentes se apoya a un conjunto de grauvacas y subgrauvacas de color verde oscuro a gris verdoso, de grano fino muy compactas y bien estratificadas.

Formación Rodeo: Se inicia con conglomerado basal que apoya sobre discordancia angular y erosiva sobre el Ordovícico. Continúan areniscas finas cementadas por material calcáreo y sulfatos. Su color es rosado, rojizo. Le continúan una serie de areniscas de diferentes colores: rosadas, blancas, grises claras levemente verdosas, algunos niveles de material volcánico. En los niveles medios se presentan bancos de yeso y glauberita.

1.5.9. Explotación del mineral

Se explota la cantera de diatomita por medio de terrazas de 1 a 2 m de altura en forma escalonada. El mineral es arrancado por medio de una pala cargadora, posteriormente se carga el mineral en camiones.

Se han realizado estudios de la distribución del material en pozos de 4 a 5 m. Se observó en los bancos inferiores de diatomita la presencia de un material de alta pureza cubierta por una capa de espesor promedio de 1 metro de diatomita meteorizada (Figura 1.14).



**Figura 1.14. Manto de diatomita de buena calidad.
Yacimiento Cerro de la Luna.**

1.5.10. Características químicas y estructurales de la diatomita

La diatomita procedente del departamento de Iglesia tiene origen lacustre. Las especies reconocidas son: Melosira, Pinnularia, Fragilaria, Cymbela, entre otras.

1.5.10.1. Análisis químico

Se presentan los resultados de los análisis químicos de diatomitas de dos tipos. La primera es de excelente calidad por su bajo contenido de hierro y la segunda una mezcla con arcilla a la cual se le denomina moler (Tabla I.3).

1.6. Industria cerámica

Los cerámicos son compuestos químicos o soluciones complejas que contienen elementos metálicos y no metálicos, por ejemplo la alúmina (Al_2O_3) que contiene átomos metálicos Al, y no metálicos O_2 . Las cerámicas difieren de otros materiales como madera, plásticos, metales en una serie de propiedades individuales.

Una de las diferencias más características es que cada pieza cerámica tiene una forma y tamaño únicos. Después de su cocción, la cerámica no permite modificar su forma si no es con un costoso esmerilado por lo que debe usarse tal y como es. Por lo tanto, estas

características de forma y tamaño deben determinarse desde las primeras etapas del proceso de fabricación (Bender, Hellerstein, 2001).

Tabla I.3. Composición química de diatomita y moler.

Componente	Composición (%)	
	Diatomita	Moler
SiO ₂	86,40	78,00
Al	3,13	5,17
Ca	2,00	1,30
Na	1,92	2,12
Fe	0,75	2,02
K	0,72	1,61
Mg	0,52	0,66
Mn	0,16	2,44

1.6. Industria cerámica

Los cerámicos son compuestos químicos o soluciones complejas que contienen elementos metálicos y no metálicos, por ejemplo la alúmina (Al₂O₃) que contiene átomos metálicos Al, y no metálicos O₂. Las cerámicas difieren de otros materiales como madera, plásticos, metales en una serie de propiedades individuales.

Una de las diferencias más características es que cada pieza cerámica tiene una forma y tamaño únicos. Después de su cocción, la cerámica no permite modificar su forma si no es con un costoso esmerilado por lo que debe usarse tal y como es. Por lo tanto, estas características de forma y tamaño deben determinarse desde las primeras etapas del proceso de fabricación (Bender, Hellerstein, 2001).

Muchas cerámicas están basadas fundamentalmente en arcillas, las cuales son aluminosilicatos compuestos por Alúmina (Al₂O₃) y sílice (SiO₂) que contiene agua enlazada químicamente. Las impurezas que presentan son principalmente óxidos de bario, calcio, sodio, potasio y hierro. También presentan materia orgánica. Las arcillas se combinan con materiales más gruesos como cuarzo, fundentes como el feldespato, el cual disminuye la temperatura de fusión, favoreciendo el horneado. Los contenidos de arcillas mejoran las características de conformidad, permitiendo la fabricación de productos más complicados.

Los materiales cerámicos como ladrillos, lozas, baldosas, aislantes, abrasivos, refractarios, tienen escasa conductividad tanto térmica como eléctrica y aunque pueden tener buena resistencia y dureza son deficientes en ductilidad, conformabilidad y resistencia al impacto; sin embargo la mayoría presentan alta resistencia a las temperaturas y ciertas condiciones de corrosión.

1.6.1. Clasificación

Los materiales cerámicos pueden clasificarse según sus aplicaciones en:

- a. Vidrios
- b. Productos de arcilla
- c. Refractarios
- d. Abrasivos
- e. Cementos
- f. Cerámica avanzada

1.6.2. Proceso de fabricación de materiales cerámicos

La mayoría de materiales cerámicos siguen el mismo proceso de fabricación. Éste se inicia con la selección de materia prima seguida por la molienda, tratamiento térmico que incluye el secado y cocción del material. Finalmente se efectuó control de calidad según la aplicación del material cerámico.

1.6.2.1. Materias primas

La mayoría de cerámicos se fabrican por aglutinación de partículas. Las materias primas varían dependiendo de las propiedades requeridas por el producto cerámico. Es muy común hacer uso de las materias primas, tal y como se extraen las canteras, después de someterlos a un mínimo tratamiento, generalmente de molienda para reducir el tamaño de las partículas.

En caso de ladrillos que no requieren propiedades críticas, la mezcla con agua como aglomerante es una práctica común.

1.6.2.2. Moliendas

La mezcla cerámica se somete generalmente a un proceso de molienda que puede ser de dos tipos: por vía seca, es decir, con molinos de martillo o vía húmeda, en la que se utilizan molinos de bolas.

De igual forma, los resultados de la molienda varían según el tipo. Por ejemplo, para la molienda por vía seca se obtiene un tamaño de partícula superior al que se le obtiene por vía húmeda.

1.6.2.3. Técnicas de conformado

El conformado se puede realizar en condiciones secas, plásticas, líquidas, en prensas o troqueles.

A. Prensado en seco

Se define como la compactación uniaxial, simultánea y la conformación de polvos granulados con pequeñas cantidades de agua (5-7% de humedad), mediante el uso de prensas hidráulicas. Esta técnica permite fabricar gran variedad de piezas con uniformidad y representa uno de los procesos más económicos en la fabricación de productos cerámicos de geometría regular.

B. Prensado en caliente

Se define como una combinación de presión unidireccional e isostática. Se obtienen piezas con buenas propiedades mecánicas.

C. Moldeo en barbotina

Los pasos de este proceso son:

- Preparación de la barbotina: Por barbotina se conoce a una suspensión coloidal u otros materiales no plásticos en agua.
- Colocación de la barbotina en un molde de yeso: Esto permite la absorción de la porción líquida de la barbotina por el molde. A medida que se elimina el líquido, se forma en las paredes del molde una capa de material más o menos dura cuyo espesor depende del tiempo. El proceso termina cuando la cavidad completa se hace sólida. Lo descrito anteriormente se conoce como “fundición completa”. Dicho proceso también puede ser terminado cuando la capa alcanza el espesor deseado. En este momento se elimina el exceso de agua del molde, invirtiendo éste. Lo último descrito se conoce como “slip casting”.
- A medida que la pieza se seca, se contrae y despega de las paredes del molde.
- Se desmonta el molde y se retira de la pieza.
- La pieza se somete a cocción para que alcance las propiedades y estructuras deseadas.

Las características de la barbotina son muy importantes; debe tener un peso específico muy alto y ser muy fluida. Estas características dependen de la relación sólido-agua y de otros agentes que son añadidos.

D. Extrusión

Las secciones transversales sencillas, las formas huecas de los materiales se pueden producir por extrusión de estos materiales en estado plástico. Este procedimiento consiste en hacer pasar una columna del material en estado plástico a través de una matriz que tiene la geometría de la selección deseada. Normalmente la materia prima es forzada a través de la matriz por medio de un husillo en forma de espiral acondicionado por un motor.

Los recursos más usados son máquinas de extrusión tipo hélice-vacío. Ejemplos de piezas fabricadas mediante este proceso son: tuberías, tejas, aislantes eléctricos.

1.6.2.4. Secado

Durante este proceso se elimina el agua mezclada mecánicamente, las piezas se endurecen y también se vuelven frágiles. Al inicio del proceso de secado, las partículas están virtualmente rodeadas de agua. A medida que el cuerpo cerámico se va secando, la distancia entre partículas disminuye lo cual se pone de manifiesto en forma de contracción.

En la contracción es importante considerar:

- **Espesor:** Piezas de gran espesor tienen mayor tendencia a contraerse y presentar defectos más predominantes.
- **Contenido de agua:** En el cuerpo conformado existe una relación lineal entre el contenido de agua y el porcentaje de contracción, por lo tanto mientras mayor sea el contenido de agua mayor será la contracción y viceversa. Así, es importante determinar la cantidad óptima de agua.
- **Tamaño de partículas:** Existe una relación inversa. Mientras menor es el tamaño de partículas, mayor es el porcentaje de contracción. Para minimizar la contracción se pueden añadir a las pastas cerámicas materiales no plásticos con tamaños de partículas mayores.

La presencia de manchas claras, descoloridas que presentan algunos cerámicos se deben principalmente a altos contenidos de sales o sulfatos presentes en las arcillas. Las sales pasan a la superficie al evaporarse el agua durante este proceso.

1.6.2.5. Cocción

La operación de cocción consiste en someter a las piezas cerámicas a un ciclo térmico, durante el cual tienen lugar una serie de reacciones en las piezas que provocan cambios en su microestructura y les confieren las propiedades finales deseadas. Durante la cocción se mejoran las propiedades mecánicas de las piezas aumentando también la densidad.

Cuando las piezas se someten a cocción, lo primero que ocurre es la terminación del secado de las mismas, el cual debe realizarse lentamente ya que debe evitarse la formación de vapor en la pasta cerámica, lo cual conduciría a su estallido. Poco a poco se va formando una pieza porosa y dura, posteriormente se produce la vitrificación que da origen a una pieza densa.

1.7. Revestimientos cerámicos. Generalidades.

Según la norma europea EN 87, “los revestimientos y pavimentos cerámicos son materiales para la construcción que generalmente se designan para su uso como recubrimiento para suelos y paredes tanto de interiores como de exteriores sin importar su forma y tamaño”.

Los revestimientos se fabrican a partir de composiciones de arcillas y otras materias primas inorgánicas, que se someten a molturación y/o amasado, se moldean y seguidamente son secadas y cocidas a temperatura suficiente para que adquieran con carácter estable las propiedades requeridas (Bender, Hellerstein, 2001).

Las baldosas cerámicas pueden ser no esmaltadas o esmaltada. Las baldosas no esmaltadas se someten a una cocción única; las baldosas esmaltadas reciben una cubierta vitrificable entre una primera y una segunda cocción (bicocción) o antes de la única cocción (monococción) (Bender, Hellerstein, 2001).

1.7.1. Proceso de fabricación

Actualmente se ha impuesto en la industria cerámica el proceso de monococción como consecuencia de las importantes mejoras que éste supone. El proceso se inicia con la selección de las materias primas, que formarán parte de la pasta cerámica para su posterior molienda por vía húmeda. Después de la molienda se realiza el secado de la mezcla por medio de un atomizador. La atomización es un proceso de secado por el cual una suspensión pulverizada en finas gotas entra en contacto con una corriente de aire caliente para dar lugar a un producto sólido de bajo contenido de agua (6-7%).

El granulado es prensado mediante prensas oleodinámicas, que realizan la comprensión mecánica de las pastas en el molde. Tras ese conformado, continúa el proceso de secado de las piezas hasta porcentajes de humedad comprendidos entre el 0,2 y 0,5% para su adecuada cocción. Este proceso se puede realizar en secadores horizontales o verticales.

Durante el secado, las piezas en el interior de los secaderos se ponen en contacto con una corriente de gases calientes provenientes de quemadores de gas o de chimeneas. El principal mecanismo de transmisión de calor entre el aire y las piezas es la convección.

Para el caso de secadores horizontales la temperatura alcanza niveles inferiores a 200 °C y los ciclos térmicos están comprendidos entre 35 y 50 minutos. Para los secaderos verticales, la temperatura bordea los 350 °C y los ciclos térmicos están comprendidos entre 15 y 25 minutos.

La etapa final del proceso culmina con la cocción de las piezas; ésta se realiza generalmente en hornos tipo monoestrato. Aquí, las piezas se mueven a través de rodillos. El calor necesario proviene de quemadores situados en las paredes del horno, los mecanismos de transmisión del calor presente son convección y radiación. En esta etapa es importante definir el ciclo térmico y la atmósfera del horno para obtener los productos deseados. El proceso de monococción tiene como ventajas la consecución de dos operaciones a la vez, con un mismo equipo: el secado y la granulación. Además se obtiene un granulado de mejor calidad lo que permite una mayor facilidad de llenado de los moldes y prensado.

1.8. Aislantes térmicos

El objeto de un aislamiento térmico es impedir la transferencia de calor desde o hacia el cuerpo aislado.

Existen aplicaciones en las que se necesita que una estructura constituya un buen aislante térmico. Entre estas aplicaciones tenemos: viviendas, hornos de cerámica, hogares de alta temperatura.

La principal cualidad que debe poseer un material aislante térmico es que realmente aisle, es decir, que tenga un coeficiente de conductividad térmica bajo. Pero más importante aún es que el material conserve este coeficiente a través del tiempo. Algunos materiales aislantes absorben humedad con el tiempo, lo cual ocasiona aumento de su conductividad térmica. Este valor aumenta 7% por cada 1% de humedad contenida.

Además de poseer un coeficiente de conductividad térmica bajo son importantes los materiales aislantes otras propiedades ligadas a este coeficiente como son: porosidad, peso específico, resistencia mecánica, resistencia a elevadas temperaturas, calor específico, etc. Debe buscarse un equilibrio entre estas propiedades ya que a veces, la optimización de una ocasiona el detrimento de otra. Por ejemplo, un ladrillo aislante requiere tener una elevada porosidad, sin embargo, el incremento de esta propiedad puede ocasionar una baja resistencia mecánica, por lo que debe buscarse un equilibrio entre ambas propiedades.

1.8.1. Proceso de fabricación

El principio de aislamiento térmico por incorporación de espacios de aire en los materiales fue conocido mucho antes de comprenderse. Los materiales aislantes aprovechan el hecho de que el aire es un excelente aislante. El aire encerrado en los poros queda casi quieto en los materiales con poros cerrados (como poliuretano y poliestireno expandido) o con muy poca movilidad en aislantes con poros abiertos (por ejemplo, lana mineral y lana de vidrio).

Por esta razón, el coeficiente de conductividad térmica será en general directamente proporcional a su masa por unidad de volumen (densidad). Sin embargo, existe un valor crítico para cada material de aislamiento térmico poroso, por debajo del cual aumentará nuevamente la conductividad térmica. Esto se debe a que los poros son lo suficientemente grandes para permitir (en su interior), una transferencia de calor por convección natural.

1.8.2. Diatomita de San Juan como aislante

La diatomita del yacimiento Cerro de la Luna presenta características adecuadas para su uso como materia prima para la fabricación de ladrillos aislantes. Se pretende usar la diatomita de menor calidad mejor conocida como **celite** o **moler**.

Existen antecedentes de ensayos empíricos realizados con ladrillos fabricados con moler y arcilla, los cuales han proporcionado buenos resultados. Entre ellos podemos mencionar, prueba de exposición de ladrillos ante sopletes. En esta prueba, se observó una mínima transmisión de calor ya que la cara no expuesta al fuego no presentaba un aumento elevado de temperatura si no que se mantenía en condiciones aptas para ser asido por una persona. También se han realizado pruebas de choque térmico: los ladrillos se sometieron a altas temperaturas, lanzándolos luego a recipientes con agua. No se observaron grietas sobre ladrillos.

