

DISEÑO DE MATERIALES DE RESISTIVIDAD TERMICA MEDIA PARA CONSTRUCCIÓN DE OBRADORES EN LA CIUDAD DE DURANGO.

José Antonio ESPARZA ROCHA, Laura Silvia González Valdés
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional,
CIIDIR-IPN Unidad Durango, Calle Sigma s/n Fraccionamiento 20 de Noviembre II,
Durango, Dgo. México, Código Postal 34220, Correo electrónico:

esparoc11@hotmail.com.

Palabras clave: Medio ambiente. Contaminación ambiental. Impacto ambiental.

Keywords: Environment, environmental pollution, environmental impact.

RESUMEN.

La creciente producción de ladrillo de construcción en la ciudad de Durango, impulsó el desarrollo de microempresas dedicadas a la producción de estos materiales. Los métodos tradicionales de producción, que utilizan combustibles sólidos, conjuntamente con la instalación desordenada de estas micro-factorías, ha generado un grave problema de contaminación ambiental. Se demostró que los barros que se utilizan exceden los 1250 °C en sus puntos de fusión, y sus temperaturas de cocción son superiores a los 1200 °C. Esta temperatura difícilmente se alcanza en los hornos que se utilizan en la localidad, conformados con ladrillo de construcción. La propuesta de solución se enfocó al ahorro de energéticos mediante el mejoramiento del proceso de producción. Se diseñaron cuerpos cerámicos semí-refractarios para la fabricación de ladrillo de alta resistividad pirométrica de bajo costo, destinados a ser los elementos refractarios estructurales de las bóvedas de las cámaras de combustión y las paredes de los obradores. Se aplicó método determinista de diseño de cerámicas. Como resultados se obtuvieron 4 tipos de ladrillos semí-refractarios de la clasificación K-26 (1426 °C) y una resistencia al aplastamiento a la temperatura de servicio de 1.76 Kg./cm² 4.48 veces mayor que la carga de trabajo, permitiendo la disposición del diseño de material de calidad y bajo costo para la construcción de obradores en la ciudad de Durango.

INTRODUCCIÓN.

En años recientes, la sustentabilidad, se ha incluido como una categoría relevante en el marco de las políticas del desarrollo social y económico. Así el crecimiento industrial deberá acondicionarse, de tal manera que los impactos ambientales se vean reducidos hasta cumplir con la normatividad establecida por las instancias oficiales correspondientes. La fabricación de ladrillo de construcción es una de las industrias que más a crecido en la ciudad de Durango, sin embargo carece de vertientes derivadas del desarrollo científico y tecnológico que permitan su modernización. Lo anterior ha motivado que en el lapso de la última década, se le detectara como una de las principales fuentes contaminantes a nivel local, se tomaron medidas tendientes a la remediación del problema que desencadenaron en la propuesta de su reubicación y concentración. En el ámbito gubernamental se generó en el año del 2003 el **Programa de Reconversión y Reubicación de la Industria Ladrillera en la Ciudad de Durango** en el que se establecen criterios ecológicos y de ordenamiento territorial, además de establecer las políticas para

llevar a cabo la modernización de la industria a través de la realización de actividades de investigación y desarrollo tecnológico. La investigación actual se ha enfocado al control de emisiones mediante el uso de quemadores y energéticos adecuados. El programa contempla como uno de sus objetivos; Elevar la calidad de producción de ladrillos de construcción con estándares de calidad internacional y como uno de sus puntos estratégicos el fomentar la investigación e impulsar la generación de información en materia de uso de tecnologías apropiadas en la producción de ladrillo, así como establecer los programas de capacitación de los beneficiarios. Para ello deberán desarrollarse alternativas tecnológicas y la generación de información científica básica y aplicada que permitan satisfacer las necesidades del mejoramiento y optimización de los procesos productivos aplicados. El producto presenta deficiencias de cocción -en la mayoría de los casos- con las consecuentes deficiencias en sus propiedades mecánicas, lo cual aunado a la problemática de emisión de humos constituyen dos de los problemas que requieren de propuestas de solución de aplicación inmediata.

