

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): SARA ESTHER APELLIDOS: RIVERA GARCÍA

NOMBRE(S): LAURA EVELIA APELLIDOS: PEÑARANDA GUEVARA

FACULTAD: INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA INDUSTRIAL

DIRECTOR(ES):

NOMBRE(S): LEONARDO APELLIDOS: CELY ILLERA

NOMBRE(S): KEILA APELLIDOS: ANTELIZ CONTRERAS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARCILLA DE LA MINA LA AZULITA EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO (NORTE DE SANTANDER), PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

Los suelos arcillosos exponen al mundo la multifuncionalidad que puede brindar siendo uno de los materiales más abundantes sobre la tierra, permitiendo incursionar en diferentes mercados como el sector cerámico refractario, por lo tanto, y con el objetivo de determinar si una de las arcillas de la región Norte Santandereana, califica según su composición para ser determinada como arcilla refractaria, se evaluaron diversas características. Los resultados obtenidos demuestran que la arcilla objeto de estudio tienen un gran potencial dado a que el Ladrillo SARLAU fabricado no tiene aditivos y fue conformado a través de una extrusora, por otro lado, los ladrillos comparados son ladrillos conformados por prensado, lo que nos permite resaltar las características que prometen un buen desempeño en la fabricación a escala industrial del ladrillo en cuestión.

PALABRAS CLAVES: arcillas, refractarias, carbón, silicoaluminoso, productos.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 86 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM:

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARCILLA DE LA MINA LA
AZULITA EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO (NORTE DE SANTANDER), PARA LA
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

LAURA EVELIA PEÑARANDA GUEVARA
SARA ESTHER RIVERA GARCIA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SAN JOSE DE CUCUTA
2020

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARCILLA DE LA MINA LA
AZULITA EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO (NORTE DE SANTANDER), PARA LA
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

LAURA EVELIA PEÑARANDA GUEVARA

SARA ESTHER RIVERA GARCIA

DIRECTOR.
LEONARDO CELY ILLERA
MSC. CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

CODIRECTOR.
KEILA ANTELIZ CONTRERAS
INGENIERO INDUSTRIAL

*ANTEPROYECTO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO
DE...
INGENIERO INDUSTRIAL*

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SAN JOSE DE CUCUTA
2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: Junio 29 de 2022
HORA: 4:00 p.m.
LUGAR: Salón SC 301
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA INDUSTRIAL

TÍTULO DE LA TESIS: "CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARCILLA DE LA MINA LA AZULITA EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO (NORTE DE SANTANDER), PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS REFRACTARIOS".

JURADOS: GAUDY CAROLINA PRADA BOTIA
CESAR ORLANDO VARGAS MANTILLA

DIRECTOR: LEONARDO CELY ILLERA
CODIRECTOR: KEILA ANTELIZ CONTRERAS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CÓDIGO	CALIFICACIÓN LETRA	NÚMERO
LAURA EVELIA PEÑARANDA GUEVARA	1192379	cuatro con cinco	4,5
SARA ESTHER RIVERA GARCIA	1191793	cuatro con cinco	4,5

MERITORIA


GAUDY CAROLINA PRADA BOTIA


CESAR ORLANDO VARGAS MANTILLA



Vo.Bo ÓSCAR MAYORCA TORRES
Director Plan de Estudios
Ingeniería Industrial
Maple M.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción.	12
1. El problema.	14
1.1. Titulo	14
1.2. Planteamiento al problema	14
1.3. Formulación del problema	16
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivos Específicos	16
1.5. Justificación	16
1.5.1. A nivel de la empresa	16
1.5.2. A nivel del estudiante	17
1.6. Alcances y limitaciones	17
1.6.1. Alcance	17
1.6.2. Limitaciones	17
2. Marco referencial.	19
2.1. Antecedentes	19
2.1.1. Antecedentes Internacionales	19
2.1.2. Antecedentes Nacionales	22
2.1.3. Antecedentes Regionales	23
2.2. Marco teórico	25

2.2.1.	Arcillas Refractarias.	25
2.2.2.	Arcillas Caoliníticas.	26
2.2.3.	Refractarios.	26
2.2.4.	Tipos de Refractarios.	27
2.2.5.	Caolín.	29
2.2.6.	Estudio Mineralógico.	30
2.2.7.	Choque Térmico.	30
2.2.8.	Conductividad Térmica.	30
2.2.9.	Resistencia a la Compresión.	31
2.2.10.	Resistencia a la Abrasión.	31
2.2.11.	Resistencia a la Flexión.	32
2.2.12.	Dilatación Térmica.	32
2.2.13.	Oxidos anhídridos	33
2.3.	Marco Conceptual	33
2.3.1.	Alúmina.	33
2.3.2.	Cocción.	33
2.3.3.	Extrusión.	33
2.3.4.	Feldespatos.	33
2.3.5.	Granulometría.	33
2.3.6.	Humedad.	33
2.3.7.	Mullita.	34
2.3.8.	Magnesita.	34
2.3.9.	Molienda.	34

2.3.10.	Plasticidad.	34
2.3.11.	Resistencia pirosfópica.	34
2.3.12.	Resistencia.	34
2.3.13.	Secado.	34
2.3.14.	Sílice.	35
2.3.15.	Termocupla.	35
2.4.	Marco Contextual	35
2.4.1.	Laboratorio de Formación Cerámica	35
2.4.2.	Historia	35
2.4.3.	Áreas del laboratorio	36
2.4.4.	Análisis que se pueden realizar en el Laboratorio	36
2.5.	Marco Legal	36
2.5.1.	Marco legal ambiental.	36
2.5.2.	Marco legal minero	37
2.5.3.	Referencias normativas cerámicas (refractarios)	37
2.5.4.	Estatuto estudiantil.	39
3.	Diseño Metodológico.	41
3.1.	Tipo de investigación	41
3.2.	Población y muestra	42
3.2.1.	Población.	42
3.2.2.	Muestra.	42
3.3.	Técnicas e instrumentos para la recolección la información del proyecto.	42
3.3.1.	Fuentes primarias.	42

3.3.2. Información secundaria.	42
3.3.3. Análisis de la información.	42
4. Resultados.	44
4.1. Identificación de las características mineralógicas y de composición del material.	48
4.1.1 Análisis de fluorescencia de rayos x en arcilla	49
4.2. Características físicas del material.	51
4.2.1. Definición de las propiedades físicas arrojadas por la materia prima	52
4.2.2. Definición de la aptitud de la materia prima	55
4.3. Identificación de las características térmicas de la materia prima.	56
4.4. Evaluación de las propiedades tecnológicas.	58
Conclusiones.	67
Recomendaciones.	70
Bibliografías.	71
Referencias.	73
Anexos.	82

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Materias primas para cerámica refractaria común.	27
Tabla 2. Propiedades físico-cerámicas en crudo de la arcilla.	54

Lista de figuras

	Pag.
Figura 1. Óxidos anhídridos	33
Figura 2. Mapa físico del área metropolitana de norte de Santander	45
Figura 3. Muestra de la materia prima a cielo abierto	46
Figura 4. Parte interna de la mina.	47
Figura 5. Difracción de rayos X de la arcilla.	48
Figura 6. Fluorescencia de rayos X de la arcilla.	50
Figura 7. Densificación en estado húmedo y seco de la arcilla.	53
Figura 8. Aptitud cerámica de la arcilla.	56
Figura 9. Curva de gresificación.	57
Figura 10. Densificación cocida.	59
Figura 11. Contracción lineal cocida.	60
Figura 12. Porosidad.	62
Figura 13. Módulo de ruptura en frío (Flexión).	64
Figura 14. Resistencia a la compresión en frío.	65

Lista de anexos

	Pag.
Anexo 1. Ladrillo aislante recto STD IFB-23	82
Anexo 2. Ladrillo refractario SK34.	83
Anexo 3. Ladrillo refractario SK32	84
Anexo 4. Ladrillo refractario aislante CTE	85
Anexo 5. Ladrillo ERCLAY SM.	86

Introducción.

Las arcillas son minerales que a nivel mundial tienen características y propiedades mineralógicas muy amplias que permiten ser aplicadas en la industria. En el continente europeo, España, especialmente la provincia de Castellón, cuenta con una alta cantidad de empresas que se dedican a la fabricación de productos cerámicos, lo que a su vez genera empleo a gran parte de la población. Así mismo, Alemania, es otro de los países europeos en donde hacen parte de su economía, empresas dedicadas a la transformación de materias primas arcillosas, no por nada, cuenta con yacimientos de arcillas refractarias ricas en cuarzo. A su vez, en el continente americano, países como Brasil, Perú y Argentina, son países ricos en una amplia variedad de formaciones de arcilla, las cuales se usan en diversas aplicaciones.

El desarrollo de la industria arcillera en Norte de Santander, crece de manera progresiva, pero se puede mencionar que, la implementación de nuevas tecnologías no se ha desarrollado de manera rápida y eficaz, aunque la poca existente, ha permitido la estandarización de los procesos y la oportunidad de crear nuevas líneas de producción. Una de las ventajas más conocidas del sector arcillero de Norte de Santander, es que cuenta con un suelo de excelentes calidades arcillosas, generando beneficios competitivos frente a empresas que desarrollan productos similares en la industria cerámica nacional e incluso internacional. Sin embargo, la región debe a ciencia cierta intentar obtener maquinaria que permita la eficiencia y la automatización de sus procesos, direccionándola a experimentar con productos nuevos de características diferenciadoras con excelente calidad.

Es de entender, que en la región gran parte de la industria está dirigida a productos de mampostería como bloques, ladrillos y tejas; y productos de revestimientos y pavimentos

cerámicos esmaltados o no, como son, azulejos y baldosas de gres. En la región no existen empresas en las que se puede encontrar productos de mayor exigencia técnica, capaces de resistir temperaturas elevadas, conservando al mismo tiempo buenas propiedades operativas frente a la demanda presente en diferentes áreas industriales como, hornos, reactores industriales, entre otros.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, en este proyecto se pretende evaluar y caracterizar las propiedades cerámicas de una arcilla de la región, buscando incursionar en la fabricación de productos refractarios y de esta manera, lanzarse en la búsqueda de nuevos mercados y así, permitir la expansión y crecimiento del desarrollo sostenible de la región con la comercialización de productos de más exigencias técnicas y de mayor valor comercial.