1.8.3. Proceso de fabricación

Existen muchas clasificaciones de los materiales aislantes. Se clasifican en general en orgánicos e inorgánicos. Según su origen, en vegetales y minerales y, en cuanto a su estructura, en granulares o celulares y fibrosos.

Clasificación según su estructura:

- Materiales fibrosos: Fibras minerales (fibras de amianto, fibras de vidrio; fibras vegetales (fibras de madera, fibraglos o fibra de madera más cemento) y fibra de lino.
- Aislantes con estructura celular: Vidrio celular, corcho, espumas plásticas aislantes (espumas de poliuretano, espumas de poliestireno, espumas fenólicas, espumas de cloruro de vinilo, espumas de poliéster, espumas de úrea-formol).

Capítulo 2

Efecto de la diatomita en las propiedades mecánicas y térmicas de ladrillos.

2.1. Transferencia de calor

Las tres formas de transferencia de calor que conocemos son: conducción, convección y radiación. Por ser el aire un mal conductor del calor, cuanto mayor sea el porcentaje de aire en los ladrillos menor será el calor conducido a través de ellos. La convección requiere aire en movimiento, esta forma de conducción disminuye si los espacios de aire son pequeños. La radiación depende de la variación de temperatura entre las superficies sólidas opuestas (ΔT), mientras más pequeños son los espacios de aire, menor será el ΔT y por lo tanto la radiación.

Estas tres formas de transferencia de calor tienen importancia relativa a distintas temperaturas, según las curvas de transmisión de calor vs. temperatura de Halm y Laapoujade. Los materiales de poros finos presentan un aumento lineal de transmisión con la temperatura, por lo contrario los materiales de poros gruesos presentan una transmisión lineal menor, sin embargo, posteriormente se eleva más bruscamente (Singer y Singer, 1972).

Las curvas nos indican que a temperaturas bajas la transmisión es debida a la conducción, por lo tanto cuanto más liviano sea el material mejor será la capacidad aislante. A elevadas temperaturas la transmisión de calor ocurre por radiación, siendo los materiales de poro fino los mejores aislantes. Por ejemplo, para una temperatura de 1027 °C un poro de 0,1 mm de diámetro transmite la mitad del calor por radiación que por

conducción, mientras que un poro de 0,5 mm transmite treinta veces más (Singer y Singer, 1972).

Los ladrillos aislantes pueden ser de alta, intermedia o baja temperatura.

- **Temperatura baja** : Superficie fría hasta 15 °C, superficie caliente de 40 °C.
- **Temperatura intermedia** : Superficie caliente hasta 900 °C.
- **Temperatura alta** : Superficie caliente hasta 1550 °C.

2.2. Proceso de fabricación de los ladrillos

Los ladrillos se realizaron siguiendo el diagrama de proceso de la Figura 2.1. El proceso de fabricación de ladrillos aislantes es el mismo que el de ladrillos cerámicos comunes. El proceso de inicia con la recepción del material de Cerro de la Luna el cual es proporcionado luego de un proceso de trituración y molienda. Luego se realiza un análisis granulométrico.

La parte central se refiere a la fabricación de los ladrillos propiamente dicha la cual abarca el secado I, cocción y secado II. La última parte se refiere al control de propiedades fundamentales de los materiales aislantes tales como: densidad, porosidad, conductividad térmica y resistencia mecánica a compresión.

2.3. Materias primas

La materia prima es extraída del yacimiento mediante palas excavadoras y sometida a un proceso de molienda y trituración.

2.3.1. Trituración y molienda

Se realiza en la Planta de Bentonita Santa Gema en la Provincia de San Juan. La molienda se realiza en un molino de martillos, pasando luego por un clasificador, obteniendo así dos productos a los cuales se les realizará su correspondiente análisis granulométrico.

2.3.2. Análisis granulométrico

Se realizó el análisis granulométrico en seco, para tener conocimiento de la distribución del tamaño de grano con el cual se confeccionaron los ladrillos. Es importante recalcar que este análisis no se realizó como parámetro de control de la molienda dado que se contó con materia prima con dos tamaños de grano determinados.

2.4. Variables de producción en la confección de ladrillos

Es importante tener en cuenta factores como: granulometría, composición de la pasta aislante, condiciones de secado, temperatura de cocción, los cuales modificarán las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del producto final.

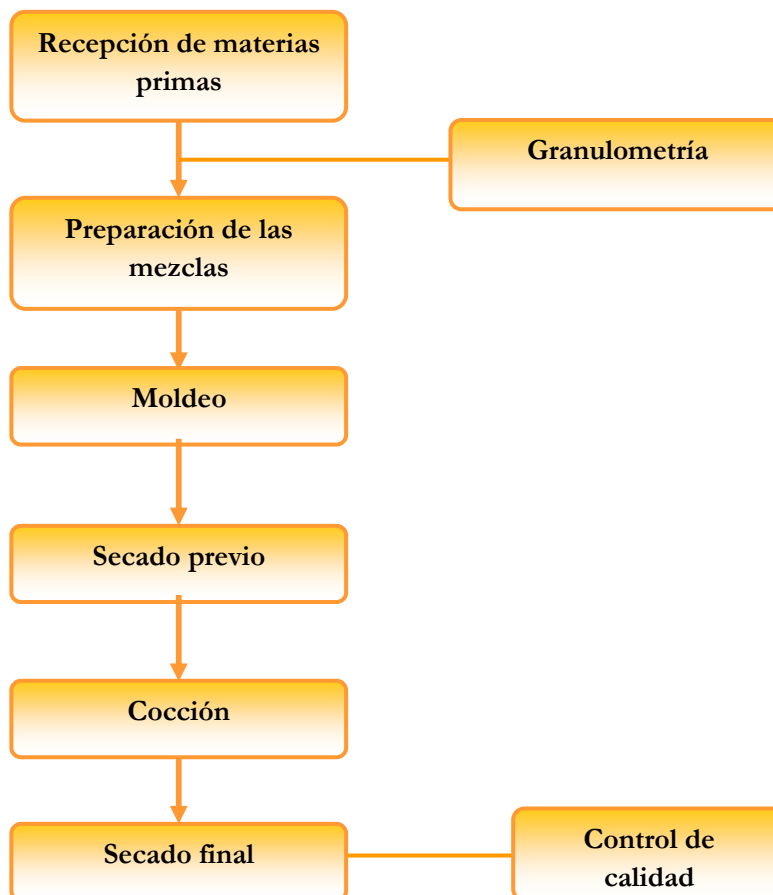


Figura 2.1. Diagrama del proceso de fabricación de ladrillos aislantes.

2.4.1. Granulometría

El tamaño del grano en los materiales aislantes es importante ya que de él dependerá la porosidad del mismo. Influye también en la manejabilidad y plasticidad de la pasta aislante. Se analizaron dos muestras de diferentes tamaños de grano, seleccionándose la muestra 1 por tener una distribución más uniforme y un promedio de tamaño de partícula igual a 1700 μm . La muestra 2 presentó un tamaño promedio de partícula a 100 μm .

En las tablas II.1 y II.2 se muestran los porcentajes retenidos en cada tamiz. Las Figuras 2.2 y 2.3 presentan las curvas granulométricas correspondientes a ambas muestras.

Tabla II.1. Análisis granulométrico de muestra 1.

N° Tamiz IRAM	Tamaño de partícula (µm)	Retenido (%)	Acumulado (%)
20	9000	0,0	0,0
30	6000	0,0	0,0
50	3000	3,6	3,6
80	1870	4,3	7,9
100	1500	22,1	30,0
200	750	24,3	54,0
Fondo 200	0	45,7	100,0

Tabla II.2 Análisis granulométrico de muestra 2.

N° Tamiz IRAM	Tamaño de partícula (µm)	Retenido (%)	Acumulado (%)
20	9000	4,4	4,4
30	6000	9,0	13,14
50	3000	16,4	29,8
80	1880	27,2	57,0
100	1500	3,4	60,4
200	750	30,6	91,0
Fondo 200	0	9,0	100,0

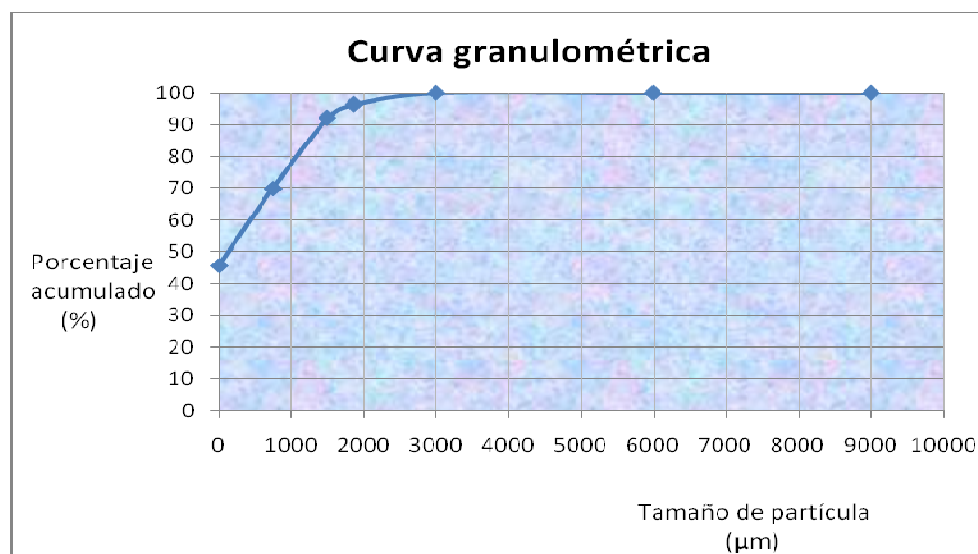


Figura 2.2. Curva granulométrica muestra 1.

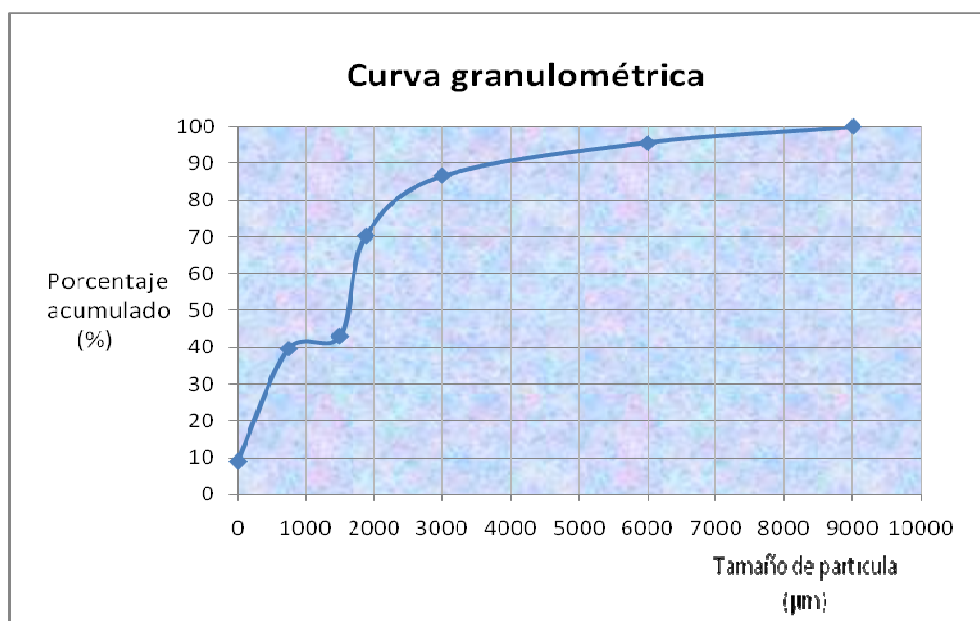


Figura 2.3. Curva granulométrica muestra 2.

2.4.2. Composición de la pasta aislante

Para la preparación de la pasta aislante se utilizó diatomita y arcilla. Se seleccionó una arcilla común, libre de sales y con bajo contenido de óxido de hierro. De la experiencia se determinó confeccionar ladrillos con las siguientes proporciones de arcilla y diatomita.

100 % diatomita.

80% diatomita - 20% arcilla

60% diatomita - 40% arcilla

100% arcilla

2.4.3. Porcentaje de agua

Se confeccionaron ladrillos manualmente sugiriendo para posteriores estudios, la realización de ladrillos prensados. Para el modelo manual con lubricación de agua se experimentaron con diversas proporciones de ésta hasta obtener pastas plásticas, bien aglutinadas y de fácil manejo para su posterior moldeado (Tabla II.3).

Tabla II.3. Porcentaje de agua utilizado.

Proporción (%)		Porcentaje de Agua (%)
Diatomita	Arcilla	
100	-	52
80	20	36
40	60	27
-	100	23,5

La plasticidad de las pastas influye en la contracción que sufrirán las piezas durante el secado y la cocción. Para fines prácticos puede decirse que una pasta ha alcanzado su máxima plasticidad cuando al comprimirla con la mano la pasta no se pega y no quedan restos de ella en la mano (Singer y Singer, 1972). Las características de la diatomita como menor tamaño de grano, elevada área superficial le confieren una elevada plasticidad lo cual hace que las pastas absorban mayor cantidad de agua para formar una masa plástica manejable.

Podemos observar que al disminuir el porcentaje de diatomita, la plasticidad de las mezclas disminuye ya que requieren menores cantidades de agua para formar pastas plásticas.

Las diferentes mezclas ya humedecidas se depositan en capas en forma de pirámide dejándolas reposar durante 24 horas con la finalidad de que alcancen mayor plasticidad y suavidad lo cual permitirá que sean más fáciles de manejar y trabajar.

El moldeo se realizó con un molde de madera de las siguientes dimensiones 229 x 114 x 63 mm, las cuales se indican en las normas IRAM para el caso de ladrillos aislantes. Para la confección de los ladrillos se utilizó un rasero para eliminar la masa sobrante al momento de colocar la pasta en el molde. Es preferible colocar los ladrillos sobre superficies espolvoreadas con tierra para evitar se peguen sobre éstas, pudiendo ocasionar

grietas. Transcurridas entre 12 y 24 horas se eliminan las imperfecciones que puedan tener los ladrillos en los bordes y aristas (Figura 2.4).



Figura 2.4. Ladrillos moldeados listos para secar.

2.4.4. Temperatura

Se debe considerar la temperatura de secado, luego del moldeado del ladrillo, así como la temperatura de cocción. Industrialmente el secado se realiza en hornos de túnel o de cámaras. Si se han incorporado materiales combustibles como aserrín, harina de madera, hulla, coque, es importante tener en cuenta que éstos no deben quemarse durante el secado. (Calister, 2000).

Durante el secado se trata de eliminar el agua añadida mecánicamente. La humedad se localiza tanto en el interior del ladrillo como en la superficie. Si este proceso se llevara a cabo muy bruscamente se pueden producir grietas, debido a que la parte exterior se seca casi completamente, contrayéndose, mientras que en el interior queda húmedo (Calister, 2000). Es por eso la importancia de esta etapa en la fabricación del ladrillo ya que un ladrillo bien seco facilita la cocción evitándose estallidos y la presencia de grietas.

Esta operación también depende de las condiciones atmosféricas, si es un clima muy seco el tiempo podría estimarse en 20-30 días.

Para efectos del presente trabajo los ladrillos moldeados fueron colocados en un lugar de amplia ventilación protegidos del sol y la lluvia durante 10 días, después de los cuales ya podían ser manipulados sin que se fracturen. Debido a las condiciones climáticas y para acelerar este proceso los ladrillos fueron colocados cuidadosamente en una estufa de secado. Antes de ser llevados a la estufa los ladrillos fueron pesados. Durante su permanencia en la estufa también se pesaron hasta obtener un peso constante.

Los ladrillos permanecieron en la estufa de secado durante 2 días, después de los cuales su peso se mantuvo constante, perdiendo entre el 12 y 15% de su peso (Figura 2.5).

La temperatura del horno fue de 80 °C.



Figura 2.5. Ladrillos en la estufa de secado.