Se decidió realizar 2 trabajos de investigación enfocados al ahorro de energéticos mediante el mejoramiento del proceso de producción, el que aquí se presenta, consiste en el diseño de ladrillos semí-refractarios de bajo costo de producción de aplicación fundamental en la construcción de las bóvedas de las cámaras de combustión y las paredes de los obradores. Los hornos utilizados en la localidad están contruidos con ladrillo de construcción, no es factible atender el mejoramiento del diseño los cocedores de tipo artesanal, si antes no se dispone de los materiales adecuados para su forjado estructural. De hecho, no se localizaron antecedentes sobre la fabricación de ladrillo semí-refractario en el ámbito nacional con las características adecuadas para la fabricación de hornos tradicionales, por lo que se considera, que este trabajo de investigación aporta los recursos metodológicos para el diseño de materiales de este tipo. La construcción de obradores y hornos artesanales aplicando materiales semí refractarios de la clasificación K-26 (1426 °C) con una resistencia al aplastamiento a la temperatura de servicio de 1.76 Kg./cm² considerada por lo menos tres veces mayor que la carga de trabajo, permite alcanzar los niveles de eficiencia necesarios en la cocción de ladrillo de construcción con el consecuente ahorro de energéticos, lo anterior permite reducir impactos ambientales, tanto en materia de contaminación del aire como en el ámbito de la deforestación. Se considera, por tanto que de manera conjunta con el desarrollo de barros de baja temperatura se han conseguido los resultados esperados.

MATERIALES Y MÉTODOS.

1. Recopilación de información bibliográfica y cartográfica.
2. Ubicación de yacimientos de minerales y arcillas semí-refractarias, principalmente en la región centro del territorio estatal. (Métodos: Prospección, localización, exploración y muestreo alterado a cielo abierto).
3. Clasificación de materiales.

- Clasificación geológica.
- Clasificación visual-manual (Norma American Society for Testing of Materials ASTM D 2488-90).
- Método mineralógico megascópico.

4. Cuantificación preliminar de los yacimientos clasificados (Método: Cartografía fotogramétrica y parámetros geológicos).

5. Análisis químicos (Espectrofotometría de Absorción atómica y métodos gravimétricos).

6. Caracterización física.

- Densidad.
- Granulometría (Tamizado y Método del Hidrómetro).
- Límites de consistencia (Método Casagrande) (ASTM D 1140 - 92).
- Contracción lineal por secado.
- Determinación de puntos de fusión por el método: Pyrometric Cone Equivalente (PCE)
- Determinación de Puntos de Reblandecimiento (PCE).
- porosidad.

7. Aplicación del Diseño experimental: “Ensayo de composiciones de materiales refractarios y semí-refractarios procedentes de yacimientos del estado de Durango, en combinaciones de 2 componentes: 50 % / 50 % y un solo componente: 100 %”. Con una distribución granulométrica constante de 70.0 % de gruesos: abajo del tamiz 10 (2.00 mm) hasta el retenido en el tamiz 40 (0.425 mm) y 30.0 % de finos: abajo del tamiz 100.0 (0.150 mm) y puntos de fusión igual o superiores a los 1 400.0 °C.

8. Selección de composiciones semí-refractarias basándose en las propiedades térmicas determinadas mediante la aplicación del Diseño experimental.

- Puntos de fusión (PCE).
- Puntos de Reblandecimiento (PCE).
- Intervalo de Termofluencia.

9. Diseño físico-químico de las propiedades físicas y mecánicas en verde de los cuerpos cerámicos semí-refractarios seleccionados. (Método Determinista).

- Distribución granulométrica de diseño.
- Humedad de conformación.
- Presión de conformación.
- Contracción lineal.
- Contracción en peso. (Norma ASTM C 133-97)

- Resistencia a la compresión en verde.