1. El problema.

1.1. Título.

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARCILLA DE LA MINA LA AZULITA EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO (NORTE DE SANTANDER), PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS REFRACTARIOS.

1.2. Planteamiento al problema.

Las arcillas consideradas refractarias contienen diversos minerales entre los que encontramos, minerales de la familia de la caolinita, presencia de minerales como el cuarzo y en algunos casos materiales como la illita y material carbonoso, siendo estos algunos de los más frecuentes componentes de estas arcillas. A nivel mundial, los Estados Unidos y España son los mayores productores de arcilla refractaria, según un estudio realizado por IGME (Instituto Geológico Mínero de España). En Sudamérica, Argentina, es el país que registra mayor cantidad de arcillas de este tipo. Según investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín, en el interior de Colombia, más puntualmente en el departamento de Boyacá, también se encuentran yacimientos de materia prima arcillosa con alta refractariedad, que además poseen una alta variedad de propiedades cerámicas ideales.

La industria arcillera, es una de las alternativas de desarrollo económico del país, y principalmente en Norte de Santander, donde aporta un alto porcentaje en PIB. Partiendo de la base de la existencia de los recursos naturales que se encuentran en el suelo, esta actividad ha traído reconocimiento a nivel internacional, lo que juega a favor para ser considerada como una de las arcillas con mejores características a la hora de fabricar diferentes productos. Aunque son pocas las zonas del país donde suele encontrarse material arcilloso que soporte altas

temperaturas; de igual manera, las que se explotan, tienen propiedades que se pueden considerar como adecuadas para la fabricación de productos refractarios.

Es de resaltar, que la región Norte santandereana posee yacimientos de arcillas que se pueden encontrar en las unidades geológicas del grupo Guayabo y la formación León, las cuales son fuentes inagotables y comúnmente utilizadas por las industrias arcilleras de la región. Además, también se puede encontrar la arcilla Carbonera, en el Cerro de Tasajero, esto hace que el departamento se sitúe como uno de los que posee mayor variedad de arcillas. En los últimos años, la mayoría de los ladrillos refractarios que son utilizados en la región para el montaje de hornos, son importados de Brasil, Argentina o traídos del interior del país, haciendo que aumente el costo de fabricación en las empresas, todo esto debido a que no se tenía presente que en Cúcuta y la zona metropolitana, se podrían hallar yacimientos de arcillas refractarias que se encontraban sin explotación.

Con este estudio, se pretende evaluar este tipo de arcilla y determinar si las propiedades de esta materia prima son aptas para el desarrollo de materiales refractarios (Ladrillos, placas, mantos, morteros, entre otros) y de esta manera, abrir nuevos mercados, ya sean de productos, o de venta del material natural a otros lugares, generando en las empresas de la región no solo una disminución en los costos, sino además, permitirá que se abran nuevos mercados, generando que el departamento se potencialice y permitiendo de igual manera, la posibilidad de expandir la investigación en el estudio de este tipo de materias primas. Dado que la región es altamente rica en variedad de arcillas, se pretende realizar un estudio donde se evaluarán las propiedades mineralógicas, químicas, y térmicas tomando como muestra un material arcilloso encontrado en una mina de carbón la azulita ubicada en el municipio de Santiago (Norte de Santander).

1.3. Formulación del problema.

¿Qué estudios permitirán establecer las características y evaluaciones necesarias que permitirá producir materiales refractarios provenientes de la arcilla de la mina de carbón la azulita ubicada en la vía de Santiago en el departamento de norte de Santander?

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Evaluar las características mineralógicas, químicas y físicas de una materia prima de la región de Norte de Santander, para la fabricación de refractarios.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Realizar el estudio mineralógico y químico de la materia prima.
- Desarrollar la evaluación de la caracterización física de la materia prima.
- Comprobar la resistencia térmica del material de estudio a altas temperaturas.
- Examinar las propiedades tecnológicas del producto fabricado con la materia prima de estudio.

1.5. Justificación.

1.5.1. A nivel de la empresa.

Este proyecto tiene como fin evaluar las propiedades cerámicas refractarias de la arcilla encontrada en suelos de la región, permitiendo abrir la posibilidad de crear un mercado que ayude a las industrias y a los empresarios a disminuir gastos pues los productos serian obtenidos de manera más rápida y segura, eliminando sobrecostos Además, brindará la posibilidad de encontrar un material para la fabricación de productos refractarios necesarios para los hornos, esmaltes o productos para otras áreas industriales, y así generar la expansión económica de las

empresas, sin tener la necesidad de adquirir este tipo de material, del interior del país o de importarlos.

1.5.2. A nivel del estudiante.

Con este proyecto se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del proceso de formación, implementando una serie de habilidades que se han ido obteniendo con la ayuda de formadores que han ofrecido una serie de conocimientos referentes a una amplia gama de asignaturas como lo es, su línea de profundización cerámica y todo lo concerniente a esta área, que hacen del estudiante de ingeniería industrial de la Universidad Francisco de Paula Santander, un profesional con capacidades de diseñar y optimizar procesos productivos en las organizaciones dando soluciones a posibles problemas que se le presenten mediante la postura práctica de lo aprendido durante su carrera profesional.

1.6. Alcances y limitaciones.

1.6.1. Alcance.

Este proyecto tiene como finalidad realizar el estudio de una arcilla encontrada en el departamento, así mismo se pretende la identificación de las propiedades del material mediante ensayos que determinen su composición y características a través de análisis de laboratorio tales como estudios mineralógicos, químicos y térmicos del material.

1.6.2. Limitaciones.

Una de las mayores limitaciones que se tiene para la realización de este proyecto es el uso de elementos de laboratorio y en sí mismo el uso del laboratorio, esta limitación es debido a la pandemia conocida actualmente como COVID 19, la cual por el aislamiento preventivo para evitar el contagio no se podrán utilizar a corto plazo las instalaciones del Laboratorio de

Formación Cerámica; a su vez los recursos limitados, podrán ser una limitación crítica, ya que algunos ensayos que se desarrollarán pueden ser de costo elevado y no se realizan en la región.

2. Marco referencial.

2.1. Antecedentes.

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Cuichán, A. y Llano, M. (2013). *Diseño y elaboración de un ladrillo refractario (22x11x16cm) empleando materias primas nacionales, utilizados en la construcción, mantenimiento y reparaciones de hornos de crisol y cubilote*. (Trabajo de titulación. Ingeniería mecánica. Universidad de las fuerzas armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador).

Resumen. En la actualidad en el país, la industria metalúrgica constituye una de las fuentes de trabajo más importantes, tanto en zonas rurales como urbanas, en dicha actividad podemos encontrar el uso de ladrillos refractarios. Para este caso particular dicho uso se efectúa en el funcionamiento del horno de crisol, del área de fundición de la carrera de ingeniería mecánica. Una de las partes primordiales para la elaboración de ladrillos refractarios, es encontrar la composición química adecuada, para esto dicho proyecto se enfocará en elaborar y analizar una pasta ideal que permita alcanzar dichos parámetros, obteniendo de esta manera un producto de calidad y que sea amigable con el ambiente.

Lo anteriormente mencionado, servirá de apoyo a la realización de este proyecto, ya que lo que se pretende es hacer un análisis para la fabricación de un producto refractario con una arcilla proveniente de la región, permitiendo que se abran nuevos mercados, este proyecto dará soporte al mismo de forma que, se permita el análisis de los estudios pertinentes a realizar y reafirme lo investigado en este proyecto.

Mennucci, L. y Rossini, A. (1972). *Características químicas y físicas de arcillas refractarias argentinas*. Trabajo presentado al II Seminario de ALAFAR, Belo Horizonte, Brasil, (Serie II, No. 284).

Resumen. Las arcillas que se utilizan en la industria de refractarios proceden de diferentes zonas del país y las distancias que median entre los yacimientos y centros de mayor consumo oscilan entre 400 km, la más cercana (provincia de Buenos Aires) y aproximadamente 1200 a 2000 Km, las más alejadas (provincias de La Rioja, Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz). En el mapa de la República Argentina se muestra la ubicación de los principales yacimientos de arcillas refractarias y su producción satisface la demanda para la elaboración de refractarios premoldeados y especialidades (morteros, hormigones, argamasas, etc.) del tipo sílico-aluminoso.

Con lo anterior se realizará una comparación de las arcillas refractarias, teniendo en cuenta que la arcilla de este proyecto es de tipo refractario, con esto se tendrá una clara idea de los componentes químicos que poseen este tipo de materiales, de igual forma se tiene en cuenta el análisis físico que comprueba la refractariedad del material.

Mennucci, L. Rossini, A. y Figueras, R. (s.f). *Estudio de algunas variables en la densificación de arcillas refractarias nacionales*. Argentina. (Serie II, No. 163).

Resumen. En el presente trabajo se estudia el comportamiento de algunas de las principales arcillas refractarias nacionales, actualmente en explotación, procedentes de zonas diferentes del país y utilizadas en la elaboración de refractarios sílico-aluminosos, frente a variables tecnológicas que tienen influencia en su densificación. La composición química y mineralógica, los valores de C.P.E., plasticidad y los dilatogramas de las mismas se exponen en un trabajo anterior. El conocimiento de este comportamiento conducirá, sin lugar a duda, a un

procesamiento tecnológico más adecuado de cada una de ellas, para la obtención de refractarios mejor densificado.

Este estudio permitirá el análisis de algunas variables de las arcillas refractarias, permitiendo de esta forma corroborar los análisis desarrollados en el material, y así saber cuáles son las temperaturas ideales para la cocción de este, y, por consiguiente, saber cuál es la temperatura ideal del material de estudio.

Pons, Pérez, B. Ramírez, y M.C. Ramírez. (1997). *Características de las arcillas refractarias de la zona de cayo Guam y su empleo en la fundición*. Revista minería y geología. Cuba.

Resumen. Se ofrece la caracterización de esta materia prima con grandes posibilidades de aplicación como material refractario, lo cual queda demostrado al evaluarse su uso como mortero y hormigón en el taller de fundición de la Empresa Mecánica del Níquel.