Durante la cochura es importante tener en cuenta que materiales como la hulla y coque dejan residuos de óxido de hierro el cual altera el color del ladrillo de cocción limpia y además actúa como fundente. En el caso de haberse añadido aserrín o harina de madera éstos no alteran el color del producto dado que no contienen hierro, sin embargo, no ejercen una acción fundente.

De acuerdo a la temperatura de cocción el relativo arreglo cristalino de los componentes de la pasta varía. Este arreglo determina ciertas características visuales como color, vitrificación.

Por lo tanto, es importante determinar de la diatomita utilizada, qué porcentaje de SiO_2 se encuentra libre y bajo qué formas (cuarzo, cristobalita, tridimita), así como también qué porcentaje corresponde a sílice amorfa. Daremos respuesta a estas interrogantes efectuando un análisis mineralógico.

Debido a los cambios químicos que se llevan a cabo durante la cocción se registran cambios en el volumen de las piezas los cuales están asociados a reacciones exotérmicas o endotérmicas que se evidencian en el análisis térmico diferencial (ATD). Asimismo, un análisis térmico gravimétrico (ATG) nos será de gran utilidad para conocer los cambios de masa que se llevarán a cabo al variar la temperatura.

Para fines del presente trabajo no se contó con los análisis antes mencionados por lo que la importante etapa de cocción no se llevó a cabo de la manera adecuada, sugiriendo para futuras investigaciones la realización de los mismos a fin de encontrar un programa óptimo de cocción.

Industrialmente, los ladrillos de diatomita se estabilizaron a temperaturas comprendidas entre 800 - 900 °C, en hornos continuos de galerías, hornos continuos de cámaras o tipo túnel. Inicialmente los ladrillos de las cuatro clases correspondientes a las cuatro mezclas fueron sometidos a un mismo programa de cocción, el cual fue consultado en bibliografía.

El programa inicial fue el siguiente:

1. Estabilización de los ladrillos a 300 °C.
2. Elevación gradual de la temperatura hasta 600 °C.
3. Elevación rápida de la temperatura hasta 900 °C, permaneciendo en ésta por 2 horas.
4. Enfriamiento en el horno hasta 600 °C.

Los resultados fueron favorables para algunos tipos y desfavorables para otros ya que presentaron grietas o estallaron durante la cocción (Figura 2.6).

A partir del programa inicial se experimentaron algunas modificaciones a fin de obtener los resultados esperados: ladrillos con colores uniformes, sin grietas, aristas en perfecto estado, sonido casi metálico al golpearlo con los dedos.



Figura 2.6. Ladrillos sometidos a diferentes pruebas de cocción.

La cocción se realizó en un horno eléctrico marca Indef. modelo 32 (Figura 2.7)



Figura 2.7. Horno electrónico utilizado para la cocción.

El programa de cocción para ladrillos con 80% de diatomita fue el siguiente:

1. Elevación de la temperatura hasta 400 °C, manteniéndola aquí durante 1 hora, con la finalidad de eliminar los restos de humedad.
2. Elevación lenta de la temperatura hasta 600 °C, manteniéndola aquí durante 10 minutos.

3. Elevación rápida de la temperatura hasta 950 °C, manteniendo esta temperatura durante 2 horas. Con respecto al programa inicial, en este paso la temperatura se incrementa debido a que la coloración de los ladrillos finales fue más homogénea, con este incremento.
4. Se retiraron las muestras cuando el horno indicaba una temperatura de 100 °C.

En la figura 2.8 se grafica el programa de cocción de ladrillos con 80% de diatomita.

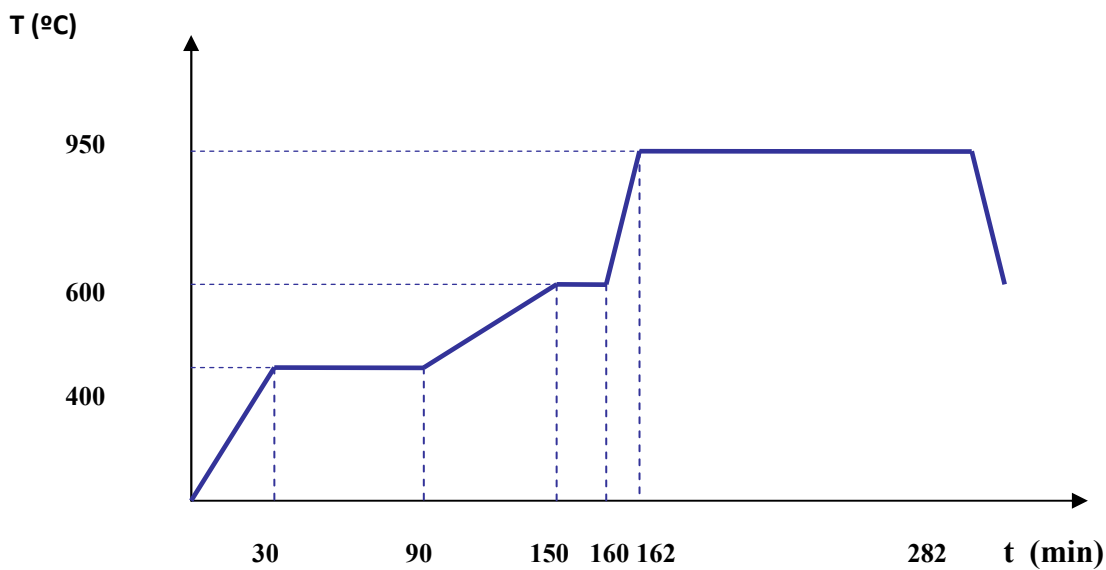


Figura 2.8. Programa de cocción para ladrillo 80% diatomita.

El programa de cocción para ladrillos con 40% de diatomita tuvo varias modificaciones con respecto al programa inicial. Inicialmente los ladrillos fueron sometidos a una cocción con el programa óptimo para los ladrillos con 80% de diatomita, sin obtenerse resultados favorables. En la segunda prueba de cocción se modificaron las temperaturas en el punto 1 y 3 y los tiempos para los puntos 2 y 3 del programa para ladrillos con 80% de diatomita, obteniéndose resultados favorables, es decir, ladrillos de color homogéneo, sin grietas ni fisuras, de buena apariencia. El programa quedó de la siguiente forma:

1. Elevación de la temperatura hasta 300 °C para eliminar los restos de la humedad y estabilizar el ladrillo, manteniendo esta temperatura por 1 hora.
2. Elevación de la temperatura hasta 600 °C, manteniéndola aquí durante 20 minutos.
3. Elevación rápida de la temperatura hasta 900 °C, manteniendo esta temperatura durante 1 hora y media.
4. Se retiraron las muestras cuando el horno indicaba una temperatura de 100 °C.

En la figura 2.9 se grafica el programa de cocción de ladrillos con 40% de diatomita.

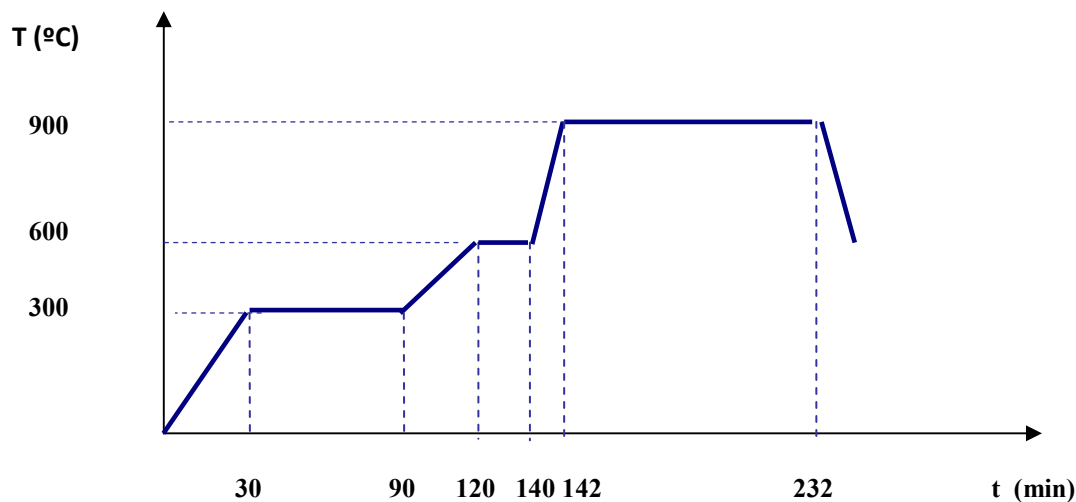


Figura 2.9. Programa de cocción para ladrillo con 40% de diatomita.

El programa para cocer ladrillos comunes solo consistió en una cocción hasta de 850 °C durante 80 minutos, como se observa en la Figura 2.10

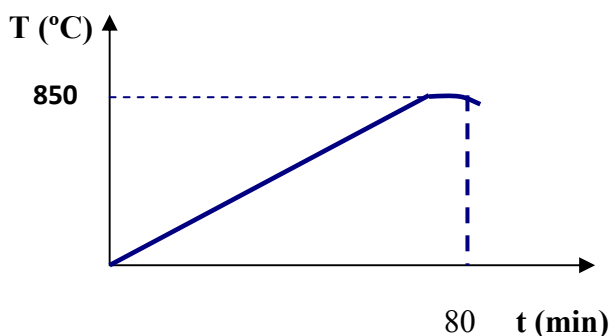


Figura 2.10. Programa de cocción para ladrillo común.

El programa para la cocción de los ladrillos de diatomita natural se realizó mediante los siguientes pasos:

1. Elevación de la temperatura hasta 300 °C manteniendo esta temperatura durante 60 minutos.
2. Elevación lenta de temperatura hasta 600 °C manteniendo esta temperatura por 10 minutos.
3. Elevación rápida de la temperatura hasta 900 °C manteniendo esta temperatura por espacio de 2 horas.

Como puede observarse con este tipo de ladrillo se obtuvieron buenos resultados con el programa inicial. Se realizó una cocción adicional a 950 °C para observar si existía

alguna variación. A simple vista la coloración se mantuvo similar en ambas cocidas, sin embargo, los resultados de resistencia mecánica, mostraron valores superiores al de los ladrillos cocidos hasta 900 °C.

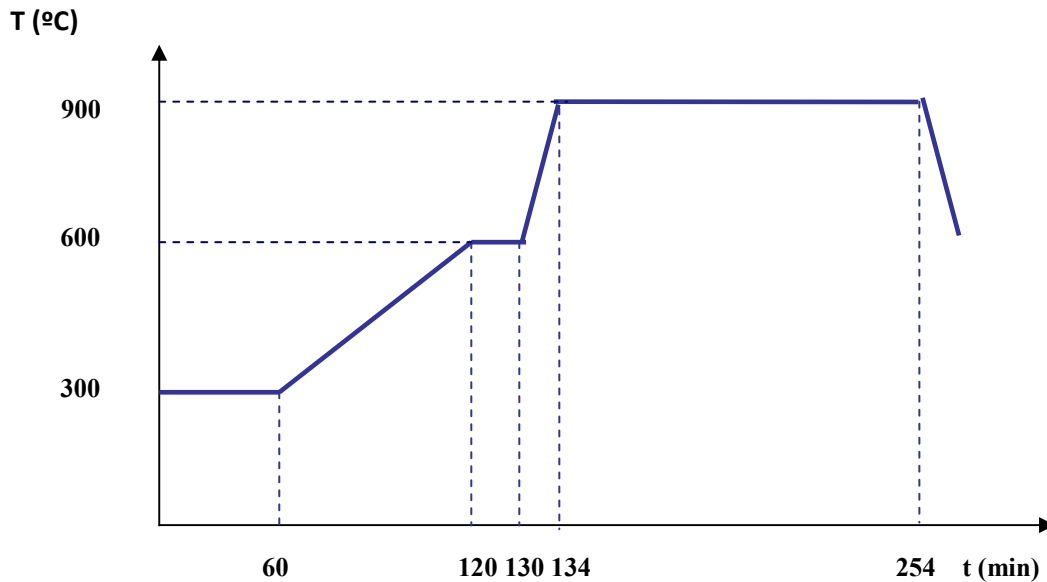


Figura 2.11. Programa de cocción para ladrillo de diatomita natural.

2.5 Control de calidad

Como se mencionó anteriormente en el apartado 1.3 ciertas propiedades de los ladrillos están relacionadas directamente con su capacidad de aislamiento. La determinación de estas propiedades nos permitirá llevar un control de la calidad de nuestros productos, además se podrán comparar los resultados con valores conocidos y productos del mercado.

2.5.1. Propiedades físico-mecánicas

Las propiedades analizadas fueron: densidad, porosidad y resistencia mecánica a la compresión.

2.5.1.1. Densidad

El volumen total de un material aislante se calcula de la siguiente expresión:

$$V_T = V_M + V_{PC} + V_{pa}$$

En donde:

V_T , es el volumen total del material aislante, V_m es el volumen másico o volumen asociado a la masa del aislante, V_{pc} es el volumen asociado a los poros no comunicados

con el exterior o poros cerrados y V_{pa} , es el volumen asociado a los poros abiertos o accesibles desde el exterior.

Basándonos en la definición de densidad (masa por unidad de volumen) podemos definir.

- Densidad real

$$D_r = \frac{m}{V_m}$$

- Densidad aparente

$$D_r = \frac{m}{V_m + V_{pc}}$$

- Densidad global (*bulk density*)

$$D_g = \frac{m}{V_t}$$

El valor de densidad global es muy importante ya que de él depende gran parte de las propiedades como resistencia mecánica en frío y caliente, choque térmico, ataque por escorias, así como capacidad calorífica y su conductividad térmica. La densidad es directamente proporcional a la conductividad térmica y resistencia mecánica. Así un incremento o disminución de este valor se traducirá en aumento o disminución de las propiedades antes mencionadas.

El valor de densidad real refleja el grado de transformación en los materiales refractarios, también da una idea sobre el contenido de alúmina. Los valores de densidad global y densidad real intervienen en las expresiones utilizadas para el cálculo de la porosidad total del ladrillo. La tabla II.4 recopilamos valores de densidad de diversos materiales aislantes y ladrillos comerciales.

La densidad global fue medida según la Norma **IRAM12612**: Densidad aparente de refractarios densos y aislantes livianos. La densidad global se midió según el método del picnómetro.

2.5.1.2. Porosidad

La porosidad en los materiales aislantes conformados se define como la relación que existe entre la suma de volúmenes de poros abiertos y cerrados con el volumen total.

Esta propiedad fue medida de forma indirecta a partir de las densidades.

$$\%P_T = \left[\frac{V_{pc} + V_{pa}}{V_t} \right] \times 100$$

La porosidad total puede expresarse en función de las densidades como:

$$\%P_T = \left[1 - \frac{D_g}{D_r} \right] \times 100$$

El tamaño del poro tiene gran influencia, ladrillos con pequeños poros ofrecen una mayor resistencia mecánica. Asimismo, la porosidad total es inversa a la resistencia mecánica.

Tabla II. 4 Densidad global de ladrillos comerciales

Materiales aislantes	Densidad (kg/m³)
Ladrillo Skamol SM-65	650,0
Ladrillos Skamol HIPORO	570,0
Materiales semiflexibles en láminas: Fibra de lino	208,0
Materiales semirígidos en forma de placas: <i>Placas de corcho</i>	112,0-170,0
<i>Lana mineral, bloques con aglutinante</i>	268,0
Tierra diatomacea moldeada y cocida	608,7
Tierra diatomacea y arcilla moldeada y cocida	677,6
Arcilla refractaria aislante de caolín	304,4

2.5.1.3. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica se define como la propiedad de los materiales aislantes para ofrecer resistencia a diversas fuerzas mecánicas exteriores. Existe la resistencia mecánica o diferentes esfuerzos mecánicos, tales como la compresión en frío, compresión en caliente, flexión y rotura.

El valor de la resistencia mecánica refleja los tratamientos térmicos que el aislante recibe durante su manufactura. También tiene estrecha relación con la porosidad, densidad, resistencia a la abrasión, resistencia al choque térmico.