10. Determinación de los parámetros físicos de Diseño de las composiciones de ladrillo semí-refractario en Cocción.

- Determinación de la curva de cocción óptima. (Método determinista y PCE)
- Contracción lineal de secado + cocción.
- Contracción en peso de secado + cocción.
- Porcentaje de absorción total.
- Coeficiente de saturación. (Norma ASTM C 67-97)
- Resistencia a la compresión en cocción.

11. Diseño de las propiedades Termo-mecánicas en el intervalo de temperaturas de servicio de las composiciones semí-refractarias seleccionadas.

- Ensaye de la resistencia al aplastamiento a una temperatura de servicio de 1 100.0 °C (ASTM C16-81 y NMX-O-020-1990).
- Elaboración de propuestas de aplicación en la construcción de hornos ladrilleros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La factibilidad técnico-económica para la fabricación de ladrillo semí-refractario en el estado de Durango, México. Depende de la disposición de materias primas con propiedades refractarias en su territorio, debido a que; la producción de ladrillo destinado a la construcción de obradores debe realizarse al más bajo costo posible, a fin de no encarecer los costos de producción del ladrillo de construcción. El propósito es más bien optimizar el proceso de cocción, de tal manera que lo anterior se refleje; no sólo en una disminución de los costos productivos y un incremento en la calidad del producto, sino también en una disminución del consumo de energéticos, que aunado a la aplicación declusores de aire elimine al máximo la contaminación del aire en la ciudad. Debido a lo anterior, la primera etapa de la investigación consistió en la ubicación de yacimientos de minerales refractarios y arcillas semí-refractarias, principalmente en la región centro del territorio estatal, para ello se realizaron trabajos de: prospección, localización, exploración y muestreo alterado a cielo abierto. Los resultados permitieron determinar cuales son las alternativas, en cuanto al tipo de materias primas refractarias que se pudieran utilizar en las composiciones cerámicas semí-refractarias que se diseñaran. La aplicabilidad de los minerales depende de dos factores; primeramente de su disponibilidad dentro del territorio estatal y por otro lado de que mediante su aplicación fuera posible cumplir con los requerimientos del tipo de ladrillo semí-refractario que se pretendía lograr. Las especificaciones de diseño que se establecieron, consistieron en alcanzar: una resistividad pirométrica de la clasificación K-26 (1426 ° C) y una resistencia mecánica a la temperatura de servicio de 170.00 k Pa. (1.76 Kg./cm²) estos dos parámetros resultan básicos en la caracterización del tipo de ladrillo refractario que se pretende diseñar y fabricar, de aplicación como los elementos refractarios

estructurales que sirvieran para el forjado de las bóvedas de las cámaras de combustión y las paredes de los obradores que se emplean para la fabricación del ladrillo de construcción en la ciudad de Durango.

Las alternativas respecto a las fuentes de materias primas refractarias disponibles en el territorio estatal, aparecen en la **tabla I** representadas por 15 yacimientos de minerales refractarios y semí-refractarios. Clasificados como: 4 yacimientos de arcillas semí-refractarias, 3 yacimientos de arcillas de alta alumina, 2 depósitos de arcillas con contenidos elevados de sílice y 2 de sílice. Estos 11 yacimientos constituyen las fuentes alternativas de materia prima para la fabricación de ladrillo semí-refractario del tipo ácido, mientras que las fuentes alternativas para el ladrillo básico, se integran por las 4 últimas.

Selección de las materias primas componentes de los cuerpos semí-refractarios para la fabricación de ladrillo.