El presente artículo permite la caracterización de las arcillas refractarias haciendo una comparación entre este tipo de material con la que será estudiada en este proyecto.

Mennucci, L. Rossini, A. y Figueras, R. (1970). *Dilatometría de arcillas refractarias argentinas*. (Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigación Tecnológica del Ministerio de Obras Públicas, La Plata. Argentina.)

Resumen. El comportamiento dilatométrico de algunas arcillas refractarias argentinas fue determinado, con el fin de establecer la especie mineralógica predominante y las impurezas que la acompañan (cuarzo, muscovita-illita y montmorillonita). Los dilatogramas obtenidos muestran las zonas de temperatura donde ocurren cambios volumétricos entre temperatura ambiente y 1500 °C. La interpretación de estos permite programar curvas óptimas de cochura de arcillas o de sus mezclas, con el objeto de obtener chamóte o refractarios sílico-aluminosos bien densificados.

La tecnología moderna de los materiales cerámicos exige una serie de controles previos de las materias primas y de las mezclas que se utilizan para la elaboración de los diversos productos.

Con lo anterior, se podrá medir los porcentajes de SiO_2 pertenecientes a la muestra de estudio y de esta forma corroborar que los porcentajes obtenidos sean semejantes o parecidos a estos, y por consiguiente determinar si el tipo de material de estudio posee las cantidades necesarias para ser de tipo refractario.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Pérez, G. y Vargas, Y. (2009). *Desarrollo de cerámicos refractarios sílico-aluminosos a partir de arcillas caoliníticas de Barichara (Santander)*. (Trabajo de titulación. Ingeniería metalúrgica. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia).

Resumen. El presente proyecto estudió el beneficio de dos arcillas provenientes de Barichara Santander, denominadas por los artesanos de la región como cascajo y negra, con el fin de utilizarlas en la fabricación de refractarios sílico-aluminosos. El proceso de beneficio se llevó a cabo mediante operaciones metalúrgicas de tamizaje en húmedo, sedimentación, concentración magnética y lixiviación ácida inversa, mejorándose la calidad de las arcillas al eliminar algunas de sus impurezas e incrementando el porcentaje de Al_2O_3 presente; y una vez seleccionada la arcilla de mayor calidad, se empleó en el estudio de obtención de refractarios compuestos de arcilla-chamota bajo diferentes concentraciones y temperaturas.

Este proyecto da a conocer las formaciones de arcillas refractarias de tipo sílico-aluminosos, siendo este uno de los principales componentes de los refractarios y de los cuales se dará estudio en este proyecto, así mismo, da aportes en cuanto la forma cómo se debe realizar la fabricación de dichos ladrillos de una forma detallada y concisa, de igual forma las temperaturas de cocción

de cada tipo de formación arcillosa, evaluándose de esta forma, si la materia prima estudiada está dentro de los rangos de las temperaturas requeridas para los refractarios.

Pérez, G. Vargas, Y. Córdoba, E. (2010). *Beneficios de una arcilla caolinítica de la región de Barichara Santander para la fabricación de refractarios*. (Universidad nacional de Colombia. Medellín. Colombia).

Resumen. Se benefició una arcilla caolinita santandereana, con el fin de obtener una materia prima apta para la fabricación de refractarios sílico-aluminosos. Aplicando las operaciones metalúrgicas de tamizaje en húmedo, sedimentación y lixiviación se pretendió eliminar la mayor cantidad posible de cuarzo y hierro. ¿El proceso de separación del cuarzo mediante tamizaje y sedimentación no fue eficiente, dado que éste presenta un tamaño de partícula muy fino, similar a la de las especies arcillosas; tan sólo se logró reducir la relación Si/Al en un 12% (de 1,52 a 1,35). Mediante lixiviación a 90°C, con solución de ácido oxálico 0,4 M, se eliminó casi la totalidad del hierro de la arcilla (cerca del 98%), lográndose el “blanqueo” de la misma. Finalmente, se determinó que es posible obtener refractarios con punto de ablandamiento de 1600 °C a partir de la arcilla beneficiada.

Este artículo muestra, los componentes que deben poseer las arcillas para que sean utilizadas para la fabricación de materiales refractarios, como es la alúmina, siendo uno de los principales componentes de las arcillas de tipo caoliníticas y de igual manera, la sílice, que aporta mayor refractariedad al material.

2.1.3. Antecedentes Regionales.

Sánchez, J. Orozco, J. y Peñaloza, L. (2014). *Evolución de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en norte de Santander*. (Universidad francisco de paula Santander Cúcuta, Colombia).

Resumen. Se analizaron las propiedades físicas (aptitud cerámica) y químicas (Fluorescencia de rayos X FRX) de cuatro materias primas (arcilla Peracos, arcilla La Alejandra, Caolín HS-801 A y mezcla Táchira), logrando obtener indicadores de medición a través de las temperaturas estudiadas (1150 °C y 1280 °C), para identificar su composición y el comportamiento individual; y de esta manera seleccionar las cantidades a ser empleadas en la formulación de las diferentes mezclas: MA, MB, MC, MD, ME y MF. Finalmente se emplearon las mezclas más apropiadas para la fabricación de un prototipo de ladrillo refractario a escala real, siendo la mezclas MA con un bajo porcentaje de contracción en cocido de 2,89% a la temperatura de 1280 °C, una densidad aparente constante de 1,60 g/cm³ y una resistencia a la rotura de 16,98 Kgf/cm², MB con un bajo porcentaje de contracción en cocido de 5,69% a la temperatura de 1280 °C, una densidad aparente 1,58 g/cm³ y una resistencia a la rotura de 49,01 Kgf/cm², y ME con un bajo porcentaje de contracción en cocido de 5,88% a la temperatura de 1280 °C, una densidad aparente 0,93 g/cm³ y una resistencia a la rotura de 7, 68 Kgf/cm²; las que cumplen con las condiciones requeridas por la NTC 623 para la fabricación de ladrillos refractarios.

El presente artículo servirá de apoyo para la parte experimental de este proyecto, ya que lo pretendido es, la realización de prototipos cerámicos a los cuales se les pueda realizar los análisis pertinentes para definir el tipo de refractariedad que posee el material de estudio.

Peñaloza, L. Tolosa, J. (2013). *Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios en el área metropolitana de Cúcuta*. (Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Industrial. universidad Francisco de paula Santander Cúcuta, Colombia).

Resumen. Se lograron caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las arcillas seleccionadas para la fabricación de ladrillos refractarios, realizando así, diferentes formulaciones con las materias primas seleccionadas. Así mismo, se elaboraron muestras a nivel de laboratorio, mediante la realización de ensayos, simulando las etapas del proceso productivo para fabricación de ladrillo refractario, logrando fabricar un prototipo de ladrillo refractario a escala semi industrial. Por último, se estableció el precio estimado en la fabricación de ladrillos refractarios a nivel de laboratorio, con los ladrillos refractarios comerciales.

Con lo anterior, se tendrá en cuenta componentes utilizados en diferentes mezclas para la creación de materia prima de tipo refractario que ayuden al sostenimiento de este proyecto, de tal forma que, al momento de realizar los estudios se tenga la mayor claridad de la materia prima de estudio.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Arcillas Refractarias.

Las arcillas refractarias son por lo general rocas más duras y las cuales soportan gran cantidad de temperaturas, “Aparecen en masas duras, en su estado natural no absorben agua hasta hacerse plástica, pero molidas finamente se plastifican. Se utilizan en el revestimiento de hornos y refractario para la fabricación de productos” (Martínez, 1995, p.12). Y sabiendo que este tipo de materia prima cuenta con propiedades favorables y según Rossini, Mennucci y Figueras (s.f) “... interviene en toda mezcla destinada a la elaboración de refractarios sílico-aluminosos, ya sea en forma de polvo impalpable como ligante plástico (etapa de moldeo) o ligante cerámico (etapa de cocción) o bien, previamente calcinada como chamóte con adecuada distribución granulométrica” (p.3). Algunos autores refieren que “las arcillas de tipo “refractory clay” deben de poseer altos contenidos en Al_2O_3 , tanto las arcillas calcinadas, como las no

calcinadas y con muy bajos contenidos en hierro y alcalinos”. (Rodríguez y Torrecillas, 2002, p.469), lo cual nos hace concluir que este tipo de arcillas son especiales en el sector cerámico por su resistencia a altas temperaturas.

2.2.2. *Arcillas Caolínicas.*

“Se agrupan bajo esta denominación las arcillas con una baja proporción de hierro (<3%) y alto contenido de caolinita” (Instituto Geológico Minero de España [IGME], 2016, (p.333) teniendo en cuenta de igual forma que este tipo de formación arcillosa es de cocción blanca lo que hace referencia a que una vez este pase por su proceso de cocción los colores obtenidos al final del proceso sean blancuzcos de igual forma Linares, Huertas y Capel (s.f) menciona que “Este mineral pierde su agua estructural a una temperatura de 500 °C, transformándose en meta caolinita mediante la deshidroxilación” a su vez Brindley y Nakahira (1959) citado por Linares, Huertas y Capel (s.f, p.484) afirma que “la meta caolinita sometida a una temperatura de 950 °C favorece la formación de una estructura de espinela con liberación de SiO₂, transformándose la espinela en mullita y la sílice en cristobalita”.

2.2.3. *Refractarios.*

“Los refractarios cubren un amplio grupo de materiales capaces de proporcionar condiciones de trabajo adecuadas a los campos de aplicaciones en donde se requiere el uso de altas temperaturas durante un lapso definido” (Restrepo, 2019, p.22). Teniendo en cuenta que este tipo de material mantiene un punto elevado de fusión que pasa los 1600 °C y según, Zea (2005) refiere que los refractarios “son materiales capaces de resistir temperaturas superiores a 1500 °C. Sin reblandecerse ni sufrir cambios de volúmenes apreciables, deben resistir la abrasión en caliente y tener una conductividad térmica baja” (p.28). De lo cual podemos concluir, que los refractarios son materiales capaces de soportar altas temperaturas sin presentar ningún tipo de

deformación, lo cual permite que se puedan emplear en varios campos laborales como lo son la construcción de hornos ya sea de tipo cerámico o de coquizado y de igual forma sus aplicaciones en la metalúrgica, y a su vez “Los refractarios más comunes, de acuerdo con su composición, pueden ser: a) sílico-aluminosos, b) magnésicos, c) silíceos y d) otros tipos” y como aparece en la tabla 1. (Galán y Aparicio, (s.f), p.45).