El valor de resistencia mecánica a la compresión en frío es siempre solicitado en las especificaciones de los aislantes. El ensayo es similar al de tracción en los metales, pero con cargas de compresión. La tabla II.5 recopila los principales valores de resistencia mecánica de ladrillos comerciales.

2.5.2 .Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de los materiales aislantes son de las más importantes; entre ellas tenemos: conductividad térmica, calor específico, dilatación. Como ya se comentó anteriormente lo importante es que el material conserve sus propiedades en el tiempo.

Tabla II.5. Valores de resistencia mecánica de ladrillos aislantes comerciales.

Ladrillos aislantes	Resistencia mecánica (MN/m²)
Ladrillo Skamol SM-65	3,5
Ladrillo Skamol HIPORO	1,6
Bloques de termoarcilla	5,0
Ladrillos de perlita	2,0

2.5.2.1. Conductividad térmica

La conductividad térmica es una medida de la transferencia de calor a través de un material. La transferencia de calor se realiza desde los cuerpos más calientes a los más fríos. Esta propagación puede darse en tres formas: conducción, convección y radiación.

El calor se propaga por conducción cuando hay contacto directo entre el cuerpo caliente y el frío o cuando entre ambos existe un medio material continuo que adquiere temperaturas intermedias sin que la transmisión de calor provoque en dicho medio ningún movimiento de partículas. La propagación por convección es debida al movimiento de las partículas en un medio fluido. Las partículas calientes, menos densas se mueven hacia arriba, las moléculas frías de la parte superior del fluido descienden. Esta forma de transmisión supone siempre un transporte de calor hacia arriba. (<http://www.uv.es>, 2004).

Si sólo existiesen estas dos formas de transmisión, un cuerpo en el vacío siempre estaría a la misma temperatura. La radiación del calor es una forma de transmisión en la cual no intervienen partículas materiales. Todo cuerpo emite hacia el espacio energía en forma de ondas electromagnéticas que suponen una pérdida de energía y su temperatura disminuye. Los cuerpos que le rodean también emiten una energía y parte de ella es absorbida por el cuerpo inicial, estableciéndose un balance de energía entre ellos, de modo que la temperatura no varía o varía poco con el tiempo.

Según la ley de Fourier que rige la transferencia de calor en los sólidos, la velocidad de transmisión del calor en los cuerpos es:

$$q = -k * A * \frac{d_t}{d_x}$$

Donde:

- q = Velocidad de transmisión a lo largo del material
- k = Conductividad térmica del material
- A = Sección del material perpendicular al flujo de calor.
- d_t = Variación de la temperatura entre la cara fría y caliente.
- d_x = Espesor en la dirección de x.

Esta propiedad será medida según la Norma IRAM 11559, en el equipo denominado: “Placa caliente”.

Según los autores Martina, Aeberhar. A, Aerberhar M, Corace (2003), el equipo utilizado consiste fundamentalmente de una fuente caliente constituida por una placa calefactora que está formada por una parte central y un anillo de guarda. Esta fuente se coloca en el centro del equipo y es alimentada por conductores eléctricos los cuales se conectan a variadores de tensión que permiten una alimentación progresiva de la corriente eléctrica la cual irá calentando la placa paulatinamente. También los autores detallan que ambos lados de la placa calientes se conectan dos placas de material conductor (cobre) para formar una superficie homogénea de transmisión de calor.

Posteriormente se colocan las probetas del material a experimentar seguidas por las fuentes frías. Estas fuentes frías son placas que tienen serpentines por donde circula agua de red para lograr que la temperatura se mantenga constante. Luego se colocan en las caras del material un número suficiente de termocuplas que permita registrar los cambios de temperatura. El conjunto se rodea de un material aislante para evitar pérdidas de calor al exterior.

Finalmente, el equipo es una especie de emparedado horizontal formado por varias capas, donde el calor se produce eléctricamente en el centro y se va transmitiendo hacia ambos lados externos por conducción (Figuras 2.12, 2.13 y 2.14).

En este método absoluto de medición de conductividad térmica es uno de los más usados para el caso de materiales aislantes así como también es uno de los más versátiles.

Para el cálculo final de la conductividad se utilizó la siguiente fórmula:

$$k = \left[\frac{e_1 + e_2}{\Delta T} \right] * P$$

En esta ecuación:

- K : Conductividad térmica del material, medida en W/°C*m.
- e₁ y e₂ : Espesores de la probeta.
- P : Potencia eléctrica suministrada en watts.
- ΔT : Diferencia de temperatura entre la cara fría y la caliente.

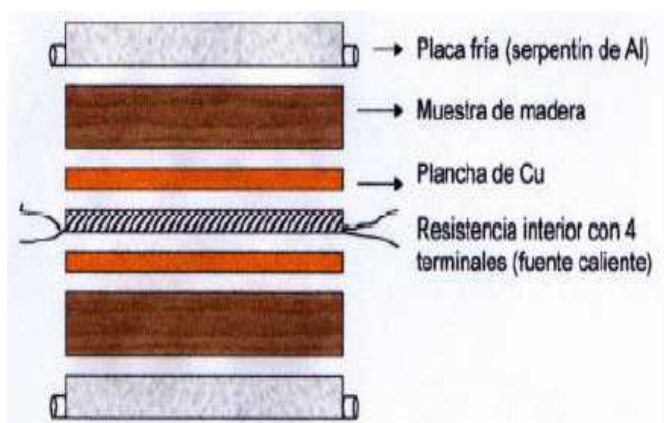


Figura 2.12. Esquema del aparato de placa caliente.



Figura 2.13. Vista de perfil del aparato con las muestras a medir.



Figura 2.14. Aparato de la placa caliente cerrado.

En la Tabla II.6 se muestran valores de conductividad de ladrillos aislantes.

Tabla II.6. Conductividad térmica de ladrillos aislantes comerciales.

Ladrillos comerciales	Conductividad térmica (W/m*K)
Ladrillo Skamol SM-65	0,13
Ladrillos Skamol HIPORO	0,12
Ladrillos de perlita	0,11
Bloques de termoarcilla	0,790-1,1

2.6. Cálculos y resultados

A continuación se presentan los cálculos y resultados de las propiedades mencionadas en el punto 2.5

2.6.1. Densidad global

En la tabla II.7 se muestran los valores obtenidos de densidad global, calculados según la expresión señalada en el apartado 2.5.1.1.

Tabla II.7. Densidad de ladrillos con diversos porcentajes de diatomita.

Diatomita	Probeta 1		Densidad (kg/m³)	Probeta 2		Densidad (kg/m³)	Densidad promedio (kg/m³)
	Masa (kg)	Volumen (m³)		Masa (kg)	Volumen (m³)		
100	1,597	0,0015	1090	1,589	0,0015	1090	1090
80	1,625	0,0015	1120	1,634	0,0015	1120	1120
60	1,838	0,0014	1260	1,826	0,0014	1260	1260
0	1,897	0,0012	1630	1,914	0,0012	1660	1650

Como podemos observar en la Figura 2.17, los valores de densidad global disminuyen al incrementarse el porcentaje de diatomita añadido a la arcilla común. Al ser diatomita un material de baja porosidad, le confiere esta propiedad a la arcilla disminuyendo por lo tanto el volumen de los ladrillos y como consecuencia la densidad global.

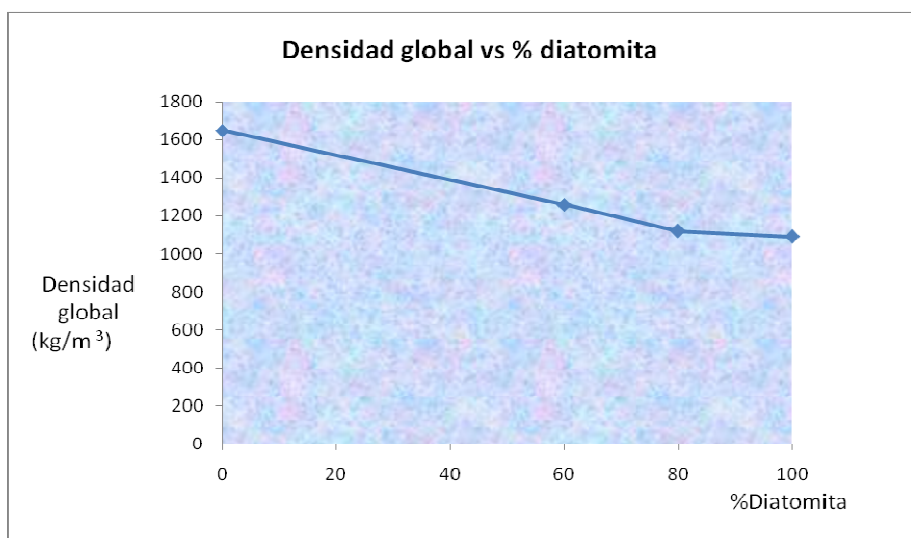


Figura 2.17. Densidad global vs % diatomita.

2.6.2. Densidad real

En la Tabla II.8 muestra los valores obtenidos de densidad real.

Tabla II.8. Densidad real de ladrillos con diferentes porcentajes de diatomita.

Diatomita (%)	Densidad real (kg/m³)
100	2310
80	2450
60	2580
0	2550

Fuente: Laboratorio Instituto de Investigaciones Mineras. Universidad Nacional de San Juan

En la Figura 2.18 se observa que la densidad real disminuye al incrementarse el porcentaje de diatomita añadido a la arcilla común. Sin embargo, estos valores son elevados, si se comparan con valores de ladrillos de diatomitas.

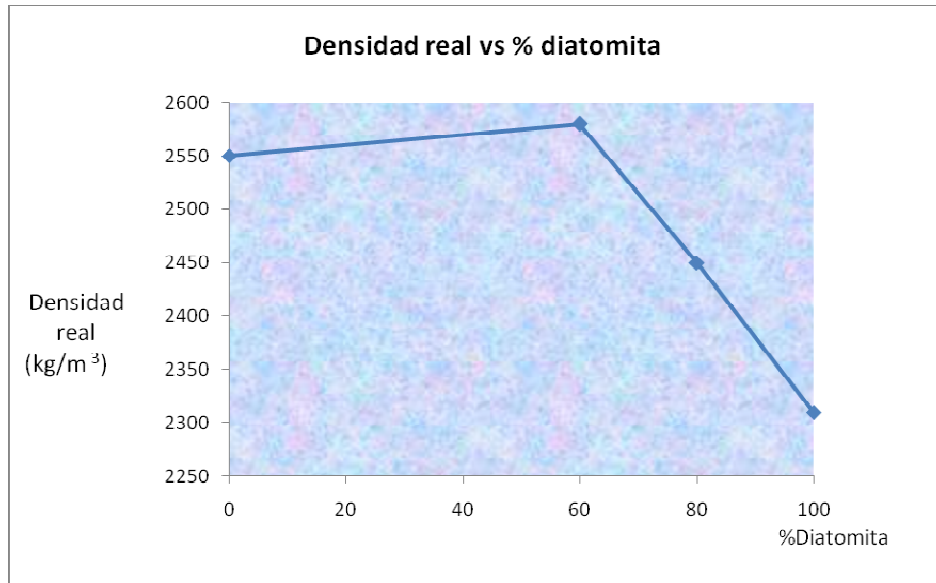


Figura 2.18. Valores de densidad real vs % diatomita.

2.6.3. Porosidad

La Tabla II.9 contiene los valores de porosidad de los distintos ladrillos calculados según lo indicado en la expresión analítica del apartado 2.5.1.2.

Tabla II.9. Porosidad de ladrillos con diferentes porcentajes de diatomita.

Diatomita (%)	Porosidad (%)
100	55,0
80	54,2
60	50,9
0	35,9

En la Figura 2.19 podemos observar una relación directa entre porcentaje de diatomita añadido y porosidad total. Como se mencionó anteriormente, la diatomita le confiere porosidad a la arcilla.

Sin embargo, se observa que estos valores no son muy elevados, esto es consecuencia de la elevada densidad real. También se debe considerar la granulometría del mineral, recordando que la molienda no fue un parámetro que se pudo controlar.

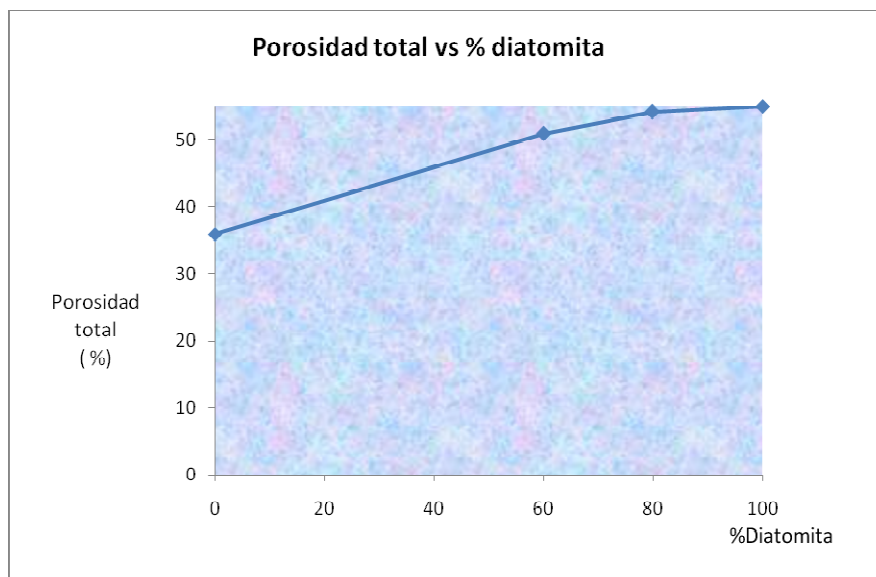


Figura 2.19 .Valores de porosidad total vs % diatomita.

2.6.4. Resistencia mecánica

Se muestran los resultados de la resistencia mecánica a la compresión en la Tabla II.10 y Figura 2.20. Este ensayo fue realizado según la norma **IRAM 12602**.

En la Figura 2.21 se observa una relación directa entre la densidad real y la resistencia mecánica. Una mayor porosidad es consecuencia de mayor densidad global y por lo tanto se incrementa la resistencia mecánica a los esfuerzos físicos.

Tabla II.10. Resistencia mecánica de ladrillos con diferentes porcentajes de diatomita.

Diatomita (%)	Resistencia Mecánica (MN/m²)
100	2,79
80	3,86
60	6,50
0	11,45

Fuente: Instituto de Prevención Sísmica, IMPRES, San Juan-Argentina

La resistencia mecánica de los ladrillos disminuye al incrementar la cantidad añadida de diatomita. Esta relación inversa es consecuencia del incremento de porosidad debido al aumento de proporción de diatomita lo cual puede observarse en la Figura 2.22.

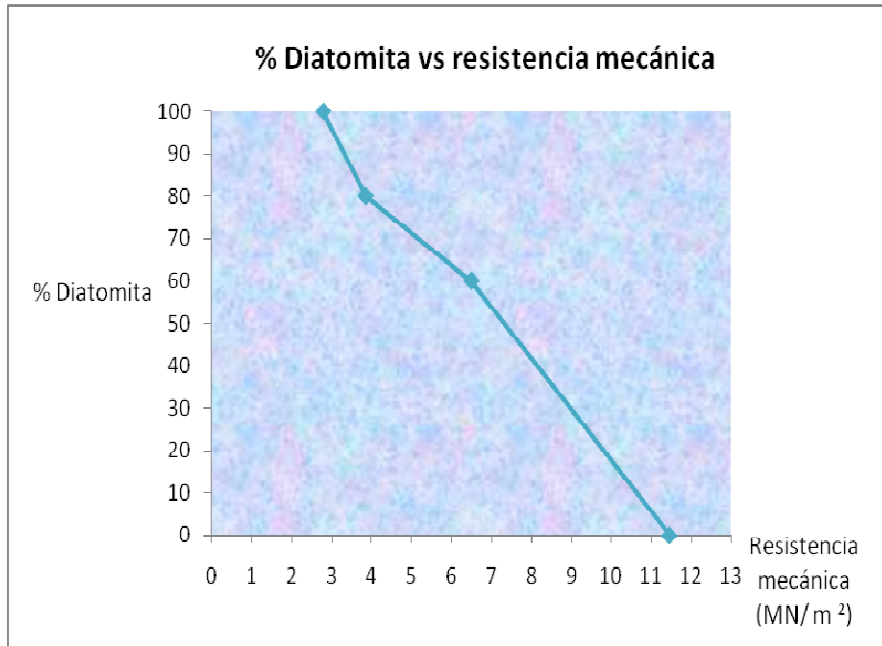


Figura 2.20. Valores de % diatomita vs resistencia mecánica.