Del conjunto de 15 yacimientos de minerales refractarios y semí-refractarios procedentes del estado de Durango, se seleccionaron los que mejor se adaptan a las propiedades físico-químicas requeridas por el tipo de ladrillo que se desea fabricar, además se realizaron consideraciones económicas, ya que el material tendrá que producirse a bajo costo. La referencia es que los ladrillos refractarios son de costo elevado, el cual aumenta a medida que se incrementa su especialización. Para delimitar el grupo de componentes refractarios, se revisaron los parámetros de diseño de los materiales que se pretende obtener: resistividad pirométrica de la clasificación K-26 (1426 °C) y resistencia mecánica a la temperatura de servicio de 170.00 k Pa. Incluyendo dentro de la matriz de diseño las temperaturas de reblandecimiento, los intervalos de termofluencia y el grado de acidez. Determinando que; los ladrillos semí-refractarios que se diseñen deberán ser de naturaleza preferentemente ácida, pueden utilizarse también materiales químicamente neutros e incluso refractarios básicos, aunque este tipo de refractarios son de mayor costo de producción. Los materiales refractarios básicos enlistados con los números del 13 al 15 debieron de descartarse, a excepción de la dolomita, dado que de este material refractario se dispone de volúmenes estimados en varios millones de metros cúbicos sobre todo en la Sierra Madre Oriental correspondiente al estado de Durango. Las alternativas se vieron reducidas a: Arcillas semí-refractarias, arcillas de alta alumina, arcillas con alto contenido de sílice y minerales de sílice (**Tabla II**).

Composición, formulación y diseño de composiciones refractarias y semí-refractarias aplicando como fuentes el grupo básico de materiales refractarios procedentes del estado de Durango.

Se aplicó un diseño experimental en el que se combinaron 50.0 % de cada uno de los materiales con el resto de ellos en el mismo porcentaje y cada uno de los materiales por sí solos. Generando 13 cuerpos cerámicos semí-refractarios con una resistividad pirométrica suficientemente aproximada a la clasificación K-26 (1426 °C), ver columna 4 de la **tabla III**. Las composiciones 13 y 15 se eliminaron. Se midieron otros dos parámetros térmicos: Punto de reblandecimiento e Intervalo de termofluencia, este último permitió realizar una nueva selección entre ellos.

Selección de cuerpos semí-refractarios para la fabricación de ladrillo a partir de la determinación de las temperaturas de reblandecimiento e intervalos de termofluencia.

Los resultados del ensaye de las temperaturas de reblandecimiento y los intervalos de termofluencia de las 13 composiciones semí-refractarias, permitieron la selección de los 5 cuerpos cerámicos que con los menores intervalos de termofluencia, que resultan ser los compuestos por: Dos arcillas semí-refractarias (7), una arcilla semí-refractaria en combinación con un refractario (9 y 12), una arcilla semí-refractaria por sí sola (10) y la combinación de dos minerales refractarios (13).

Una vez obtenidas estas 5 composiciones se realizaron una serie de consideraciones de carácter técnico-económico a fin de determinar cuales de ellas son las de mayor factibilidad productiva. Quedando la lista de composiciones cerámicas semí-refractarias como se presenta en la **tabla IV**.

Conformación y diseño físico-químico de las propiedades físicas y mecánicas en verde y en cocción de los cuerpos cerámicos semí-refractarios seleccionados.

El diseño de las cuatro composiciones semí-refractarias realizado a través de la determinación de sus propiedades térmicas: Punto de fusión, temperatura de reblandecimiento e intervalo de termofluencia permitió disponer de los materiales que cumplieran con las especificaciones de diseño que se preestablecieron respecto a las propiedades térmicas de los materiales, aun restaba ensayar sus propiedades físicas y mecánicas en estados verde y frío, además de sus propiedades termo-mecánicas en el intervalo de temperaturas de servicio. Se conformaron especímenes por el método de compresión semí-húmeda (Contenidos de humedad: 15.0 % al 30.0 % en peso) en forma de cubos de 51mm por lado, se les aplicó una compresión de 100 Kg. /cm² dentro de un molde metálico de esas dimensiones, para diseñar los parámetros de conformación, con los resultados que se exponen en la **tabla V**.