R. Silico-Alumínicos	R. Magnésicos	R. Silíceos	Otros Refractarios
Caolín y arcillas caoliníferas nesosilicatos de (Al) cordierita Pirofilita corindón	Olivino magnesita dolomita serpentina	Arenisca Cuarcita Cuarzo	Cromita Grafito

Tabla 1. Materias primas para cerámica refractaria común.
Fuente: http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf.

2.2.4. *Tipos de Refractarios.*

En la industria cerámica existen distintos tipos de refractarios dependiendo del uso para el cual sea destinado o a sus componentes los cuales se definirán a continuación:

Refractarios Ácidos.

“Este tipo de refractarios contiene un bajo contenido en alúmina y alto en sílice” (López, 2016, p.1) y según Amaro (2004) “Los refractarios ácidos comunes incluyen las arcillas de sílice, de alúmina y refractarios de arcilla (una caolinita impura). La sílice puro a veces se utiliza para contener metal derretido” este tipo por lo general no es adecuado para las aplicaciones de refractarios que requieran temperaturas por encima de los 1600 °C las cuales son utilizadas con mayor frecuencia en este tipo de material.

Refractarios Básicos.

Este tipo de material por el contrario según Ibíd. Citado por Amaro (2004), afirma que “...se utilizan para resistir las escorias básicas, y más recientemente debido a su resistencia mecánica a temperaturas elevadas. Los materiales básicos más comunes son magnesita, caliza y cromita, que

pueden emplearse conjuntamente o por separado” (p.13), a lo cual López (2016) afirma que “A estos materiales los caracteriza el gran contenido de magnesita y dolomía” (p.2) y es por estos componentes que se les da el nombre de refractarios básicos por poseer un alto contenido de magnesita.

Refractarios Neutros.

Este tipo de refractarios es poco común y según Amaro (2004), “Estos refractarios, que normalmente incluyen la cromita y la cromita-magnesita, pueden ser utilizados para separar refractarios ácidos de los básicos, impidiendo que uno ataque al otro” (p.14) lo que facilita la separación de estos componentes haciendo que sean más fácil su implementación, de acuerdo con López (2016), afirma que “... Se componen principalmente de carbón, alúmina y cromatina. Son fuertes y densos, son conductivos y tienen buena resistencia a los cambios volumétricos y al choque térmico” (p.2) lo que permite que estos refractarios sirvan de puente para poder separar los ácidos de los básicos.

Refractarios Especiales.

Este tipo de refractario por lo general es utilizado en la industria del vidrio y es utilizado para hacer fundiciones donde Ferrándis (1961) menciona que “...se fabrican generalmente a partir de minerales que pueden calcinarse, sinterizarse o fundirse eléctricamente, dando productos a partir de los cuales se preparan los refractarios” lo cual refuerza la afirmación de Amaro (2004), donde dice que “El carbono, o grafito, es utilizado en muchas aplicaciones refractarias, particularmente cuando no hay oxígeno fácilmente disponible. Otros materiales refractarios incluyen la zirconia (ZrO_2), el zircón (ZrO_2-SiO_2) y diversidad de nitruros, carburos y boruros” (p.14) de igual forma este tipo de refractario puede llegar a tener temperaturas aproximadas a los 1500 °C.

Refractarios de Mullita.

Este tipo de refractarios posee una alta refractariedad y según Rivera, Restrepo, Paucar y García (2007) “La mullita es un mineral que se da raramente en la naturaleza en condiciones muy especiales de temperatura y presión” (p.2) esta materia prima “están constituidos predominantemente por cristales de mullita $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ que se han formado por calcinación de uno de los minerales del grupo de la sillimanita o por síntesis a partir de materiales apropiados, por sinterización o fusión” (Ferrándis, 1961, p.257) este material es difícil de encontrar en la naturaleza, pero por su alta refractariedad es considerado uno de los mejores refractarios existentes.

2.2.5. *Caolín.*

En la industria cerámica existen diferentes tipos de caolines por lo general, este tipo de materia prima posee color de tipo blanco y según C, Guillem (1988) y M. C, Guillem (1988) dice que “...puede llegar a formar parte de las pastas cerámicas hasta en un 60 %, como en alguna porcelana. Los caolines son las arcillas más puras y blancas. La mayor parte de ellos constan de caolinita, sin ningún Otro mineral arcilloso” (p.204), de igual forma Zea (2005) dice que “... la caolinita se forma por la descomposición en medios oxidantes y en condiciones acidad y en medios reductor cuando se eliminan las bases (Mg, alcalisis, FeO) (p.23), Y según Bartolomé (1997) “el caolín, tal y como se obtiene en una explotación minera (caolín bruto/ «todo uno»), posee un contenido variable en caolinita y/ o halloysita que, a veces no llega al 20%” (p.9), teniendo en cuenta que las aplicaciones de esta materia prima son realizadas de acuerdo a su pureza.

2.2.6. *Estudio Mineralógico.*

Es un estudio que principalmente se encarga de analizar las propiedades físicas y químicas de las materias primas provenientes del suelo y según Wikipedia (s.f) “La mineralogía es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación” esto permite el análisis afondo de las arcillas de estudio para indicar sus propiedades y de acuerdo con Servicio Geológico Mexicano (2017) el estudio mineralógico “...estudia aquellas especies inorgánicas llamadas minerales, que juntas en forma de masas rocosas o de forma aislada, constituyen tanto el material de la corteza terrestre como el de otros cuerpos en el universo” partiendo de lo anterior podemos inferir que la mineralogía permite al análisis de materiales que componen el suelo.

2.2.7. *Choque Térmico.*

El choque termino muchos autores lo definen como un ensayo que se le hace al producto terminado cerámico para medir la resistencia que tiene frente al impacto de cambio de temperaturas bruscos y según Narváez (2003) “El choque térmico es una técnica que consiste en un precalentamiento de semillas o frutos a diferentes temperaturas (entre 20° C y 50 °C) por periodos de tiempo que varían entre días y minutos antes de ser refrigerados” (p.94). A lo cual afirman Rendtorff, Garrido y Aglietti, (2007) "Se entiende por choque térmico a un cambio brusco de temperatura de algunos centenares de grados centígrados lejos de la temperatura de ablandamiento de un material" (p.1) lo cual permite medir la resistencia del material a los cambios abruptos de temperatura y saber que tan resistentes son a estos.

2.2.8. *Conductividad Térmica.*

“La determinación del coeficiente de conductividad térmica se toma de la definición de la transferencia de calor por conducción dada por la ley de Fourier” (López, Morales, Díaz y

Lizardi, 2000, p.148), dicho lo anterior se puede decir que la conductividad térmica en ese estudio que permite saber que tanto calor puede soportar y transmitir un material teniendo en cuenta que este debe ser uniforme, y según Leal (2018) “La conducción de calor permite clasificar los materiales en conductores y aislantes térmicos, esta clasificación se basa en una constante denominada conductividad térmica, que no es más que la capacidad de un material para conducir calor” (p.34). Este tipo de ensayo permite determinar si los materiales son conductores térmicos o no.

2.2.9. *Resistencia a la Compresión.*

La resistencia a la compresión es un ensayo que permite medir la resistencia mecánica del material “La resistencia a la compresión es el parámetro más usado para definir las características” (Lizarazo y Gómez, 2007, p.12) y según Feijoo y Román, (2019) “es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse” (p.13) y de acuerdo con Feijoo y Padrón, (2020) “...La resistencia a la compresión simple de las rocas es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso” (p.62) con lo cual podemos concluir que este ensayo permite medir la resistencia del material que se está poniendo a prueba.

2.2.10. *Resistencia a la Abrasión.*

De acuerdo con la norma ASTM G40-92 citada por Condori y Kuong (2015) “define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella” (p.32), y según el Instituto de Promoción Cerámica (s.f) “ el ensayo de abrasión superficial consiste en someter la superficie esmaltada de la baldosa a la erosión provocada por bolas de acero de 4

diámetros diferentes” (p.1) y dando le paso a las normas ISO 10545-7 (1996), la cual dice “Determinación de la resistencia a la abrasión del esmalte de las baldosas, por rotación de una carga abrasiva sobre la superficie y comparación visual de baldosas sometidas y no sometidas al ensayo”, a lo cual podemos concluir que la resistencia a la abrasión es el ensayo se le realiza a las piezas cerámicas para medir el desgaste que pueda presentar la misma.

2.2.11. Resistencia a la Flexión.

De acuerdo con la norma ISO (2014) “Se determina la resistencia a la flexión de una baldosa, aplicando una fuerza en el centro de la cara vista. La fuerza aplicada va en aumento hasta conseguir romper la baldosa. La resistencia a la flexión se expresa en N/mm²” y según Blanco (2011), citado por Fustamante (2018) “precisa que la flexión en todo elemento estructural se presenta cuando este elemento se encuentra sometido a cargas perpendiculares a su plano, estas cargas son externas y transversales” (p.27) y sabiendo que “este es el ensayo generalmente más utilizado para medir la resistencia mecánica de los materiales” (Sánchez, 1995, p.66).

2.2.12. Dilatación Térmica.

Se considera como dilatación térmica a la capacidad que tiene el material para expandirse, de acuerdo con Wikipedia (s.f) “se le llama dilatación térmica al aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al aumento de temperatura por cualquier medio” de lo cual podemos inferir que el aumento del volumen el material es debido a la presencia de temperaturas elevadas las cuales permiten que el material se expanda o dilate y según Vásquez (2015) “...Cuando un cuerpo se dilata, lo hace en todas las direcciones; sin embargo, si la expansión en un sentido es despreciable por su magnitud se puede establecer que solo hay dilatación en un área o en una dirección lineal” (p.4) de acuerdo a lo anterior podemos afirmar que según sea el aumento de temperatura será la dilatación del material.