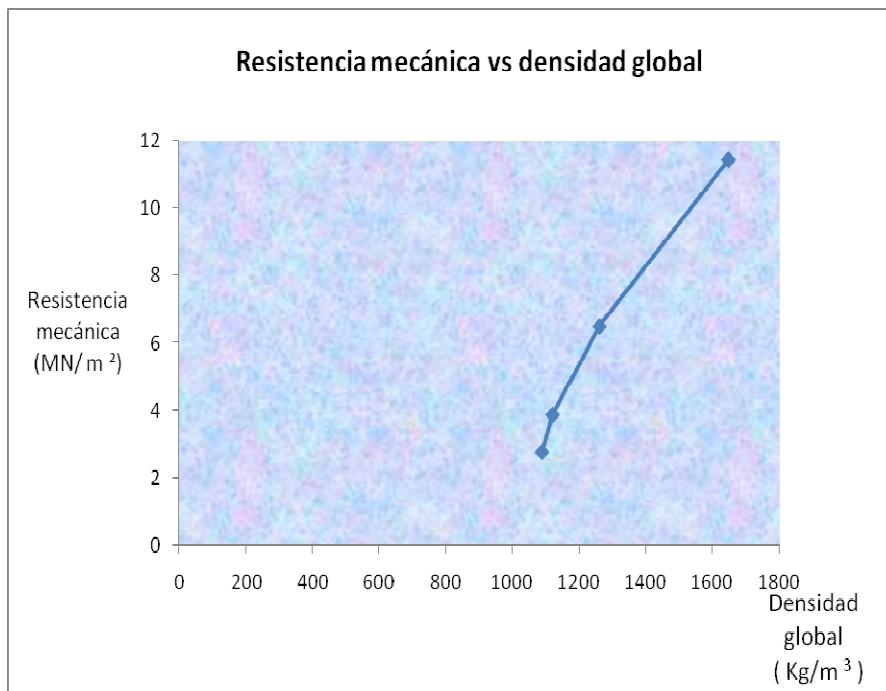


Figura 2.21. Valores de resistencia mecánica vs densidad global.

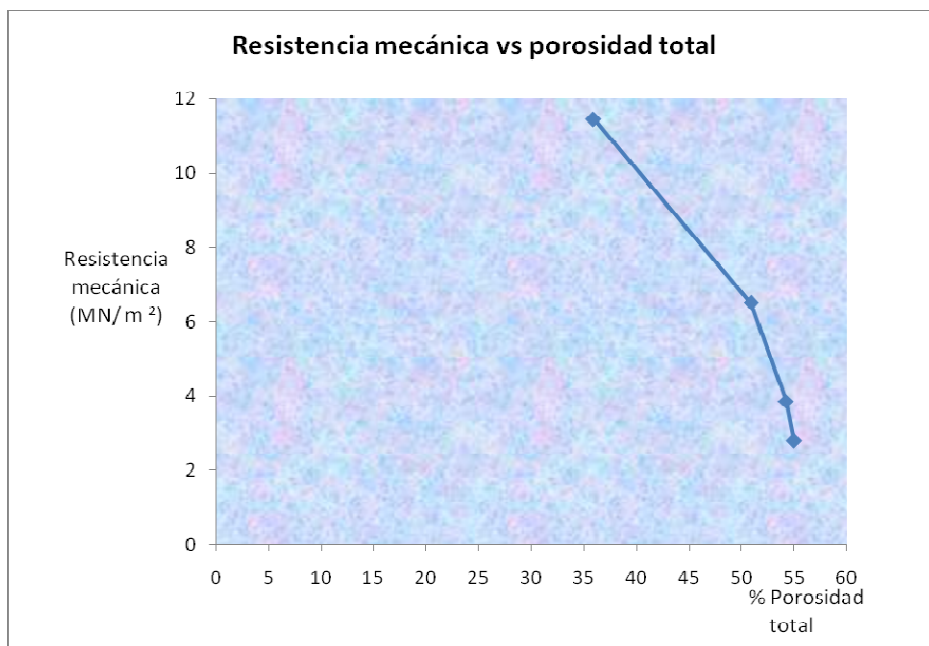


Figura 2.22. Valores de resistencia mecánica vs porosidad total.

2.6.5. Conductividad térmica

Como se mencionó anteriormente este ensayo se realizó según la norma IRAM 11559. Los resultados se muestran en la Tabla II.11.

Tabla II.11 Valores de conductividad térmica de ladrillos con diferentes porcentajes de diatomita

Temperatura 100 ° C	Diatomita (%)	k (W/ K*m)
	100	0,21
	80	0,33
	60	0,30
	0	0,93

Podemos observar en la Figura 2.23 la disminución de la conductividad térmica al aumentar el porcentaje de diatomita. Al ser este mineral poroso y con baja conductividad térmica le confiere estas propiedades a la arcilla de alfarería. Vemos también que al añadir un 60% de diatomita las propiedades térmicas mejoran notablemente en un 65% pasando de 0,93 a 0,33 W/K*m.

Dado que la porosidad está relacionada con la conductividad térmica se esperaba que esta propiedad disminuyera directamente con respecto a la porosidad. Así se puede observar en la Figura 2.24.

Igualmente al ser los ladrillos más densos sus propiedades térmicas disminuyen esto se observa en la Figura 2.25.

Se ha podido observar también la íntima relación de las propiedades físicas y mecánicas como porosidad, densidad global, densidad real, resistencia mecánica con la propiedad térmica más importante en un material aislante: la conductividad térmica (k). Vemos como un elevado valor de una propiedad afecta a otra y finalmente al valor de k.

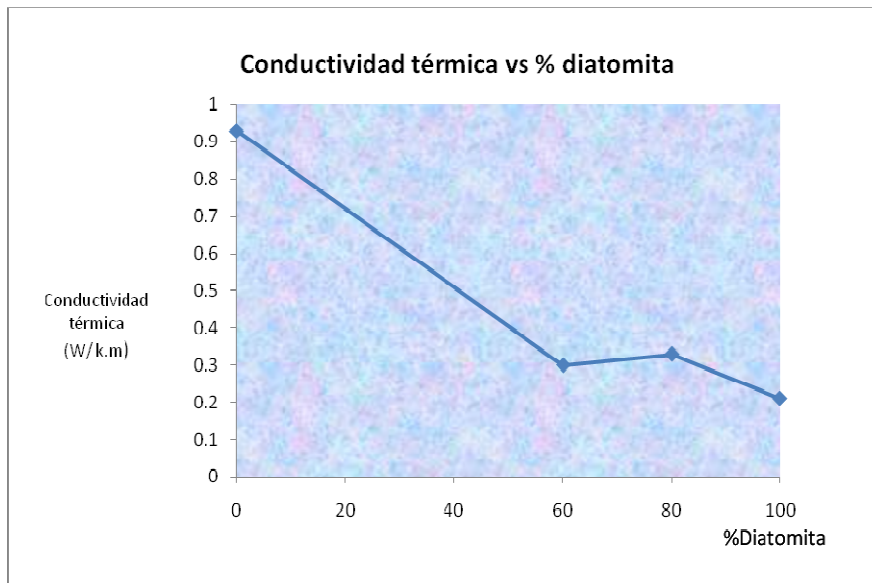


Figura 2.23. Valores de conductividad térmica vs % diatomita.

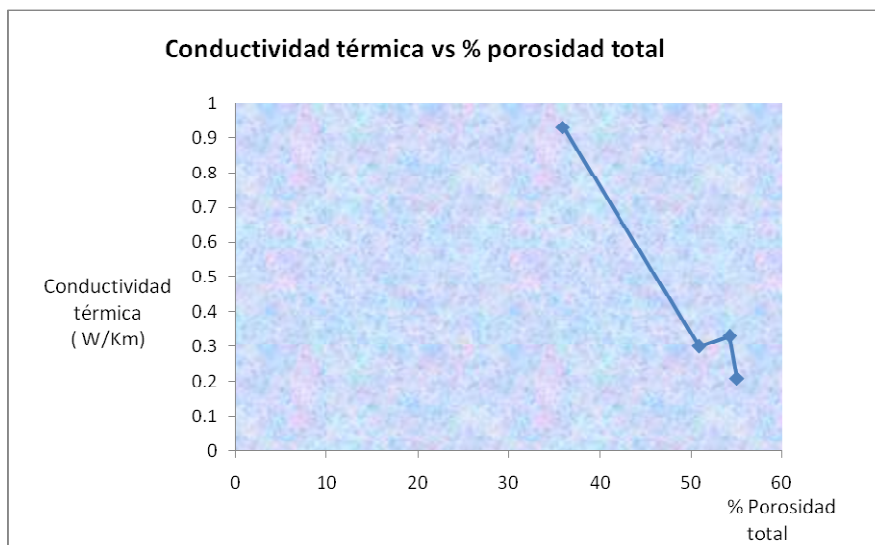


Figura 2.24. Valores de conductividad térmica vs % porosidad.

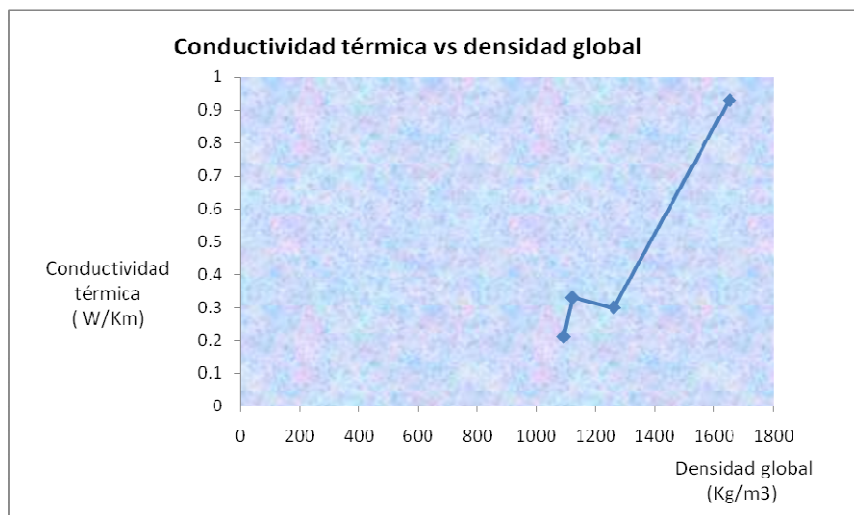


Figura 2.25. Valores de conductividad térmica vs densidad global.

Estas propiedades antes mencionadas dependen de la materia prima y del proceso de fabricación de las piezas. De allí la importancia de realizar un estudio más profundo acerca de ésta. Como se observó en el análisis químico, la diatomita contiene contaminantes como óxidos alcalinos, los cuales son perjudiciales en materiales refractarios. Asimismo, la molienda debe realizarse con sumo cuidado tratando de no destruir la estructura de las diatomeas, ya que las propiedades filtrantes, decolorantes, aislantes, absorbentes de la diatomita no sólo dependen de su composición química sino de la presencia de microporos en las frústulas de las diatomeas. El mayor número de frústulas sanas se encuentra relacionado con la mejora de las propiedades antes mencionadas.

2.7. Control de calidad

Es necesario realizar una comparación de los ladrillos manufacturados con la diatomita del yacimiento “Cerro de la Luna”, con ladrillos aislantes comerciales para tener una idea más precisa sobre la calidad de nuestros productos.

Como se ha podido observar las propiedades térmicas de los ladrillos han mejorado de forma directa a las proporciones de diatomitas, es decir, mientras mayor es el porcentaje de diatomita, la conductividad térmica (k) es menor. Sin embargo, las propiedades mecánicas como la resistencia mecánica se vieron afectadas, disminuyendo a medida que el porcentaje de diatomita aumentaba.

La confección manual de los ladrillos permite una buena aglutinación de las partículas, teniendo el producto final una buena apariencia, no presentando desbordes, ni fracturas por los costados. Así también los ladrillos no presentan una contracción significativa, sin embargo, las dimensiones son menores a las especificadas según las normas **IRAM 12530** (230*114*65 mm).

La Tabla II.12 presenta el resumen de las propiedades de los ladrillos que poseen agregados de diatomita La Tabla II.13 presenta un resumen de ladrillos aislantes comerciales y del ladrillo cerámico común sin agregado de diatomita.

Tabla II.12. Propiedades de ladrillos con diversos porcentajes de diatomita.

Tipo de ladrillo	Densidad global (kg/m ³)	Porosidad total (%)	Resistencia mecánica a la compresión (MN/cm ²)	Conductividad térmica (W/m*K)
100% diatomita	1090	55,0	2,79	0,10
80% diatomita	1120	54,2	3,86	0,30
40% diatomita	1260	50,9	6,50	0,33

Tabla II.13. Propiedades de ladrillos de diatomita comerciales.

Tipo de ladrillo	Densidad global (kg/m ³)	Porosidad total (%)	Resistencia mecánica a la compresión (MN/cm ²)	Conductividad térmica (W/m*K)
Ladrillo Skamol SM-65	650	72	3,50	0,125
Ladrillos Skamol HIPORO	570	76	1,60	0,12
Ladrillo cerámico	1650	35	11,45	0,93

Como podemos observar en la tabla 2.12. el ladrillo 100% diatomita posee valores de conductividad térmica similares al **Skamol SM-65**, el valor de resistencia mecánica difiere solo en 0,71 %. Sin embargo los valores de porosidad y densidad global difieren significativamente.

El ladrillo con 100% de diatomita es el que presenta características más parecidas al ladrillo **Skamol SM-65**, los ladrillos 80% y 40% poseen valores tres veces mayores de

conductividad térmica, una mayor resistencia mecánica y densidad y menores valores de porosidad.

Al comparar los ladrillos con **Skamol HIPORO** se observa que el ladrillo con 100% diatomita posee un valor similar de conductividad térmica ($0,1 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$), así como también posee valores de mayores de resistencia mecánica se tiene un 2,79 frente a un 1,6 MN/cm^2 . Los valores de porosidad Skamol HIPORO son mayores a los del ladrillo antes mencionado.

Al comparar los tres ladrillos con el cerámico común podemos observar que los diferentes dosajes mejoran notablemente las propiedades térmicas y la porosidad del mismo. Sin embargo, la resistencia mecánica disminuye notablemente, siendo el ladrillo con 40% de diatomita el que posee una resistencia mecánica admisible para ladrillos cerámicos para construcción.

Capítulo 3

Efecto de las diatomitas en las propiedades mecánicas y aislantes de revestimientos cerámicos

Este capítulo se refiere a la fabricación de revestimientos cerámicos con diferentes proporciones de diatomita. El agregado de este mineral busca mejorar las propiedades aislantes de los revestimientos cerámicos. Se evaluará el efecto que ocasionan las diferentes proporciones de diatomita, en las propiedades físicas y térmicas de los revestimientos.

Se realizaron probetas siguiendo el proceso de control utilizado para el caso de estudio de arcillas que se utilizan en la industria cerámica. Las probetas fabricadas tuvieron las siguientes dimensiones: 10*5 cm y espesor variable, ya que al momento de realizar el prensado, según sea la materia prima, se conseguían probetas de mayor o menor espesor.