Se consideró conveniente quemar a la misma temperatura los cuatro tipos de ladrillo, proponiendo una temperatura de cocción de 1 200.0 °C debido a que a está temperatura prácticamente en todos los casos se logra desarrollar la mayor cantidad de liga cerámica posible. Lo anterior se verificó mediante la medición del desarrollo de resistencia a la compresión en frío, y el porcentaje de porosidad. La cocción se llevo a cabo dentro de una mufla de alta temperatura aplicando una curva de cocción consistente en el incremento de 50.0 °C cada 15.0 minutos hasta alcanzar los 1 200.0 °C previstos. Se midieron sus contracciones totales lineal y en peso debidas a la cocción, y se determinaron los parámetros de absorción de agua y coeficiente de saturación procediéndose de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 67-97 los resultados así obtenidos se presentan en la **tabla VI**.

Al inicio del diseño de los materiales semí-refractarios, se mencionó que; conseguir la refractariedad requerida, no presentaba el mismo grado de dificultad que alcanzar la resistencia mecánica a la temperatura de servicio (1 100.0 °C) debido a que; Si se determinan los componentes refractarios de la mezcla con resistencias pirométricas superiores a la requerida de 1 426 °C la probabilidad de lograr este nivel de refractariedad es considerable, a pesar de que pudieran

presentarse reacciones eutécticas, no es así en el caso de la resistencia mecánica de servicio, ya que los materiales refractarios deberán cumplir con el segundo requerimiento consistente en alcanzar una resistencia mecánica de 1.76 Kg./cm^2 a una temperatura de servicio de $1\ 100.0\ ^\circ\text{C}$.

Diseño de las propiedades Termo-mecánicas en el intervalo de temperaturas de servicio de las composiciones semí-refractarias seleccionadas.

El ensaye de la resistencia al aplastamiento a una temperatura de servicio de $1\ 100.0\ ^\circ\text{C}$ se realizó acorde a lo establecido en las normas: ASTM C16-81 y NMX-O-020-1990. Obteniéndose como resultado el que los cuatro especímenes conformados con las composiciones permanecieron sin deformación durante una hora y media a una temperatura de servicio de $1\ 100.0\ ^\circ\text{C}$ y sometidos a una presión continua de 1.76 Kg./cm^2 . Esta carga de diseño es 4.48 veces mayor que la carga de trabajo, lo que generó un margen de seguridad altamente confiable dado que los resultados de su ensaye mostraron que dicha resistencia fue alcanzada.

Conclusiones.

Se obtuvieron 4 tipos de ladrillo semí refractario de bajo costo y alto nivel de eficiencia para el forjado de los obradores que se utilizan en la fabricación de ladrillo de construcción en la ciudad de Durango.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Gobierno del Estado de Durango. H. Ayuntamiento del Municipio de Durango. (2003) *Programa de Reconversión y Reubicación de la Industria Ladrillera de la ciudad de Durango*. México., Documento en CD. 73 p.p.

HORNBOSTEL C (2000). *Materiales para Construcción (tipos, usos y aplicaciones)*. Ed. LIMUSA. Méx.

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (1976). **Norma Mexicana NMX-C-006-1976 . Ladrillos Bloques Cerámicos de Barro, Arcilla y /o Similares**. México. 11 pp.

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (1976). **Norma Mexicana NMX-C-036 Determinación a la Resistencia a la Compresión de Ladrillos y Bloques para la Construcción**. Méx. 1976.11 pp.

ASTM STANDARDS, DESIGNATION C24-89. **Standard Test Method for Pyrometric Cone Equivalent (PCE) of Fireclay and High Alumina Refractory Materials**". Annual book of ASTM Standards 1990. Vol.15.2 p.p. 8-11.