2.2.13. Óxidos anhídridos.

Grupo	Fórmula	Nombre	Sistema cristalino	Color	Presencia en suelos
Óxidos anhídridos	• $\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Hematita	Hexagonal	Rojo	Principalmente en suelos de zonas tropicales
	• $\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Maghemita	Tetragonal	Pardo rojizo	Ocasionalmente en zonas templadas o paleosuelos Principalmente en suelos de climas cálidos tropicales o subtropicales

Figura 1. Óxidos anhídridos.

Fuente: Besoain (1985).

2.3. Marco Conceptual.

2.3.1. Alúmina.

Es un compuesto muy similar a la sílice y que componen gran parte del material arcilloso a su vez se puede encontrar en forma de óxidos hidratados y se utilizan como abrasivos reducen la plasticidad y aumenta la refractariedad.

2.3.2. Cocción.

Proceso físico donde el material es sometido al calor generando desprendimiento de agua gases y permitiendo dilataciones y contracciones en las piezas cerámicas.

2.3.3. Extrusión.

Proceso mediante el cual se conforma o se le da forma a la pasta cerámica para la fabricación de diferentes productos cerámicos de tipo estructural y no estructural.

2.3.4. Feldespatos.

Se compone por un grupo de minerales formados por silicatos dobles y se encuentra en la corteza terrestre en un 60% y es el fundente principal utilizado en las pastas cerámicas.

2.3.5. Granulometría.

Es la distribución equilibrada del tamaño de las partículas para la mejora del comportamiento plástico midiéndose a través de mallas y acompañado de sedimentación.

2.3.6. Humedad.

Es el porcentaje de agua o vapor de agua presente en el interior o exterior cualquier material.

2.3.7. *Mullita.*

Es un silicato de aluminio producido artificialmente por varios métodos de cocción dándole alta refractariedad a la arcilla, este material es utilizado con frecuencia para la fabricación de refractarios de alta alúmina.

2.3.8. *Magnesita.*

Es un mineral perteneciente a los grupos de los carbonatos que se forma usualmente por alteración de rocas ricas en magnesio por acción de meteorización de las rocas carbonatadas de igual forma es un material que se puede hidratar fácilmente por lo que se calcina generalmente entre una temperatura de los 1600 °C a 2000 °C.

2.3.9. *Molienda.*

Proceso en el cual el tamaño del material es reducido al deseado o necesario con la ayuda de cuerpos trituradores permitiendo la homogenización de las partículas.

2.3.10. *Plasticidad.*

Propiedad característica de un material que permite su moldeado o trabajo a través de tensiones por encima del rango elástico.

2.3.11. *Resistencia pirosfópica.*

Resistencia a altas temperaturas sin fundir o reblandecer

2.3.12. *Resistencia.*

Es la capacidad de tolerancia de un cuerpo hacer fracturado permitiendo a su vez ser manipulado sin perder sus propiedades.

2.3.13. *Secado.*

Proceso mediante el cual son liberadas las partículas de agua que han sido absorbidas por el material para el conformado de la pieza cerámica

2.3.14. *Sílice.*

Es un compuesto formado por dos átomos de oxígeno y uno de sílice que se puede encontrar en las rocas, en la arena y el suelo, y posee una apariencia de piedra arenisca permitiendo que los granos de arcilla se unen por compresión.

2.3.15. *Termocupla.*

Instrumento utilizado para la medición de temperaturas que cuanta con un sensor midiendo el diferencial entre las temperaturas.

2.4. Marco Contextual.

2.4.1. *Laboratorio de Formación Cerámica.*

El presente proyecto será un trabajo de investigación, y se llevará a cabo en el campus de la Universidad Francisco de Paula Santander -UFPS-, que cuenta con distintos laboratorios para el apoyo académico de los procesos de investigación en proyectos de pregrado y posgrado; y este proyecto, se desarrollará, más exactamente en el Laboratorio de Formación Cerámica, el cual presta sus servicios a diferentes programas académicos fundamentalmente al programa de Ingeniería Industrial; este laboratorio, está adscrito al departamento de Procesos Industriales de la Facultad de Ingeniería de la universidad. Este laboratorio fue creado con el fin de generar resultados, en cuanto a los procesos de I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) en la Universidad Francisco de Paula Santander, promoviendo la tecnificación y proyección de la cerámica no solo de la universidad sino de las empresas de la región.

2.4.2. *Historia.*

El Laboratorio de Formación Cerámica fue inaugurado en el 2010; este centro de estudios y producción es el resultado de un proceso de innovación educativa, liderado por la Universidad Francisco de Paula Santander, para promover la tecnificación y proyección de la cerámica

artesanal e industrial del Norte de Santander, en una alianza estratégica entre la academia y el sector productivo, promoviendo el desarrollo de la región y del país. (UFPS, 2010, pp.5-6).

2.4.3. *Áreas del laboratorio.*

El laboratorio de Formación Cerámica cuenta con ocho áreas de actuación, distribuidas de la siguiente manera: sala de diseño, sala de preparación de pastas, sala de conformado industrial, sala de conformado artesanal, sala de secado y cocción, sala de decoración, sala de control y calidad y almacén. (Fuente: Base de datos del Laboratorio de Formación Cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander.)

2.4.4. *Análisis que se pueden realizar en el Laboratorio.*

El Laboratorio de Formación Cerámica, está dotado de equipos con el fin de ofrecer servicios de análisis y control de proceso, asegurando así productos de buena calidad, y para el desarrollo de investigaciones y/o prácticas industriales, entre otras. (Fuente: Base de datos del Laboratorio de Formación Cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander).

2.5. Marco Legal

2.5.1. *Marco legal ambiental.*

Constitución Política de Colombia.

Artículo 79: "todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines."

Artículo 80: "el estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y

exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas." (Congreso, 2012).

2.5.2. *Marco legal minero.*

Según Romero (2014) citado por Ávila y Cali (2019) La legislación colombiana del área minero-ambiental se expresa en las siguientes normas técnicas hacen referencia a la elaboración y fabricación del ladrillo en Colombia:

Norma Técnica Colombiana NTC 4966:2001. Práctica para prensado y secado de especímenes de plásticos refractarios y masas de apisonar. Esta norma es equivalente (EQV) a la norma ASTM C1054: 1995; esta práctica cubre el prensado y secado de silicato de aluminio y de plástico con alto contenido de alúmina unidos química y no químicamente y muestras refractarias de mezcla de apisonamiento clasificadas de acuerdo con la Clasificación C673. Dada en la (NTC 4862). Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas adecuadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2.5.3. *Referencias normativas cerámicas (refractarios).*

ASTM C181 (2018). Método de prueba para el índice de trabajabilidad de la arcilla y plásticos refractarios con alto contenido de alúmina.

ASTM C673 (2018). Clasificación de refractarios plásticos de arcilla refractaria y de alto contenido de alúmina y mezclas de apisonamiento.

ASTM C179 (2019). Método de prueba para el secado y cocción por cambio lineal de muestras de plástico refractario y mezcla de apisonamiento. Los valores establecidos se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades, véase la NTC 1000 (ISO 1000). Esta

norma no pretende consignar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes del uso.

NTC 682. Refractarios (2000). Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en frío y el módulo de ruptura de refractarios (ASTM C 133).

NTC 688. Refractarios (2000). Método de ensayo para determinar el cambio por recalentamiento de ladrillos refractarios (ASTM C 113).

NTC 4862. Refractarios (2000). Clasificación de plásticos refractarios y masas de apisonar sillico-aluminosas y de alta alúminas (ASTM C 673).

NTC 4935 (2001). Método de ensayo para determinar el índice de trabajabilidad de plásticos refractarios sillico-aluminosos y de plásticos refractarios de alta alúmina (ASTM C 181).

NTC 4936 (2001). Método de ensayo para determinar el cambio lineal en secado y cocción de refractarios plásticos y masas de apisonar refractarias (ASTM C 179)

NTC 773. Clasificación de ladrillos refractarios de arcilla refractaria (sillico-aluminosos o de baja alúmina) y de alta alúmina. Los ladrillos refractarios sillico-aluminosos se producen a partir de diferentes combinaciones de materiales que contengan alúmina y sílice. Estos ladrillos pueden variar en composición química desde aproximadamente 100 % de alúmina y poca sílice hasta aproximadamente 100 % de sílice y poca alúmina. Por esto es útil establecer una clasificación de estos materiales con base en las propiedades físicas y el análisis químico (ICONTEC, 2018).

NTC 676. Refractarios. Métodos de ensayo para determinar el tamaño, medidas dimensionales y densidad aparente de ladrillos refractarios y aislantes.

NTC 682. Refractarios. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en frío y el módulo de ruptura de refractarios.

NTC 688. Refractarios. Método de ensayo para determinar el cambio por recalentamiento de ladrillos refractarios.

NTC 706. Método de ensayo para determinar el cono piro-métrico equivalente (CPE) de materiales refractarios silico-aluminosos y de alta alúmina.

NTC 1107. Método de ensayo para determinar la deformación bajo carga de ladrillos refractarios a temperaturas elevadas.

2.5.4. Estatuto estudiantil.

Estatuto Estudiantil Universidad Francisco de Paula Santander. El Consejo Superior Universitario, mediante el Acuerdo N° 69 de septiembre 5 de 1997, expide el Estatuto Estudiantil de la Universidad Francisco de Paula Santander. Título V. Del trabajo de grado:

Artículo 139. El trabajo de grado es un componente del plan de estudios y tiene como objetivos:

Brindar al estudiante la oportunidad de manifestar de manera especial su capacidad investigativa, su creatividad y disciplina de trabajo mediante la aplicación integral de los conocimientos y métodos requeridos.

Servir como instrumento de extensión a la comunidad y medio de generación del conocimiento.

Facilitar al estudiante su participación y concurso en la solución de problemas comunitarios.

Facilitar al estudiante una mayor autonomía en el desarrollo de trabajos científicos, científico-tecnológicos y profesionales propios de su formación.

Artículo 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

Proyecto de Investigación.

Monografía.

Trabajo de investigación: generación o aplicación de conocimiento.

Sistematización del conocimiento.