El proceso de fabricación de las probetas trata de simular el proceso de monococción seguido por la Fábrica Cerámica San Lorenzo (ex SCOP). Las piezas se moldearon y cocieron en las instalaciones de dicha empresa.

La diatomita utilizada fue la proveniente del yacimiento “La Iglesiasiana”, cuyas características fueron descritas en el punto 1.5.7. A continuación se presenta el diagrama de proceso de fabricación de las probetas (Figura 3.1) y el análisis granulométrico del mineral (Tabla III.1 y Figuras 3.2).

En el diagrama de proceso de fabricación de probetas las primera cuatro operaciones: molienda, secado, trituration, humidificación, corresponden a la preparación de la mezcla. Luego continúa el prensado, secado 1, cocción y control de calidad.

3.1. Preparación de probetas

La preparación de probetas se inicia con la selección de las materias que formaran parte de la mezcla así como los porcentajes de diatomita que se agregará. Luego continúa la fabricación de la pasta, el secado, la cocción y el control de las propiedades más importantes en los revestimientos cerámicos.



Figura 3.1. Diagrama de proceso de fabricación de probeta.

Tabla III.1. Análisis granulométrico

N° Tamiz IRAM	Tamaño de partícula (μm)	Retenido (%)	Acumulado (%)
30	6,00	37,70	37,70
40	4,50	19,00	56,70
50	3,00	8,16	64,86
60	2,50	12,42	77,28
80	1,87	10,80	88,08
120	1,25	6,30	94,38
230	6,50	4,85	99,23
Fondo 230	-----	0,77	100,00

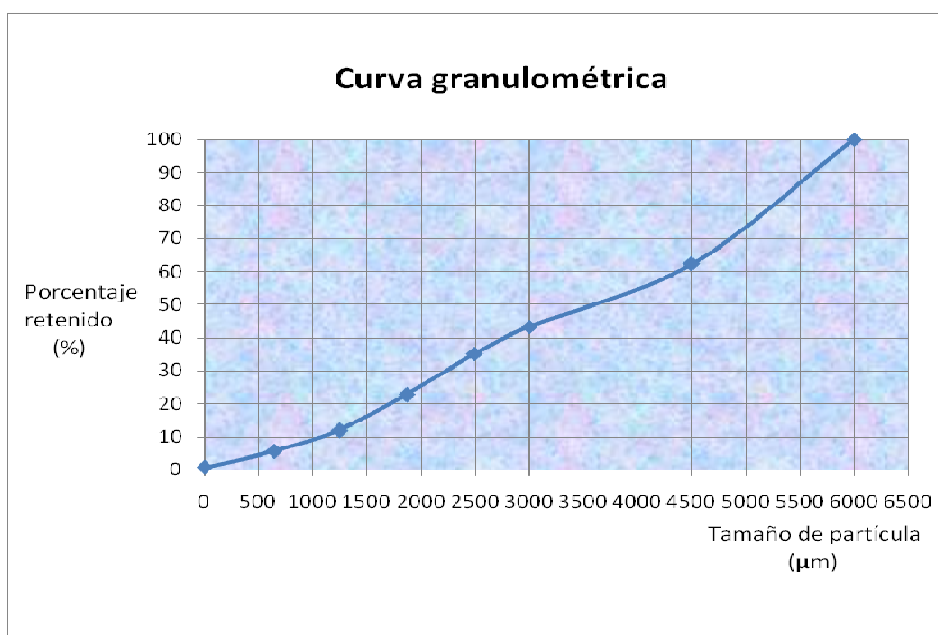


Figura 3.2. Curva granulométrica del material.

3.1.1. Determinación de la mezcla

La selección de las arcillas con las cuales se realizaría la mezcla se basó en su composición química ya que no se contó con un análisis mineralógico. A fin de observar el

comportamiento de la diatomita se seleccionaron arcillas utilizadas en la industria cerámica cada una con características y propiedades diferentes.

Las arcillas seleccionadas fueron: arcilla verde y arcilla marquesita. Sus composiciones químicas se presentan en la Tabla III.2

Tabla III.2. Composición química de arcillas

Compuestos	Arcilla verde (%)	Arcilla marquesita (%)
SiO₂	65,38	85,02
Al₂O₃	19,85	12,52
TiO₂	0,67	0,21
Fe₂O₃	5,66	0,71
CaO	1,84	0,41
MgO	1,90	0,17
K₂O	2,96	0,84
Na₂O	1,49	0,09
Li₂O	0,11	0,03
MnO	0,04	-----
PbO	-----	-----
Total calc.	100,00	100,00
P*C a 1000^aC	5,97	4,64
SO₃	1,21	0,09

Fuente: Laboratorio de procesos, cerámica San Lorenzo.

La arcilla verde contrae después de la cochura y la arcilla marquesita tiende a dilatar.

Se denominará:

- **MEZCLA 1:** diatomita + arcilla verde

- **MEZCLA 2:** diatomita + arcilla marquesita

3.1.2. Proporción de mezcla

De la experiencia se decidió trabajar con las siguientes proporciones de diatomita y arcilla, indicadas en la Tabla III.3.

Tabla III.3. Porcentajes de diatomita y arcilla de las dos mezclas.

Diatomita (%)	Arcilla (%)
10	90
30	70
50	50
70	30
90	10

3.1.3. Preparación de la mezcla

Los pasos seguidos en la preparación de la mezcla fueron:

- Se cargó en el molino de bolas la mezcla (1 ó 2) en la proporción determinada. El cálculo se realizó sobre 1500 g. Se añadió 3 g de floculante y 900 g de agua.
- Se molió la mezcla durante aproximadamente 1 hora.
- Se descargó el molino vaciando la mezcla en una bandeja haciéndola pasar previamente por un tamiz con la finalidad de separar las bolas de la mezcla plástica
- Se secó la mezcla en una estufa a 120 °C, durante 24 horas.
- Se sacó la mezcla seca, de la estufa y trituró con un rodillo.
- Se verificó el tamaño del grano haciendo pasar la mezcla por el tamiz IRAM N° 20.
- Se humedeció la mezcla de acuerdo a las condiciones determinadas de trabajo (6%).

La humedad de la mezcla se midió en una balanza electrónica. La mezcla quedó preparada para su posterior prensado.

3.1.4. Prensado

Se realizó en una prensa SACMI tipo pila. Las presiones utilizadas (ya determinadas) fueron de 60-260 bares correspondientes a la primera y segunda prensada. Con la finalidad de llevar un control adecuado se anotó en las probetas recién prensadas el nombre de la mezcla, proporción y calibre. Este último se tomó con un calibre digital.

3.1.5. Cocido

Se realizó en un horno industrial SACMI tipo monoestrato. Las probetas se colocaron en rejillas metálicas y se llevaron al horno. Las temperaturas de trabajo fueron variables:

- T máxima arriba del horno: 1100 °C.
- T máxima abajo del horno: 1120 °C.

El ciclo del horno osciló entre 37-40 minutos.

3.2. Control de calidad

El control de calidad de los cerámicos se llevó a cabo mediante la medición de ciertas propiedades físicas importantes en la industria cerámica como son: resistencia mecánica a la flexión, tanto en verde (antes del secado) como después de la cocción, capacidad de absorción y contracción después de la cochura. Los valores obtenidos de estos resultados se compararon con valores aceptados para los revestimientos.

3.2.1. Resistencia mecánica a la flexión

La resistencia a la flexión se define como la tensión máxima bajo la cual se rompen los productos cerámicos por efectos de un esfuerzo de tensión. Depende de la rigidez térmica y capacidad aglutinante.

Se realizó en un flexímetro **GABRIELLI**, modelo CR5. Se midió tanto la resistencia a la flexión en verde así como la resistencia después de la cochura.

3.2.2. Medida de la absorción

Si la pieza es porosa ganará peso al ser sumergida en agua. La cantidad de agua absorbida es un indicativo de la porosidad de la pieza.

El procedimiento seguido para determinar el porcentaje de absorción fue el siguiente:

1. Pesar inicialmente las placas.
2. Colocarlas en una olla y cubrirlas con agua.
3. Hervir durante dos horas.
4. Retirar las muestras del agua y secarlas suavemente (así se evita la pérdida de humedad).
5. Pesar las muestras.

Calcular el porcentaje de absorción con la siguiente fórmula

$$\% \text{ Absorción} = [\text{peso final} - \text{peso inicial} / \text{peso final}] * 100$$

3.2.3. Medida del porcentaje de contracción después de la cocción

Debido a los cambios químicos producidos durante la cocción se registran cambios en el volumen de las probetas. El procedimiento para determinar el porcentaje de contracción fue el siguiente:

1. Anotar en las placas el calibre antes del secado.
2. Tomar la medida del calibre de las placas después de la cocción
3. Calcular el porcentaje de contracción de la siguiente manera.

$$\% \text{ Contracción} = [\text{calibre fina l- calibre inicial} / \text{calibre final}] * 100.$$

3.3. Cálculos y resultados

A continuación se presentarán los cálculos y resultados obtenidos en la fabricación de revestimientos cerámicos. Antes presentamos en la Tabla III.4 las características mecánicas de las probetas realizadas únicamente con arcillas sin agregados de diatomita.

Tabla III.4. Principales propiedades mecánicas de las arcillas.

Propiedades físicas	Arcilla verde	Arcilla marquesita
Resistencia mecánica en verde (kg/cm ²)	4-5	2,3
Resistencia después de la cocción (kg/cm ²)	250-380	26-30
Absorción de agua (%)	9-11	18-20
Contracción después de la cocción (%)	3-4	-----

Fuente: Laboratorio de Procesos de Cerámica Skol.

3.3.1. Resistencia a la flexión en verde y después de la cocción

Para la resistencia mecánica a la flexión según los resultados obtenidos podemos decir que para la mezcla 1, al aumentar la proporción de diatomita disminuye la resistencia

mecánica a la flexión tanto en verde como después de la cocción (Tabla III.5, Figura 3.3, Tabla III.6, Figura 3.4). Se da una relación inversa entre las resistencias y el porcentaje de diatomita añadido.

Esta disminución se debe a que al aumentar la proporción de diatomita aumenta la porosidad de la placa, ésta se encuentra entre 12 y 20%. Al aumentar la porosidad las placas tienen más aire en su interior y por lo tanto son más ligeras disminuyendo sus propiedades mecánicas. También se debe recordar que la presencia de óxidos de fierro y alcalinos perjudican las propiedades mecánicas de las probetas.

En la industria cerámica se requiere que las baldosas tengan un valor mínimo de resistencia en verde ya que ésta asegura que las placas resistirán las operaciones del proceso sin sufrir fracturas. Como se mencionó el valor de la resistencia en verde disminuyó, sin embargo se mantiene alrededor de 4 kg/cm^2 , el cual es un valor aceptable.

Tabla III.5. Resultados de resistencia mecánica en verde de la mezcla 1.

Proporción (%)		Resistencia en verde (kg/cm^2)			
Diatomita	Arcilla verde	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
10	90	4,27	4,09	4,18	4,18
30	70	4,35	3,88	4,18	4,14
50	50	3,03	4,18	4,11	3,77
70	30	3,83	3,95	3,14	3,64
90	10	3,18	3,89	3,34	3,47

Tabla III.6. Resultados de resistencia después del cocido de la mezcla 1.

Proporción (%)		Resistencia después del cocido (kg/cm^2)			
Diatomita	Arcilla verde	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
10	90	255,57	269,53	244,15	256,42
30	70	211,83	225,22	221,85	219,63
50	50	165,42	168,27	166,88	166,86
70	30	123,7	124,19	123,49	123,79
90	10	132,86	125,85	134,86	131,19

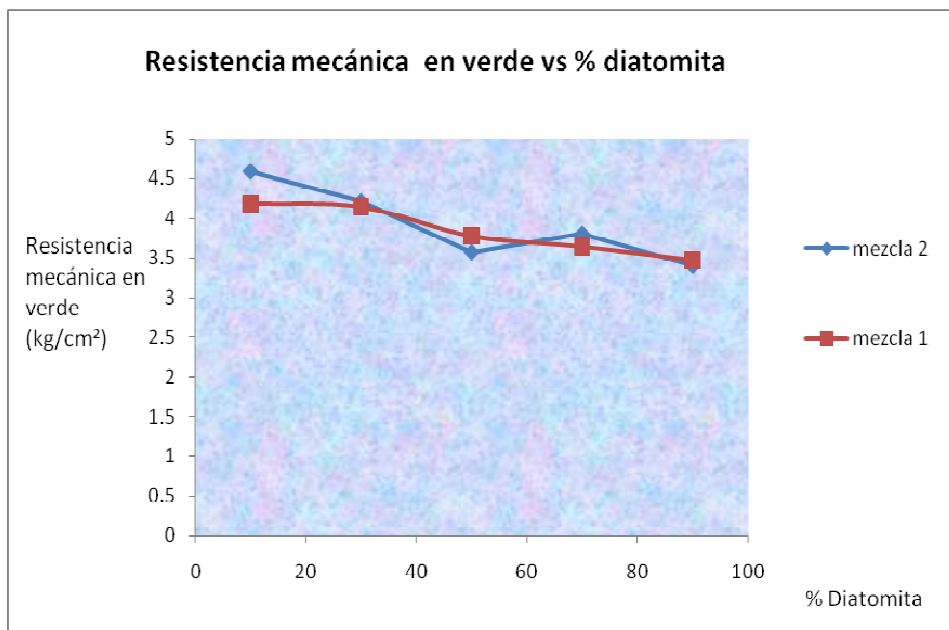


Figura 3.3. Resistencia mecánica en verde vs % diatomita.

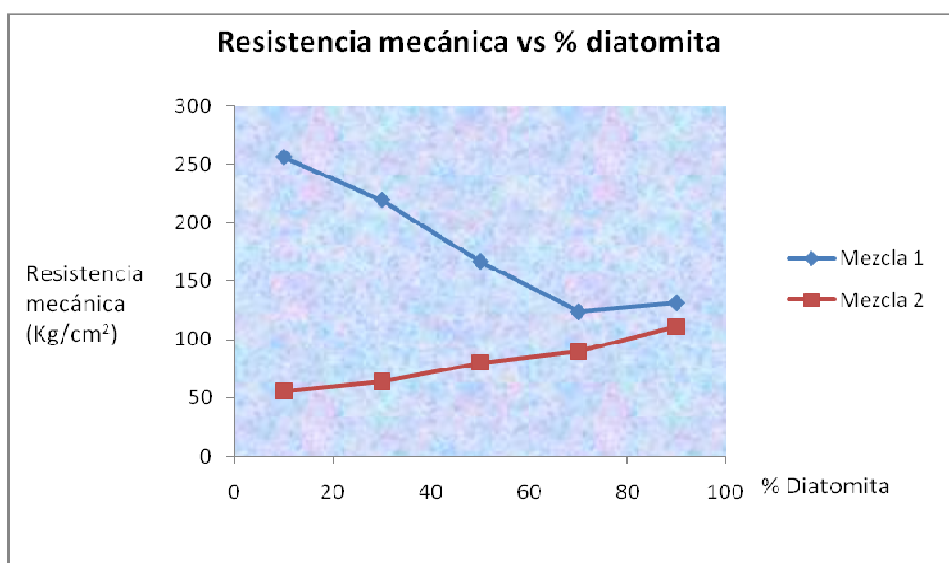


Figura 3.4. Resistencia mecánica después de la cocción vs % diatomita.

Para la mezcla 2, al aumentar la proporción de diatomita, la resistencia mecánica en verde disminuye y la resistencia después de la cocción se incrementa (Tabla III.7, Figura 3.3, Tabla III.8, Figura 3.4). El incremento de la resistencia mecánica después de la cocción es aproximadamente del 50% con respecto a los valores de la arcilla marquesita mostrados en la Tabla III.4. También se observa una relación directa entre resistencia mecánica después de la cocción y porcentaje de diatomita

El aumento de esta propiedad puede deberse a la ocurrencia de una vitrificación parcial de alguna fase cristalina existente, lo cual se traduce en la mejora de las propiedades mecánicas de las probetas.