**TABLA I. LISTADO DE MATERIALES REFRACTARIOS Y SEMÍ-REFRACTARIOS
PROCEDENTES DEL ESTADO DE DURANGO SELECCIONADOS, COMO FUENTES
ALTERNATIVAS EN LA COMPOSICIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE
LADRILLO SEMÍ-REFRACTARIO.**

MATERIAL No.	CLASIFICACIÓN	LOCALIZACIÓN	PUNTO DE FUSIÓN
	Arcillas semí-refractarias		
1	Arcilla Vicente Guerrero	Poblado La Joya Mpio. Vicente Guerrero, Dgo.	1370°C
2	Arcilla La Ferrería	Poblado La Ferrería, Dgo.	1310°C
3	Arcilla Rosa	Empalme Purísima, Dgo.	1350°C
4	Caolín Mazatlán	Carretera Mazatlán	1250°C
	Arcillas de alta alumina		
5	Caolín	San José de Ranchos, Zac.	1700°C
6	Barro Orgánico Negro	22 de Mayo Mpio de Canatlán, Dgo.	1370°C
7	Arcilla blanca fina	Región de Las Ventanas Dgo.	1375°C
	Arcilla con alto contenido de sílice		
8	Arcilla Blanca	Empalme Purísima, Dgo	1400°C
9	Arcilla Talayotes	Poblado 22 de Mayo, Dgo.	1400°C
	Minerales de Sílice		
10	Cuarzo	Mpio. Canatlán, Dgo.	1700°C
11	Arena Sílica	Poblado de Cieneguillas, Dgo.	1340°C
	Minerales básicos		
12	Dolomita	Región de la laguna, Mpio. Lerdo	1400°C
13	Talco	Poblado Fco. Zarco, Dgo	1330°C
14	Arcilla (creta)	Mpio. De Canatlán, Dgo.	1400°C
15	Forsterita	Venustiano Carranza, Canatlán Dgo.	1900°C

Fuente: Elaboración propia con resultados de esta investigación.

**TABLA II. LISTADO DE MATERIALES BÁSICOS PARA LA COMPOSICIÓN DE MEZCLAS
PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO SEMÍ-REFRACTARIO**

NUMERO	MATERIAL	LUGAR DE PROCEDENCIA
1	Arcilla blanca	Empalme Purísima
2	Arcilla de bola	Poblado 22 De Mayo Mpio. De Canatlán.
3	Arcilla talayotes	Poblado 22 De Mayo Mpio. De Canatlán.
4	Dolomita	La región de La Laguna
5	Caolín	Sn. José De Ranchos, Mpio. De Zacatecas

Fuente: Elaboración como resultado de esta investigación.

TABLA III. ENSAYE DE COMPOSICIONES DE MATERIALES REFRACTARIOS Y SEMÍREFRACTARIOS PROCEDENTES DE YACIMIENTOS DEL ESTADO DE DURANGO, EN COMBINACIONES DE 2 COMPONENTES: 50 % / 50 % Y UN SOLO COMPONENTE: 100 %.

Número	Materiales	% de material	Punto de fusión °C	Punto de reblandecimiento	Intervalo de termofluencia
1	ARCILLA BLANCA	100.00	1400	1 200	200
2	ARCILLA BLANCA	50.00	1410	1200	210
	ARCILLA DE BOLA	50.00			
3	ARCILLA BLANCA	50.00	1410	1 200	210
	ARCILLA TALAYOTES	50.00			
4	ARCILLA BLANCA	50.00	1440	1 215	225
	DOLOMITA	50.00			
5	ARCILLA BLANCA	50.00	1460	1 200	260
	CAOLÍN	50.00			
6	ARCILLA DE BOLA	100.00	1440	1 210	190
7	ARCILLA DE BOLA	50.00	1410	1 350	70
	ARCILLA TALAYOTES	50.00			
8	ARCILLA DE BOLA	50.00	1420	1 215	225
	DOLOMITA	50.00			
9	ARCILLA DE BOLA	50.00	1460	1 450	10
	CAOLÍN SAN JOSE DE RANCHOS	50.00			
10	ARCILLA TALAYOTES	100.00	1400	1 350	50
11	ARCILLA TALAYOTES	50.00	1400	1 200	200
	DOLOMITA	50.00			
12	ARCILLA TALAYOTES	50.00	1400	1 300	100
	CAOLIN SAN JOSE DE RANCHOS	50.00			
13	DOLOMITA	100.00	1370	1 210	160
14	DOLOMITA	50.00	1400	1 275	125
	CAOLÍN SAN JOSE DE RANCHOS	50.00			
15	CAOLIN SAN JOSE DE RANCHOS	100.00	1710	+ 1500	+ 1500

Fuente: Elaboración como resultado de esta investigación.