Proyecto de Extensión.

Trabajo social

Labor de consultoría, en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad como Pasantía o Trabajo dirigido.

Parágrafo 1. El estudiante podrá optar, como componente alterna al proyecto de grado, a créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

Parágrafo 2. Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo con sus características, el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

3. Diseño Metodológico

3.1. Tipo de investigación.

De acuerdo con Daniel y Behar (2008) afirma que en la investigación o el estudio experimental como “el investigador desea comprobar los efectos de una intervención específica, en este caso el investigador tiene un papel activo, pues lleva a cabo una intervención. En los estudios experimentales el investigador manipula las condiciones de la investigación”. Con la anterior aclaración se puede definir la investigación de este proyecto de tipo empírico-analítico experimental lo que indica que se harán una serie de ensayos que corroboren y clasifiquen el tipo de arcilla que se está analizando y sin dejar a un lado que igualmente es un proyecto de investigación mixta ya que a su vez se hará a nivel descriptivo de tal forma que sean aclarados todas las dudas tanto del investigador como del lector.

Siguiendo el tipo de investigación y de acuerdo con Daniel y Behar (2008), los estudios descriptivos “Sirven para analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes. Permiten detallar el fenómeno estudiado básicamente a través de la medición de uno o más de sus atributos” esto permite identificar elementos y características del problema de investigación y a su vez se describe la frecuencia con la que se realiza los ensayos que son necesarios para definir claramente los resultados obtenidos de lo experimentado, es por ellos que el tipo de investigación que se utilizara para este proyecto es de tipo mixto, de esta forma habrá más claridad en las propiedades que se puedan encontrar en el material y que permitan clasificar el tipo de arcilla al que corresponde.

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población.

La población de estudio comprende la mina de carbón la azulita, esta cuenta con medidas, según las normas de explotación minera de: en su parte superior e inferior de 2 m; de altura 1,30 m y 45 m de fondo y el frente de yacimiento de arcilla de donde se extraerá la arcilla es de 80 cm de altura y posee una extensión de 280 hectáreas.

3.2.2. Muestra.

Para el desarrollo del proyecto, se extraerá la muestra del frente del yacimiento arcilloso, la muestra para ejecutar los ensayos será de aproximadamente 150 kg, esta se extraerá después del muestreo que hará mediante una cuadrícula en el plano de completo del yacimiento.

3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección la información del proyecto.

3.3.1. Fuentes primarias.

Como principal fuente de información para el desarrollo de este proyecto se tomarán estudios existentes referentes al tema de investigación seguidamente se evidenciará la misma información con las normas establecidas anteriormente para el desarrollo de productos refractarios, evaluando las características principales del material y las cuales son de vital importancia para el desarrollo de este proyecto.

3.3.2. Información secundaria.

Como fuentes secundarias se tomarán en cuenta los datos obtenidos después de cada prueba y/o ensayo los cuales serán el soporte de comparación y demostración de la investigación.

3.3.3. Análisis de la información.

Como procedimiento para el análisis de la información se tomarán en cuenta el siguiente procedimiento: A través de los resultados cuantitativos y cualitativos reflejados en los estudios

propuestos se procederá hacer un comparativo entre los resultados obtenidos de tal forma que lo experimentado sea comprobado y a su vez el investigador pueda identificar las características particulares del material de estudio.

4. Resultados

Según Villamizar (2016) citado por Flórez A, Sánchez J, Blanco D (2018), la explotación de arcillas es una de las actividades más activas del Departamento, llegando incluso a ser el segundo mineral de mayor producción, además de proporcionar los materiales para el desarrollo de la construcción, la cual es una de las actividades de más alto crecimiento. Conociendo la gran importancia que los productos cerámicos aportan a nuestra región y el impacto económico que produce en la comunidad, y que el tema que se aborda genera la oportunidad que permite dar paso a la exploración de un nuevo material arcilloso de aparente origen refractario se amplía la información exponiendo la temática de avance en el desarrollo de la siguiente investigación.

Dentro de este proyecto, se tomó en cuenta como primera fase la extracción de la muestra, esta se obtuvo de la mina La Azulita ubicada en el municipio de Santiago, mina cuya actividad principal es la explotación de carbón mineral. La materia prima de estudio pertenece a la formación carbonera, esto se puede deducir debido a la zona de influencia donde se encuentra ubicada la mina; el proceso de muestreo fue de forma manual a 45 metros de profundidad del socavón gracias a la disposición ilimitada de material hallado en la profundidad de la mina.

Para tener una mejor comprensión de la distribución de los suelos de nuestra región y abarcar con mayor claridad el tipo de arcilla que se obtuvo para el desarrollo de este proyecto, se procedió a la búsqueda del mapa físico; en la figura 2, donde se puede observar la ubicación geográfica de la zona metropolitana del Norte de Santander en la cual se aprecian las distintas formaciones arcillosas de la región, dada la ubicación de donde se extrajo la materia prima se puede clasificar en la zona 2 en la cual la formación se da por intercalaciones de arenitas localmente conglomeríticas, lodolitas y arcillolitas. Ocasionalmente delgadas capas de carbón.

Figura 1. Ubicación del área de estudio (comprendido por la zona encerrada por el trazo color rojo) y mapa geológico tomado de Servicio Geológico Colombiano (2017b) Leyenda: 1. Rocas calizas intercaladas con margas, lodolitas calcáreas y arenosas. 2. Intercalaciones de arenitas localmente conglomeríticas, lodolitas y arcillolitas. Ocasionalmente delgadas capas de carbón. 3. Arenitas de grano fino a conglomeríticas, interestratificadas con arcillolitas y limolitas, ocasionalmente algunos lentes de hierro y carbón. 4. Depósitos aluviales y llanuras aluviales. 5. Terrazas aluviales. 6. Abanicos aluviales y depósitos coluviales. 7. Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas.

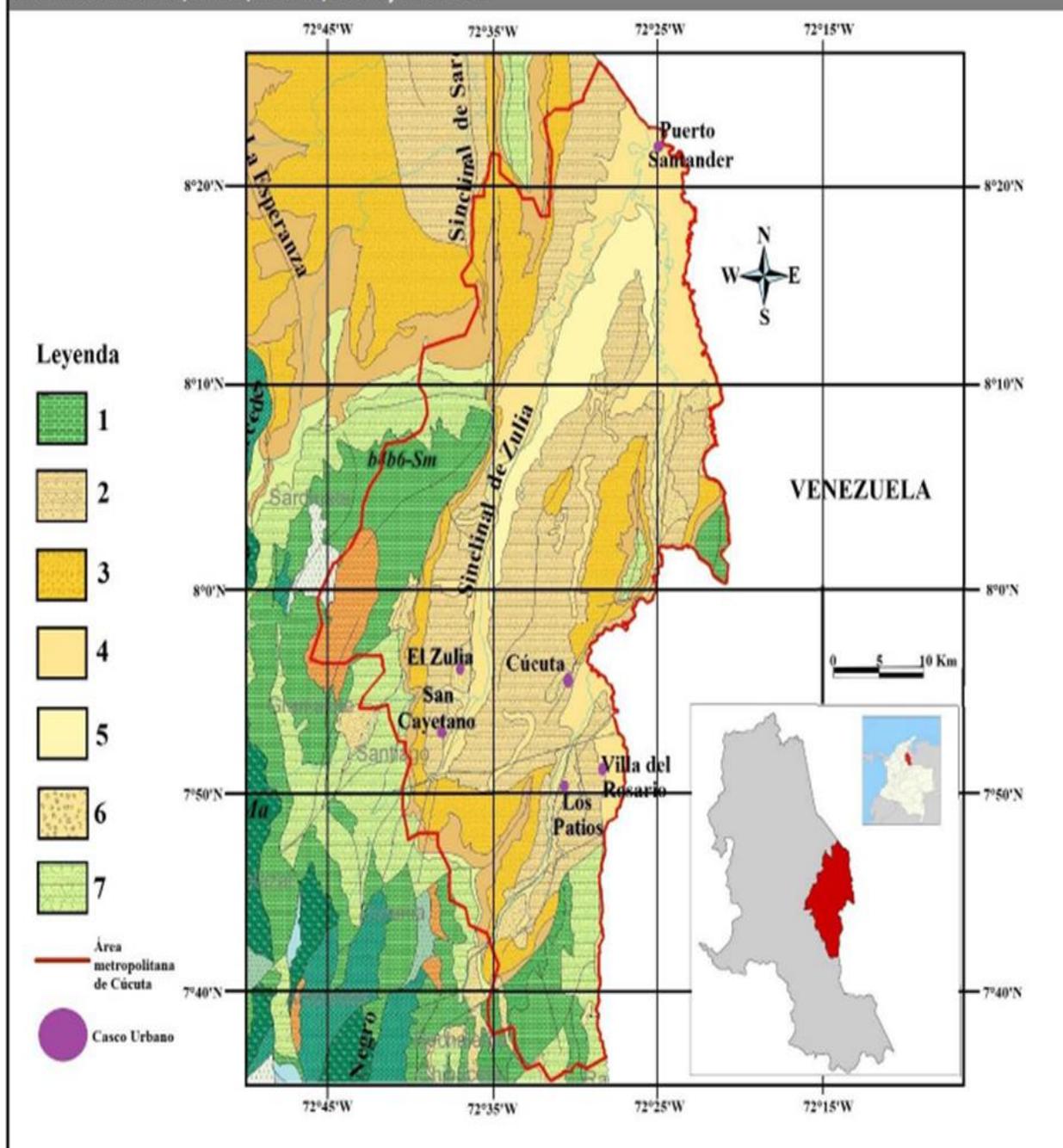


Figura 2. Mapa físico del área metropolitana de norte de Santander

Fuente: Recuperado de: revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1219/119

A continuación, se presenta una imagen figura 3, donde se puede apreciar las diferentes capas del suelo y el tamaño del frente, el cual es de aproximadamente 80 cm de alto, donde se observa que el carbón antes mencionado se encontró en medio de dos vetas de arcilla. Sin embargo, cabe mencionar que la materia prima arcillosa con la que se desarrollaron los diferentes análisis fue extraída de la parte inferior de la veta de carbón.