En la mezcla 2, Los valores de resistencia mecánica en verde se mantienen en un nivel aceptable alrededor de 4 kg/cm^2 . La porosidad se mantiene alrededor de 20-21%. Por lo tanto, podemos decir que al mantenerse la porosidad la resistencia mecánica no disminuye como en el caso de la mezcla 1 sino más bien aumenta notablemente.

Tabla III.7. Resultados de resistencia mecánica en verde de la mezcla 2.

Proporción (%)		Resistencia en verde (kg/cm^2)			
Diatomita	Arcilla marquesita	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
10	90	4,52	4,72	4,52	4,59
30	70	4,12	3,99	4,51	4,21
50	50	3,55	3,28	3,88	3,57
70	30	3,87	3,77	3,77	3,80
90	10	2,76	3,66	3,77	3,40

Tabla III.8. Resultados de resistencia mecánica después del cocido de la mezcla 2.

Proporción (%)		Resistencia después de la cocción (kg/cm^2)			
Diatomita	Arcilla marquesita	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
10	90	61,52	44,34	60,57	55,48
30	70	66,81	62,84	62,69	64,11
50	50	82,52	77,58	79,56	79,89
70	30	89,03	91,05	89,76	89,95
90	10	113,99	110,88	108,18	111,02

En el gráfico comparativo de la Figura 3.3 de la resistencia mecánica para ambas mezclas vemos cierta similitud para las diferentes proporciones de diatomita. Los valores no se alejan en gran proporción sobre todo para las placas que contienen un 70 y 90% de diatomita, asemejándose más los valores para esta última proporción ya que las placas son prácticamente de diatomita.

Se debe resaltar que al momento de realizar el prensado, éste se dificultaba al aumentar el porcentaje de diatomita, obteniéndose probetas más frágiles, esto se traduce en una disminución de la resistencia mecánica en verde.

En el gráfico comparativo de la Figura 3.4 se observa después de la cocción que las placas realizadas con la mezcla 1 poseen mayor resistencia mecánica que las realizadas con la mezcla 2. Sin embargo, a partir de las proporciones 70 y 90% de diatomita se observa mayor similitud de los valores. Para la proporción del 90% vemos una mayor similitud ya que ambas probetas son prácticamente sólo diatomita.

Los valores de resistencia mecánica de la mezcla 1 son mucho mayores que los de la mezcla 2 teniendo esta mezcla una composición química, se esperaban mejores resultados en cuanto a las propiedades mecánicas. Esto pudo deberse a que todas las probetas se realizaron con un mismo programa de cocción en el horno continuo de la planta.

3.1.2. Absorción de agua o porosidad

En cuanto a la porosidad, ésta aumenta para ambas mezclas. La diatomita posee una gran capacidad absorbente pudiendo absorber hasta 3.4 veces su porcentaje en peso. Es evidente que al añadir diatomita a la arcilla verde (mezcla 1), ésta mejora sus propiedades de absorción (Tabla III.9, Figura 3.5).

Como era de esperarse se da una relación directa entre porosidad y resistencia mecánica para el caso de la mezcla 1. La resistencia mecánica disminuye, aumentando así la porosidad. Para la mezcla 2 se observa que la porosidad se mantiene alrededor del 20.1-20,6% y no se incrementa notablemente como es el caso de la mezcla 1 (Tabla III.10 y Figura 3.5), observándose que las proporciones de diatomita no afectan significativamente. Así también observamos que los valores de absorción coinciden para porcentajes de diatomitas del 70-90% siendo más similares para éste último valor.

Como se mencionó anteriormente pudo haber existido una mayor vitrificación en el caso de la mezcla dos, en donde alguna fase cristalina pudo haberse licuado llenando los poros de la placa dando como resultado un aumento de la resistencia mecánica.

3.1.3. Contracción después de la cocción

En cuanto a la contracción de las probetas se observa que para el caso de la mezcla 1 (Tabla III.11, Figura 3.6), ésta aumenta al incrementar las proporciones de diatomita añadida. Lo mismo para el caso de la mezcla 2.

La elevada plasticidad de la diatomita, consecuencia de su gran área superficial y porosidad, podría ser la causa del aumento de contracción de las mezclas ante el incremento de diatomita. También se debe resaltar que el contenido de óxido de hierro y alcalinos pudieron ser la causa de estas contracciones para el caso de la mezcla 1.

Para la mezcla 1 se observa un aumento significativo (mayor al 4%), a partir de la proporción 50-50. Para el caso de la mezcla 2 se manifiesta más esta contracción con valores del 5,19 y 6,62 % para las proporciones diatomita y marquesina de 70-30 y 90-10

respectivamente (Tabla III.12 y Figura 3.6). Para el caso de la mezcla 1, las contracciones son mayores aún siendo bajos los porcentajes de diatomita.

La arcilla marquesita tiene una tendencia a dilatar después de la cocción. Al mezclar marquesita con diferentes proporciones de diatomitas no se observa esta tendencia. Esto puede deberse a la plasticidad que le proporciona la diatomita o a cambios de fase, lo cual va acompañado de cambios en el volumen.

Como observamos en la Figura 3.6, en los porcentajes 10, 30 y 50 de dosajes de diatomita la mezcla 1 presenta mayor contracción. Para el caso de 70 y 90% los valores para ambas mezclas casi coinciden.

3.1.4 Gradiente de temperatura

Se realizó una medida empírica del gradiente de temperatura. Se calentaron las placas a 400 ° C con un calentador eléctrico y se tomó la temperatura de la cara superior de las placas con una termocupla conectada a un termómetro digital. La medida se realizó dentro de una campana para evitar mayores pérdidas de calor.

Como se puede observar en la Tabla III.13 que a medida que aumenta el porcentaje de diatomita el gradiente de temperatura disminuye muy poco por lo que se puede decir que los dosajes de diatomitas no afectan la propiedad de transmisión del calor de la arcilla, ya que un menor gradiente de temperatura nos indica un mayor paso de calor. Para el caso de la mezcla 1 los dosajes de diatomita no afectan la arcilla, ya que casi todas las proporciones registran una misma medida de temperatura (360-380 °C).

Como se puede observar el menor ΔT se obtiene cuando el porcentaje de diatomita es mayor (90%), en las probetas de mezcla 2. A esta probeta le corresponde el mayor valor de resistencia mecánica dentro de las probetas. En cuanto a la porosidad, ésta es la mayor dentro de todas las probetas tanto de la mezcla 2 como las de la 1. La contracción es también la mayor en comparación a todas las probetas.

Aunque la prueba realizada no es normalizada, ella nos da una referencia de la conducción de calor de las probetas.

Tabla III.9. Porcentaje de absorción de agua para mezcla 1.

Proporción		Peso inicial	Peso final	Absorción (%)	Peso inicial	Peso final	Absorción (%)	Promedio
Diatomita (%)	Arcilla Verde (%)							
10	90	64,48	76,94	10,74	66,68	74,50	11,73	11,23
30	70	67,35	75,46	12,04	66,67	74,79	12,18	12,11
50	50	56,81	65,74	15,72	58,99	68,36	15,88	15,80
70	30	53,35	62,90	17,90	52,54	62,00	18,01	17,95
90	10	53,3	64,06	20,19	49,48	59,39	20,03	20,11

Tabla III.10. Porcentaje de absorción para mezcla 2.

Proporción		Peso inicial	Peso final	Absorción (%)	Peso inicial	Peso final	Absorción (%)	Promedio
Diatomita (%)	Arcilla Verde (%)							
10	90	76,40	91,81	20,15	79,06	94,85	19,97	20,06
30	70	67,56	81,33	20,38	66,67	85,06	20,09	20,24
50	50	62,57	75,34	20,41	58,99	75,39	20,12	20,27
70	30	64,53	77,62	20,29	52,54	76,30	20,50	20,39
90	10	49,62	59,82	20,59	49,48	61,26	20,64	20,60

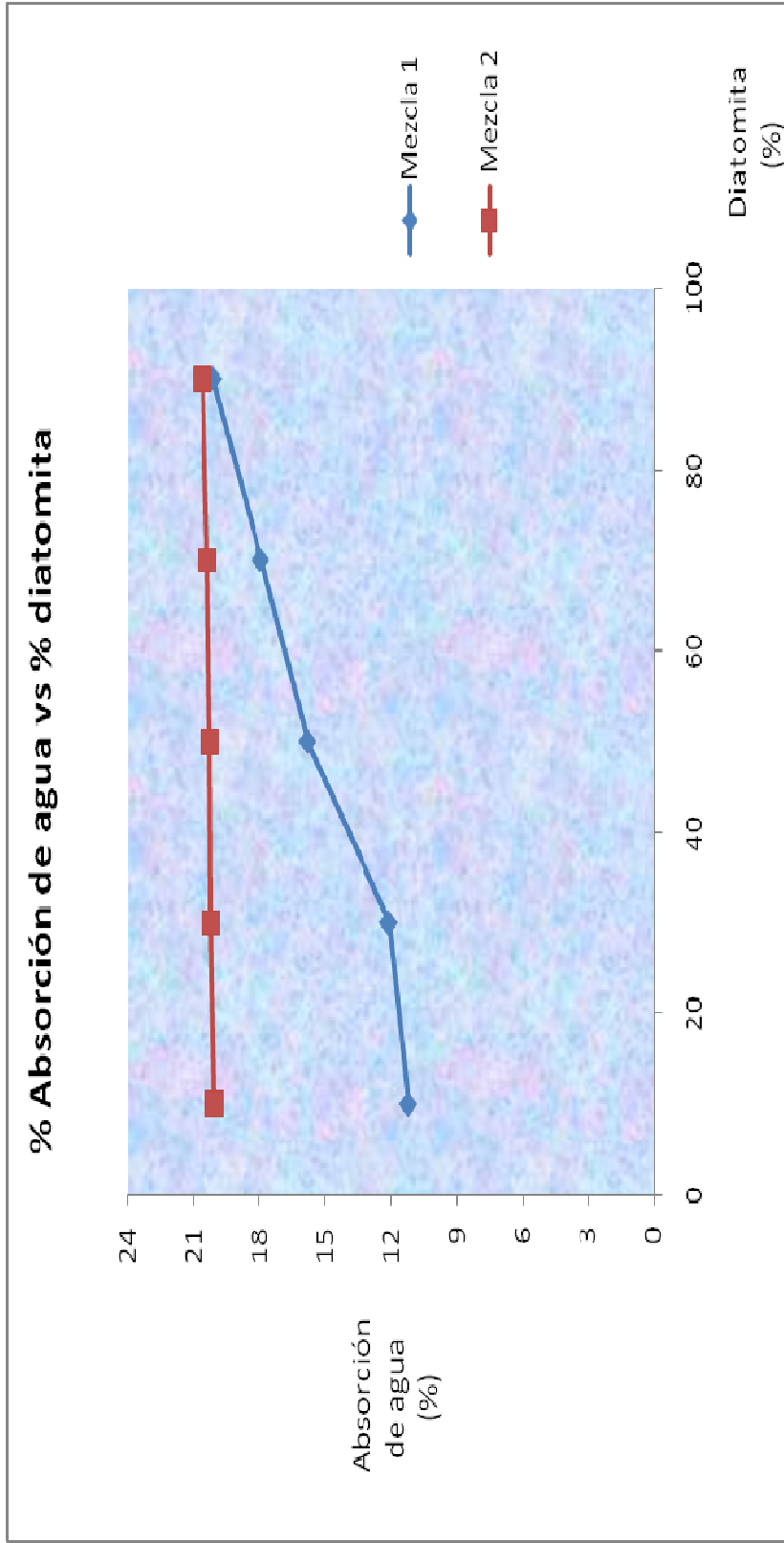


Figura 3.5. Valores de absorción de agua vs % diatomita

Tabla III.11.1. Porcentaje de contracción después de la cocción para la mezcla 1

Proporción		Calibre inicial	Calibre final	Contracción (%)	Calibre inicial	Calibre final	Contracción (%)	Promedio
Diatomita (%)	Arcilla verde (%)							
10	90	100,53	97,1	3,41	100,51	96,90	3,59	3,50
30	70	100,54	96,1	4,42	100,53	96,70	3,81	4,11
50	50	100,58	95,68	4,87	100,60	95,88	4,69	4,78
70	30	100,67	95,17	5,46	100,75	95,42	5,29	5,38
90	10	100,81	94,13	6,63	100,73	94,27	6,41	6,52

Tabla III.11.2. Porcentaje de contracción después de la cocción para la mezcla 2.

Proporción		Calibre inicial	Calibre final	Contracción (%)	Calibre inicial	Calibre final	Contracción (%)	Promedio
Diatomita (%)	Arcilla verde (%)							
10	90	100,55	99,13	1,41	100,54	96,90	3,59	1,37
30	70	100,55	99,06	1,48	100,58	96,70	3,81	1,44
50	50	100,61	98,00	2,59	100,61	95,88	4,69	2,54
70	30	100,71	95,59	5,08	100,75	95,42	5,29	5,19
90	10	100,81	94,13	6,63	100,73	94,27	6,41	6,52

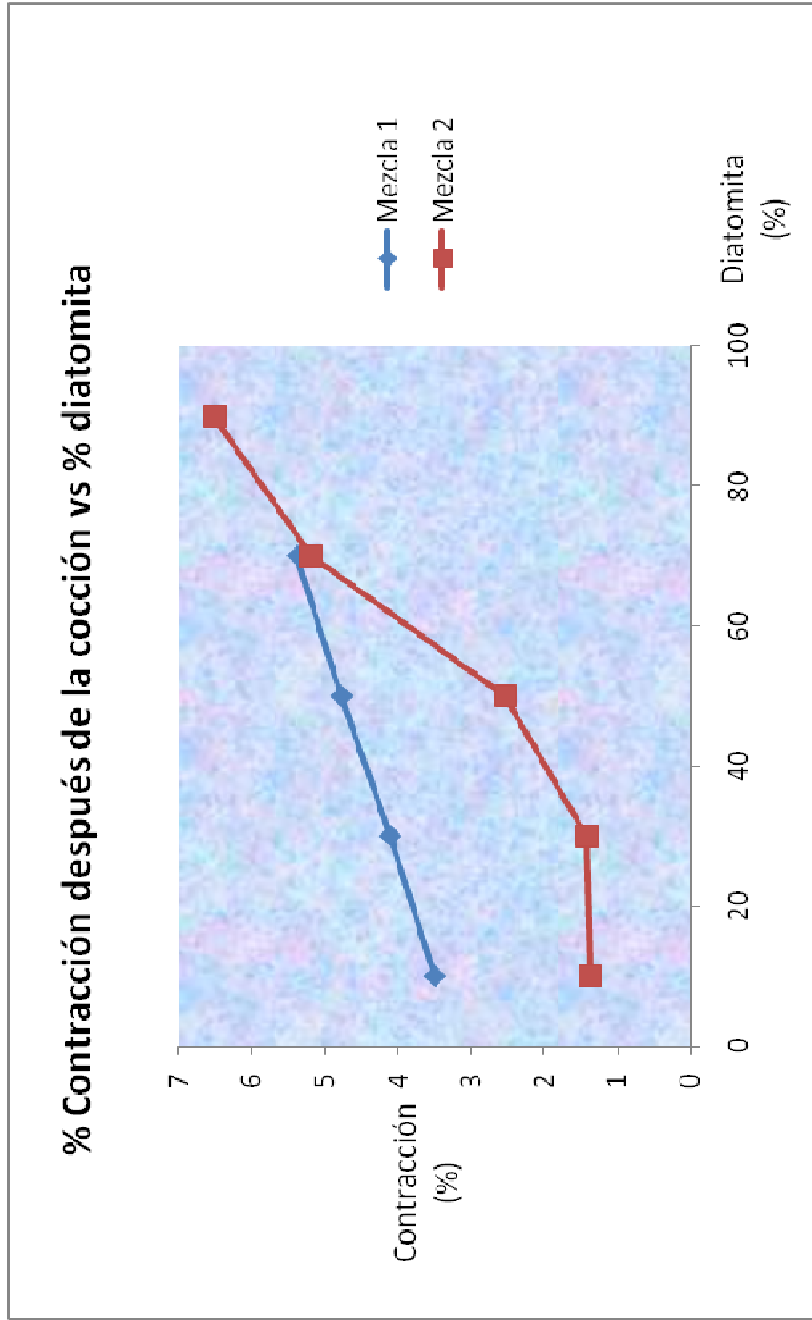


Figura 3.6. Contracción vs % diatomita.