TABLA IV. COMPOSICIONES SEMÍ-REFRACTARIAS SELECCIONADAS BASÁNDOSE EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL*

Material Número	Composiciones	% de material	Punto de Fusión °C	Punto de reblandecimiento °C	Intervalo de termofluencia °C
6	ARCILLA DE BOLA	100.00	1 400	1 210	190
7	ARCILLA DE BOLA	50.00	1 420	1 350	70
	ARCILLA TALAYOTES	50.00			
9	ARCILLA DE BOLA	50.00	1 460	1 450	10
	CAOLÍN SAN JOSE DE RANCHOS	50.00			
10	ARCILLA TALAYOTES	100.00	1 400	1 350	50

* ENSAYE DE COMPOSICIONES DE MATERIALES REFRACTARIOS Y SEMÍREFRACTARIOS PROCEDENTES DE YACIMIENTOS DEL ESTADO DE DURANGO, EN COMBINACIONES DE 2 COMPONENTES: 50 % / 50 % Y UN SOLO COMPONENTE: 100 %.

TABLA V. COMPOSICIÓN, DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y PRESIÓN DE CONFORMACIÓN DE LAS 4 COMPOSICIONES DE LADRILLO SEMÍ-REFRACTARIO QUE SE DISEÑARON.

Composición Número	Componentes en %	Granulometría	Contenido de humedad en %	Presión de Conformación en Kg./ cm ²
6	ARCILLA DE BOLA 100.00 %	70.0 % gruesos (Abajo del tamiz 10 hasta retenido en el tamiz 40) y 30.0 % finos (Abajo del tamiz 100)	18.0	100.00
7	ARCILLA DE BOLA 50.00 %	70.0 % gruesos (Abajo del tamiz 10 hasta retenido en el tamiz 40) y 30.0 % finos (Abajo del tamiz 100)	15.0	100.00
	ARCILLA TALAYOTES 50.00 %	70.0 % gruesos (Abajo del tamiz 10 hasta retenido en el tamiz 40) y 30.0 % finos (Abajo del tamiz 100)		
9	ARCILLA DE BOLA 50.00 %	70.0 % gruesos (Abajo del tamiz 10 hasta retenido en el tamiz 40) y 30.0 % finos (Abajo del tamiz 100)	30.0	100.00
	CAOLÍN SAN JOSE DE RANCHOS 50.00 %	70.0 % gruesos (Abajo del tamiz 10 hasta retenido en el tamiz 40) y 30.0 % finos (Abajo del tamiz 100)		
10	ARCILLA TALAYOTES 100.00 %	70.0 % gruesos (Abajo del tamiz 10 hasta retenido en el tamiz 40) y 30.0 % finos (Abajo del tamiz 100)	15.0	100.00

Fuente: Elaboración con resultados de esta investigación.

Tabla VI: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE DISEÑO DE LAS COMPOSICIONES DE LADRILLO SEMÍ-REFRACTARIO EN VERDE Y EN FRÍO.

Composición Nú.	Componente en %	Contracción lineal de secado + cocción	Contracción en peso + cocción	Resistencia a la compresión en verde Kg./ cm ²	Resistencia a la compresión en cocción Kg./cm ²
6	ARCILLA DE BOLA 100.00 %	3.92	10.85	50.0	300.0
7	ARCILLA DE BOLA 50.00 %	6.86	4.92	50.0	220.0
	ARCILLA TALAYOTES 50.00 %				
9	ARCILLA DE BOLA 50.00 %	11.76	21.83	40.0	170.0
	CAOLÍN SAN JOSÉ 50.00 %				
10	ARCILLA TALAYOTES 100.00 %	11.76	22.90	110.0	400.0

Fuente: Elaboración propia con resultados de esta investigación.