Figura 3. Muestra de la materia prima a cielo abierto.

El muestreo y la recolección de las muestras, se obtuvieron directamente en la profundidad del socavón, se recolectaron aproximadamente 150 kg de la materia prima, siguiendo los métodos de muestreo de las normas NTC 5085:2020 “Método para el muestreo, preparación de la muestra, empaque y rotulado de productos de cal y caliza” y NTC 129:2019 “Práctica para la toma de muestras de agregados” esta, se transportó hasta el lugar donde se realizaron los ensayos subsiguientes en 5 sacos cada uno de 30 kg.



Figura 4. Parte interna de la mina.

Con el material ya en el lugar dispuesto para el desarrollo de los ensayos, se preparó la materia prima, tomando el material de cada saco y mezclándolo, y de esta manera, se obtuvo una muestra representativa, esto con el objetivo de no fraccionar la muestra total, ya que como se mencionó el traslado fue en sacos diferentes.

Con la muestra ya mezclada, se inició la recolección de las cantidades necesarias para cada uno de los ensayos a desarrollar; se tomaron aproximadamente 50 kg del total del material, de estos, 300 g se tamizaron en malla ASTM 325 (45 μm), con el objetivo de analizar mediante ensayos mineralógicos (DRX) y químicos (FRX), sus fase cristalinas y su composición; el material restante se utilizó para los demás análisis que se describirán durante el desarrollo del proyecto.

De manera manual, se procedió a reducir el tamaño de partícula, mediante una trituración hasta alcanzar un tamaño de grano pasante malla ASTM 10 (2,00 mm), del material triturado, se tomaron 500g y se tamizaron por malla ASTM 40 (425 μm), se analizó su plasticidad por medio del método del rollo y de esta manera, determinar la cantidad de agua necesaria para su debida humectación.

4.1. Identificación de las características mineralógicas y de composición del material.

Para conocer los porcentajes de los minerales que constituían la composición de la muestra se procedió a realizar el ensayo de difracción de rayos X (DRX); según, Melgarejo J, Proenza J, Galí S, y Llovet X (2009) (p.62) cuando un haz de rayos x con longitud de onda bombea un cristal, los electrones de los átomos que se encuentran en su trayectoria difunden los rayos x en todas las direcciones, vibran con una frecuencia igual a la incidente, absorben parte de la energía y actúan como fuente de nuevos frentes de ondas coherentes difundiendo la energía como Radiación X. Lo que permitió la identificación de los minerales y la cantidad de cada uno de ellos presente en la muestra.

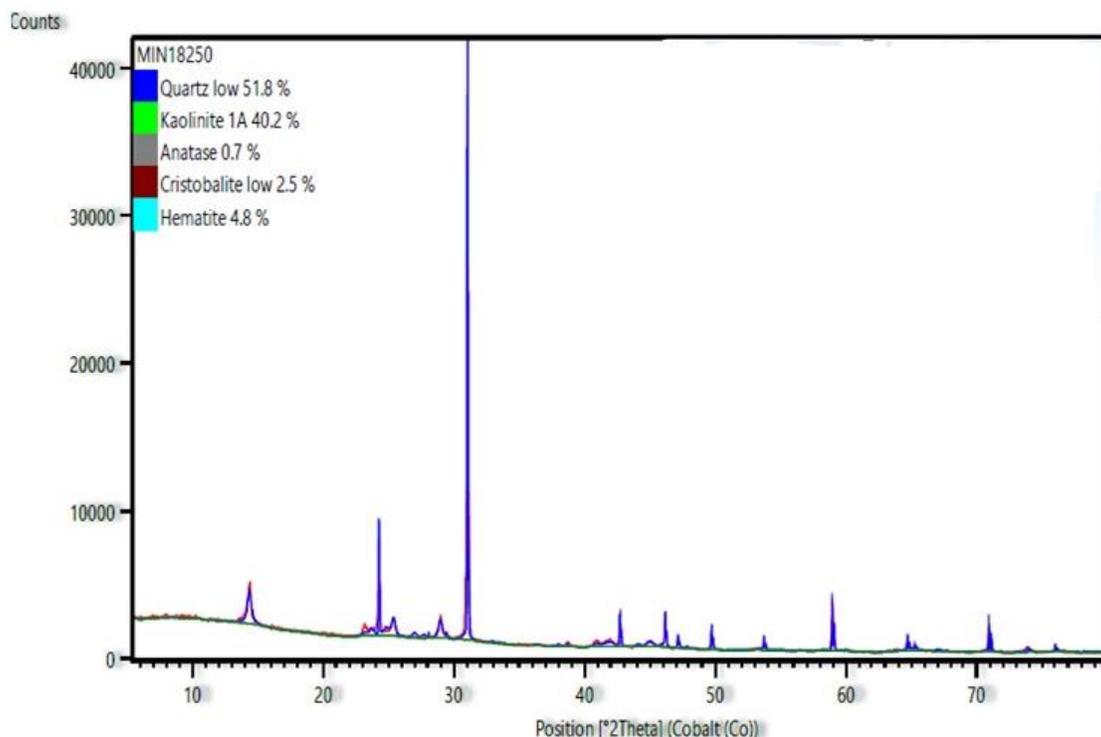


Figura 5. Difracción de rayos X de la arcilla.
Fuente. MintecCerámic.

Considerando la ubicación de los picos podemos determinar la presencia de cuarzo, caolinita, anatase, cristobalita y hematita. Los resultados obtenidos pueden definirse como silicoaluminoso determinando así su alto porcentaje de sílice.

La presencia de cuarzo genera características tales como la dureza en el material lo que podemos verificar a la hora de molturar pues presenta dificultades para bajar el tamaño de la partícula, casi siempre se presenta en rocas de color claro. El contenido de caolinita define la estructura arcillosa del material a su vez aporta los colores blanco y grisáceo con eflorescencias amarillas y beige debido a la impureza de óxido de hierro observadas en las etapas de secado y cocción, el 40% de la caolinita indicada en el análisis de difracción de rayos X (DRX) trajo efectos en la variación de la diagénesis del material influyendo en la etapa de molturación haciendo que sea más complejo; puede ser rayado fácilmente por cualquier metal o vidrio.

La presencia de cristobalita permite que el material resista altas temperaturas ya que el punto de fusión para la transformación del mismo es de 1500 °C, es utilizada en elaboración de vidrio soluble, sustancias refractarias, esmaltes, entre otros. La hematita o el óxido de hierro genera color rojo en las arcillas, sin embargo el porcentaje arrojado en el análisis (DRX) es considerablemente bajo siendo de poca influencia para la coloración de la arcilla de estudio. La anatase forma mineral del dióxido de titanio presentan colores desde pardo amarillento hasta el negro, amarillo, marrón e incluso verde pálido, al pasar por temperaturas superiores a los 500°C se transforma en rutilo; suele reforzar el color rojizo producido por el hierro sin embargo al ser su porcentaje del 0.7% no infirió en el cambio de coloración de la arcilla de estudio.

4.1.1 Análisis de fluorescencia de rayos x en arcilla.

ÓXIDO	% en peso
SiO ₂	68,48
Al ₂ O ₃	17,14
Fe ₂ O ₃	2,92
K ₂ O	0,97
TiO ₂	0,63
MgO	0,64
Na ₂ O	0,05
CaO	0,51
BaO	0,07

P ₂ O ₅	0,02
ZrO ₂	0,02
LOI	8,55
TOTAL	100,00

Figura 6. Fluorescencia de rayos X de la arcilla.

Fuente. MintecCerámic.

Los espectros de fluorescencias de rayos x de la muestra analizada identificaron la presencia de los siguientes compuestos químicos: el óxido de silicio (SiO₂) o comúnmente conocido como sílice es el mineral más abundante en la naturaleza utilizado mayormente para la fabricación de vidrio con una alta refractariedad y elevadas características mecánicas a temperaturas elevadas y es de color grisáceo o amarillo, el óxido de aluminio o alúmina (Al₂O₃) junto a la sílice es uno de los componentes que aportan más resistencia y aumenta la temperatura de maduración de las arcillas; con base a la Figura 6 y los porcentajes determinados de estos componentes, se puede clasificar como una arcilla de baja alúmina con características refractarias.

El contenido de óxido de hierro total (Fe₂O₃) en los suelos de la corteza sílica de meteorización suele ser de 2 a 6% y en la corteza alítica de meteorización alcanza 30% (Kaúrichev, 1980). El porcentaje de óxido de hierro evidenciado en la tabla es de 2.92% lo que indica que se encuentra en el promedio de valor que se presenta en los suelos; esto se puede apreciar en el momento del secado del material donde se evidencia en algunas de las muestras la presencia de manchas de color rojizos o pardo rojizo. (Afanador, Ibarra, López. 2013, p.107); a continuación se muestra una breve descripción de los óxidos anhídridos:

Grupo	Fórmula	Nombre	Sistema cristalino	Color	Presencia en suelos
Óxidos anhídridos	• -Fe ₂ O ₃	Hematita	Hexagonal	Rojo	Principalmente en suelos de zonas tropicales Ocasionalmente en zonas templadas o paleosuelos
	• -Fe ₂ O ₃	Maghemita	Tetragonal	Pardo rojizo	Principalmente en suelos de climas cálidos tropicales o subtropicales

Fuente: Besoain (1985).

4.2. Características físicas del material.

Una vez se realizaron los análisis técnicos donde se determinó la cantidad de componentes mineralógicos y químicos que se hallaban dentro de la materia prima se procedió a realizar el proceso de conformado del material, mediante una extrusora se prepararon 20 kg del material, adicionando en masa de agua el porcentaje que arrojó en el ensayo de índice de plasticidad, seguidamente, se mezcló y se amasó manualmente hasta obtener una pasta cerámica consistente y uniforme, esta, se dejó en reposo durante 24h para obtener una mejor homogenización de la misma y una mejor distribución del agua por toda la masa plástica y minimizar el riesgo que cualquier partícula de arcilla quede sin humectación.