Tabla III.13. Medida del gradiente de temperatura para la mezcla 2

Proporción		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Promedio	$\Delta T^{\circ}C$
Diatomita (%)	Marquesita (%)						
10	90	263	284	290	300	284.25	115.75
30	30	280	288	298	300	291.5	108.5
50	50	278	295	297	305	293.75	106.25
70	30	310	314	318	324	316.5	83.5
90	10	320	325	328	334	326.75	73.25

Conclusiones y recomendaciones

Según la norma **IRAM 12530** se consideran ladrillos aislantes aquellos que poseen como mínimo un 45% de porosidad total. Los ladrillos fabricados con la diatomita del yacimiento “Cerro de la Luna” poseen valores superiores al antes mencionado.

Como se observó en los resultados presentados en el Capítulo II, las propiedades térmicas de ladrillos cerámicos mejoraron notablemente al aumentar los porcentajes de diatomita. Con tan sólo un 40% de este material, la conductividad térmica disminuye en más del 50% pasando de 0,93 a 0,33 W/m·K. Sin embargo, las propiedades mecánicas disminuyen notablemente como consecuencia del incremento de porosidad.

También se observa que el grado de maduración de la pasta, que se ve reflejado en la densidad real, aumenta al disminuir el porcentaje de diatomita, lo cual pudo deberse al contenido de óxidos de hierro y/o álcalis de la arcilla que actúan como fundentes, permitiendo un mayor grado de vitrificación. Esto ocasiona que a medida que aumenta el porcentaje de arcilla, la porosidad es menor y por lo tanto, mayor la resistencia mecánica.

La etapa de cocción no se realizó de manera adecuada debido a la falta de información para elaborar un programa de cocción óptimo. Este hecho también ocasionó que los ladrillos no tuviesen mejores propiedades. Al aumentar la temperatura de cocción para el caso del ladrillo con 100% de diatomita, la resistencia mecánica mejoró en 38,5% siendo el valor de resistencia obtenido de $3,86 \text{ MN/m}^2$, pudiéndose modificar los distintos programas de cocción empleados para obtener los resultados requeridos.

La porosidad de los diferentes tipos de ladrillos no supera el 60% y es mucho menor que la que poseen los ladrillos comerciales. Las operaciones de tamizado y molienda son importantes dado que de éstas dependen propiedades como: porosidad, capacidad aislante. Como se mencionó en el punto 2.4, el tamaño promedio de partícula con el que se trabajó fue 1,7 mm, el cual es bastante pequeño en comparación con el usado para fabricar ladrillos aislantes. Esto pudo ocasionar que el ladrillo no tuviese una porosidad adecuada. Para estudios futuros se recomienda ensayar el uso de otros materiales orgánicos y otros aglomerantes distintos al agua, a fin de conseguir incrementar la porosidad sin que disminuya sustancialmente la resistencia.

Los resultados obtenidos son satisfactorios considerando que la materia prima no fue sometida a ningún proceso extra, previo a su utilización, a excepción de la molienda, trituración y tamizado. La comparación permite definir que el ladrillo con 100% de diatomita posee propiedades similares a los de ladrillos comerciales, siendo éste el mejor. Sin embargo, otro ladrillo, el que posee 40% de diatomita posee características buenas como resistencia mecánica adecuada y bajo coeficiente de conductividad térmica.

Los resultados obtenidos así como la abundancia del material en la provincia de San Juan son suficientes para justificar un estudio más profundo y científico de la utilización de la diatomita para fabricar materiales aislantes que permitan diversas aplicaciones.

Sugerimos realizar estudios más profundos de la materia prima como análisis mineralógico que nos permita conocer qué especies se encuentran presentes en la diatomita y arcilla y en qué proporciones. Con esta información se podría determinar qué especies podrían perjudicar la obtención de buenos productos, pudiéndose así definir un tratamiento previo adecuado para mejorar la calidad de la materia prima y por ende del producto final.

El tiempo de secado de los ladrillos es una variable muy importante del proceso de producción de ladrillos cerámicos de diatomita, dado que si esta etapa se realiza muy rápido, de manera inadecuada, puede ocasionar grietas en los ladrillos. Si el secado no se lleva a cabo de manera uniforme puede ocasionar estallidos al momento de la cocción. La atmósfera y temperatura de los secadores también es de gran importancia para obtener las características deseadas en el producto final.

Se deben producir ladrillos no sólo mediante moldeo manual sino mediante prensado experimentando con diferentes variables de producción como: proporciones de agua, presión de compactación, etc. Luego podrían compararse los valores obtenidos con los de los ladrillos artesanales y decidir por el proceso más adecuado de fabricación.

La molienda debe realizarse de manera adecuada de tal forma que se obtengan materiales con una distribución de partícula adecuada y de mayor tamaño, que permitan obtener un material de mayor porosidad.

De acuerdo a la aplicación que se les dará a los ladrillos deben realizarse ensayos más profundos como: choque térmico, resistencia en caliente bajo carga, refractariedad para poder observar la resistencia de los ladrillos a diversas temperaturas.

También constituye un atractivo la utilización de la diatomita para la fabricación de ladrillos arena-cemento, lo cual sería muy beneficioso ya que se ahorraría energía al eliminar la etapa de cocción.

Con respecto al Capítulo III podemos decir que por ser la diatomita un mineral de elevada superficie específica, porosidad y capacidad de absorción se espera que mejore las propiedades aislantes y térmicas de las arcillas cerámicas.

Los revestimientos cerámicos aislantes se utilizan para aplicaciones en hornos cerámicos, chimeneas, en la parte exterior de los mismos. Actualmente se fabrican revestimientos cerámicos para pisos, a base de caolines o arcillas, que permiten un ahorro significativo en energía eléctrica (calefacción). Se considera que las pérdidas de calor en un edificio están comprendidas entre 15-20%.

Como se observa en la Tabla III.2, la arcilla verde, la cual forma parte de la mezcla 2, tiene un contenido alto de óxidos fundentes. Esto ocasionó que las probetas realizadas con esta mezcla alcanzaran una mayor maduración. Si observamos el cuadro comparativo 3.5, las probetas presentan menor absorción que para el caso de la mezcla 2.

Al poseer las probetas de la mezcla 2 una menor capacidad de absorción, es lógico que presenten valores de resistencia mecánica mayores a los de las probetas realizadas con la mezcla 1. Presentan además una mayor contracción después de la cocción, como se observa en la Figura 3.6.

Para el caso de la mezcla 2, si observamos nuevamente la Tabla III.2, podemos ver que la arcilla marquesita presenta contenidos bajos de óxidos fundentes y un elevado contenido de sílice, por lo que sería de esperar buenos resultados en las propiedades físicas y térmicas de las probetas. Sin embargo, estas probetas fueron sometidas a un programa similar de cocción al de las probetas realizadas con la mezcla 1, sin lograr alcanzar una maduración adecuada.

Con ayuda del análisis mineralógico, térmico diferencial y térmico gravimétrico se podría definir un programa de cocción adecuado para las probetas realizadas, pudiéndose optimizar los resultados. Estos análisis nos brindarían información sobre las reacciones presentes ante el cambio de temperatura, cambios de fases, cambios en el peso, información que además permitirá reafirmar las conclusiones y los resultados obtenidos.

Como se observa en la Tabla III.10 y Figura 3.5, los valores de absorción aumentan ligeramente y se mantienen en valores comprendidos entre 20 y 20,6. Con respecto a la

contracción después de la cochura, en la figura 3.6 se puede observar que presenta valores menores a los de la mezcla 1, en porcentajes de diatomita comprendidos entre 10 y 70%.

Los resultados de los ensayos físicos varían según las diferentes proporciones de diatomita. Sin embargo, se ha observado la tendencia a presentar valores muy similares para el caso de proporciones 70 y 90 de diatomita, para ambas mezclas. Así vemos que para la resistencia a la flexión después de la cochura, absorción de agua, contracción después de la cochura, los valores obtenidos en estos ensayos son muy aproximados para ambas mezclas.

Este fenómeno requerirá un mayor estudio pues podría tratarse de un fenómeno casuístico si consideramos además que la mezcla 2 no fue sometida a un adecuado programa de cocción. No podríamos afirmar con certeza que a porcentajes de diatomita mayores al 70%, ambas mezclas tienen el mismo comportamiento físico.

Con respecto a las propiedades térmicas, el ensayo realizado fue muy empírico sin considerar las pérdidas de calor por convección y radiación, ya que no se contó con un equipo que asegurara la transmisión del calor sólo por conducción. Sin embargo, nos da una idea del gradiente de temperatura de las diferentes placas. Para aquellas realizadas con la mezcla 1, no se notó diferencia significativa entre las diferentes proporciones de diatomita, al someterlas a calentamiento todos alcanzan un gradiente de temperatura similar, 20-40° C.

Este relativamente bajo gradiente de temperatura es consecuencia de la baja porosidad de las placas y de la ausencia de contaminante como óxidos fundentes. Debe considerarse también el tamaño de grano de la diatomita, que influye en la porosidad final.

Para las pruebas de intercambio de calor realizadas con la mezcla 2 se observa que el gradiente de temperatura empieza a disminuir a partir de proporciones mayores al 70%. La placa con porcentaje 90% presenta el menor valor. Al tener los resultados de las distintas propiedades podemos decir que las probetas de la mezcla 2 con porcentaje de 79% de diatomita es la que presenta mejores características. En la tabla IV.I se presenta un resumen de sus propiedades principales.

Tabla IV.1. Principales propiedades de la probeta con 70% de diatomita

PROPIEDADES	VALORES
Resistencia mecánica a la flexión (kg/m ²)	89,94 kg/m ²
Absorción de agua (%)	20,39
Gradiente de temperatura (°C)	83,5

Bibliografía

1. Anter Corporation. “Principal Methods of Thermal Conductivity Measurements”. [en línea]. [<http://www.anter.com/index.htm>]. [Consulta: 17/abril/2004].
2. Callister, Willians Jr. (1995). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Barcelona: Reverté, Tomo II, 800 p.
3. Bender, J.; Hellerstein J. (2001). “Vidrio, cerámicas y materiales afines” en Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Oficina internacional del trabajo (OIT). [en línea]. [<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/tomo3.htm#p13>] [Consulta: 12/abril/2004].
4. Cabrera La Rosa, Augusto. Minerales no Metálicos. I. Bentonitas. II. Diatomitas. MINISTERIO DE FOMENTO Y OBRAS PUBLICAS. Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros SERIE MEMORANDUM N° 7 Lima- Perú 1963.
5. ERECOs. “Ladrillos refractarios”. [en línea]. [<http://www.erecos.com/aislantes.htm>] [Consulta: 17/abril/2004].
6. García R., Emilia, Suárez B., Mercedes. “Las arcillas: propiedades y usos”. [en línea]. 2002. [<http://www3.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>] [Consulta: 07/abril/2004].
7. Harries-Rees, Karen (1994). Diatomita: Estabilidad bajo amenaza. Boletín de Industrial Minerals Informations, Reino Unido.
8. Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero. Cabrera la Rosa, Augusto. “La Baritina en el Perú”. [en línea]. 1972. [http://www.ingemmet.gob.pe/biblioteca_virtual/inifm/la%20baritina%20en%20el%20peru.pdf] [Consulta: 19/mayo/2004]
9. Perry, John H, Chilton, Cecil H. (2001). Manual del Ingeniero Químico. 5ta edición. Bogotá: McGraw-Hill. Vol. I y II.
10. Prompostavka. “Production Foam-diatomite insulating brick”. [en línea]. [<http://www.prompostavka.dp.ua/en/production/brick-and-crumb/brick/>]. [Consulta: 19/mayo/2004].
11. RICSAGLASS. “Ladrillos” [en línea]. [<http://www.rirsaglass.com.mx/ladrillo.htm>] [Consulta: 21/abril/2004].

12. Rosario Mineral. "Características de las Diatomeas". [en línea]. [<http://www.rosario-minerales.com.ar/>] [Consulta: 15/marzo/2004]
13. Reade Advanced Materials Supersite. "Diatomaceous Earth (DE)" [en línea]. [http://www.reade.com/Products/Minerals_and_Ores/diatomaceous_earth.html]. [Consulta: 12/mayo/2004].
14. Simon, Wilko (2003). Informe de impacto ambiental del proyecto yacimiento cerro de la Luna, departamento de Iglesia, San Juan.
15. Singer, F.; Singer, S.S. (1972). Enciclopedia Industrial. España: Urmo.
16. Stanley J. Leforrd (1983). Industrial Minerals and Rocks. New York, USA: Board. Vol. 1.
17. Talledo Benites, José C. "Elaboración de elementos aislantes a partir de las diatomitas del Desierto de Sechura". Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial. Universidad de Piura. Perú. 1988.
18. Universidad Alfonso X El Sabio. Revista Tecnología y Desarrollo. Storch de Gracia y Asensio, José M.; García M, Martín. "Introducción a la Edafología: origen, evolución, especies minerales, clasificación y reconocimiento de suelos". [en línea] . 2004. [http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN04_003.pdf] [Consulta: 12/abril/2004].
19. Universidad de Houston. Departamento de Ingeniería Ambiental y Civil. Sujun P. Kulkani, Vipulanandan, C. "Thermal conductivity of insulators".
20. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. "Algas con células flageladas de condición heteroconta" [en línea] [<http://www.botanica.ciens.ula.ve/Docencia/Pregrado/Biolog%EDa%20Vegetal/Laboratorio/Material%20docente/practica08.pdf>] [Consulta: 09/junio/2004].
21. Universidad Nacional de San Juan. Instituto de Ingeniería Química, Departamento de Física, Facultad de Ingeniería. Silva, H. S.; Romero, J. W.; Venturini, R. B.; González, J. E. "Heat transfer studies in natural carbonates from San Juan" (Argentina). Junio 2000, 169-178 pp.
22. Universidad de Oviedo. Instituto de materiales, minerales y minería. González, O. J.; Blanco, F.; García, M. P.; Ayala, J. "Manufacture of refractory insulating bricks using fly ash and clay".
23. Universidad de Valencia. Departamento de Termodinámica de la Facultad de Física. Hernández L, María Jesús. Apuntes de clase "Conducción del calor" [en línea]. [[http://www.uv.es/~mj/docencia/Apuntes%20TE%20\(T4\)-val.pdf](http://www.uv.es/~mj/docencia/Apuntes%20TE%20(T4)-val.pdf)]. [Consulta: 29/mayo/2004].
24. Universidad Nacional del Nordeste. Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería. Aeberhard, R., Aeberhard, A., Natalini, M., Corace, J., Martina, P., Ventin, A. "Determinación del coeficiente de conductibilidad térmica

de la madera de Algarrobo (*prosopis*)". [en línea]. 2003. [http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/07-Tecnologicas/T-031.pdf] [Consulta: 23/junio/2004]

25. Verdeja G., Luis F.; Sancho M., José; Barranzuela Q., José L. (1990). Características fisicoquímicas de las diatomitas de Bayóvar: Perú. Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.
26. Viera Sernaqué, Jorge B. "Uso de las diatomitas del desierto de Sechura en la producción de materiales aislantes y aislante/refractarios". Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial. Universidad de Piura. Perú. 1987.
27. Villarreal Jiménez, Luis Alberto (2004). Tesis: Uso de lodo de papel y arena silica para la fabricación de ladrillos y tabla roca. Universidad de las Américas: Puebla, México.
28. Zuletta, Mario (1993). Diatomitas de San Juan para uso en filtración