Posteriormente se procedió a llevar la masa preparada a un chircal en el municipio de los patios, lugar en el que se desarrolló el proceso de conformado por extrusión, en una extrusora sin vacío y con boquillas intercambiables para el proceso de conformado. Se obtuvieron dos tipos de formatos de la muestra, del primer formato se fabricaron 30 especímenes de 12 cm × 7 cm × 1 cm, estos se usaron para determinar el comportamiento del material frente a la temperatura de cocción, la cuales fueron de 1100°C y 1200°C, temperaturas escogidas por el tipo de tecnología que se desarrolla en la región (hornos colmena); del segundo formato se fabricaron 15 especímenes de 23 cm × 10 cm × 6.5 cm, medidas de un ladrillo tipo refractario común, con el objetivo de realizarle pruebas a nivel industrial y poder desarrollar el comparativo con materiales de la región y/o ladrillos refractarios fabricados por fuera del área metropolitana.

Luego del proceso de conformado, se procedió a realizar un secado de forma natural, no sin antes registrar, las condiciones del material, como fueron dimensiones y masa. Debido a las condiciones climáticas de ese momento, este proceso de secado se realizó bajo techo y debido a las características del material este se desarrolló en un tiempo de 15 días, se comprobó el secado

completo del material, ya que, se realizaron mediciones diarias del contenido de humedad de todos los especímenes, hasta comprobar que el contenido de humedad estuviera por debajo del 0.1% como menciona la norma NTC 1495:2013 “Suelos métodos de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas con base en la masa”. Una vez terminado el secado, se registraron de nuevo las dimensiones y la masa de los especímenes y se determinó el porcentaje de agua higroscópica que se eliminó; del material seco se tomaron 12 especímenes de cada uno de los formatos conformados, y se llevaron al proceso de cocción.

4.2.1. Definición de las propiedades físicas arrojadas por la materia prima.

En la figura 7, referente a la densidad en húmedo y seco se pudo apreciar un crecimiento en la densidad húmeda, esto es debido, a la presencia del agua intersticial, agregada en el proceso de conformado, de igual manera, se detalló que, la densidad seca disminuye en un 6,54 % durante el proceso de secado, lo cual permitió observar la disminución en el peso del material extruido, este valor fue obtenido aplicando la siguiente fórmula:

$$\%reducción = \frac{(Densidad\ humedad - Densidad\ seca)}{Densidad\ Humedad} * 100$$

La reducción de la densidad tiene una influencia directa sobre la compactación del material provocando una mejor distribución granulométrica.

La etapa de secado se debe realizar adecuadamente pues como fase previa a la cocción se debe asegurar que el material tenga un proceso lento y homogéneo evitando de esta forma que se presenten fisuras y obteniendo bajos niveles de porosidad, teniendo en cuenta que no solo es necesario extraer el agua de forma rápida sino que debe hacerse sin provocar tensiones que puedan deformar o fracturar el producto. (Pineda, J. (2014) p.53).

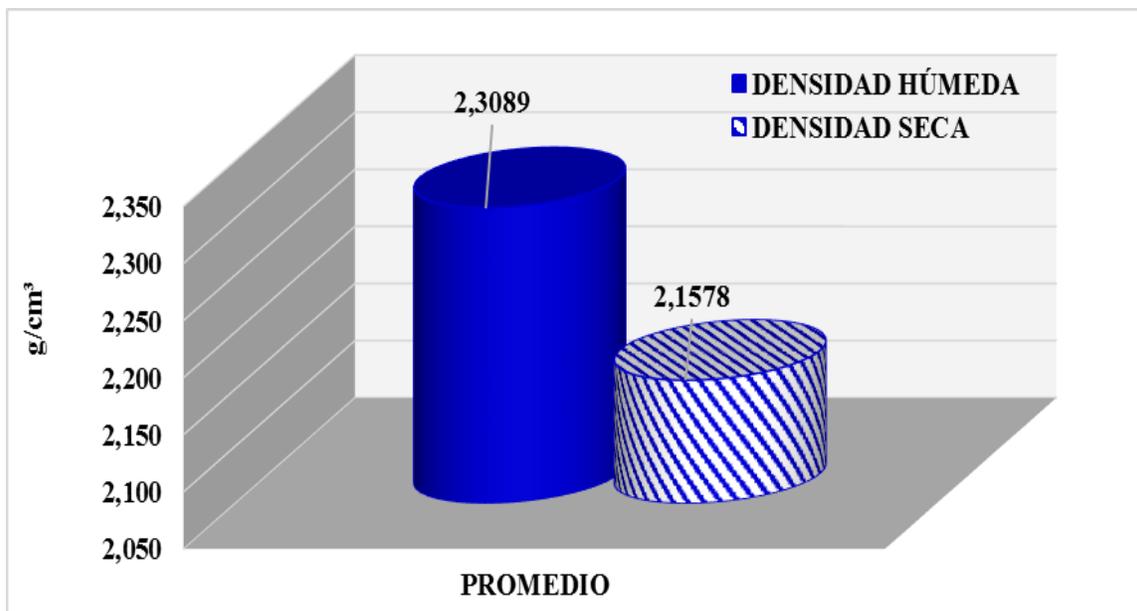


Figura 7. Densificación en estado húmedo y seco de la arcilla.

Como se muestra en a la tabla 2, conocer el límite de contracción lineal nos permite tener una idea del comportamiento que puede tener el suelo durante el proceso de secado. Ya que una característica indeseable de los suelos es su predisposición por manifestar cambios volumétricos, particularmente expansión y contracciones, que suelen provocar agrietamientos y fisuras. (Laboratorio de materiales y sistemas estructurales (LMSE), (s.f), p.4). Los especímenes, muestran un porcentaje de contracción lineal de 9.46%, dicha contracción evidencia la reducción en la longitud de los especímenes. (Barrenzuela, J. (2014)) Por los cambios de temperatura que se presentan en el ambiente, en la etapa de secado se presentan cambios en las dimensiones originales al producirse el fenómeno de contracción. (p.25)

Según (Zea. N, (2005)) una de las principales causas de la rotura de los ladrillos es trabajar con arcillas que se contraigan más del 7%, sin embargo, puede darse el caso de una arcillas que se contraiga un 10% y resista perfectamente el secado debido a la contextura especial de sus componentes o formación interna (p.35). El porcentaje de pérdida de masa en el material está precedido por las fases que encontramos en el secado según (Salazar Carrera. P, (2015)) una

primera de pérdida de agua contenida en los poros; otra de nueva eliminación de agua hasta alcanzar la máxima contracción y una tercera consistente en la pérdida del resto de agua, permitiendo la aparición de poros (p.17).

MUESTRA	Materia Prima		Condición seca		
	Residuo en malla 230 (%)	Residuo en malla 325 (%)	Contracción lineal (%)	Pérdidas de masa (%)	Resistencia mecánica (MPa)
ARCILLA	1,98	2,62	9,46	18,85	3,15

Tabla 2. Propiedades físico-cerámicas en crudo de la arcilla.

Los ensayos de retenidos se realizaron para determinar el porcentaje de arenas y diferentes comportamientos que tiene las arcillas tales como la plasticidad, la contracción de secado y de cocido, la absorción de agua y resistencia mecánica; Según Amorost (2004) citado por Cáceres, B y Chaparro, A (2021) afirma que “el valor obtenido en el retenido o rechazo indica la relación del mineral arcilloso con respecto al cuarzo y la distribución del tamaño de partículas en la muestra”.

Los datos obtenidos de la aplicación de lavado de arcillas por las mallas 230 y 325 fueron 1,98% y 2,62% respectivamente; el retenido ASTM 230 se aplicó como un análisis de rutina que determina la relación de la cantidad de cuarzo que se presenta en la muestra, asimismo es utilizado para arcillas con tonalidades rojizas, a su vez la malla ASTM 325 para tonalidades blancas la cual se toma como referencia para el tipo de material de estudio teniendo en cuenta que el porcentaje de retenido es de menor proporción debido a la alta plasticidad de la materia prima en comparación a las arcillas de otro tipo de formación, cabe resaltar que el residuo obtenido es en gran parte carbón mineral y los porcentajes de limos y arenas son muy bajos.

Según (Novaes, A. y Manfredini, T. (s.f)) afirma que “los valores más altos o más bajos de la densidad aparente en crudo, en función de los parámetros de proceso, pueden causar una

variación de la resistencia mecánica, pudiendo incluso llegar a producir defectos en la pieza cruda” (p.440). En el caso de ladrillos refractarios de arcilla, la resistencia no es generalmente una consideración importante, debido a que a menudo no se requiere que soporten cargas. Normalmente se controla la exactitud dimensional y la estabilidad del producto. (Ciencia de materiales. (2004) (p.9)). Lo anterior indica que en el material de estudio no influye en gran parte en la funcionalidad del producto puesto que lo que se pretende evaluar es el comportamiento de la arcilla en comparación de otros tipos de refractario, sin embargo cabe resaltar que la densidad es directamente proporcional a la variación de la resistencia mecánica de los productos refractarios.

4.2.2. Definición de la aptitud de la materia prima.

Fernández (2000) citado por Gelvez, Sánchez, Peña (2009, p.35) menciona que, los expertos en cerámica, afirman que, para tener un buen resultado en la etapa de extrusión se debe considerar dos factores, el primero se refiere a la maquinaria o equipo utilizado para el moldeo y el segundo hace referencia a la materia prima.

En un primer análisis por observación del material, se detalló que, el material en apariencia es de textura arcillosa, que tiene partículas finas de color grisáceo. La figura 8, muestra la ubicación en el triángulo de aptitudes de Winkler, del material, en este, se detalla una alta plasticidad, dado su porcentaje de 92,36% arcilla, Los suelos limosos pueden tornarse muy inestables cuando se mojan, mientras que la arcilla es un material de construcción muy estable. (Textura del suelo (s.f)). El porcentaje obtenido por el estudio es de un 4,76% de limo lo que indicó que el material es muy estable dada a su baja presencia de limos y su alta cantidad de arcillas. Es importante conocer que el tamaño de partícula para los Limos varía de 0,002 a 0,05mm; para las arcillas todas las partículas

son de menos de 0,002mm y para las arenas oscilan entre 0,05mm a 2mm, los porcentajes de arenas reflejados en las muestras 2.88% son notablemente bajos afirmando lo anteriormente mencionado.

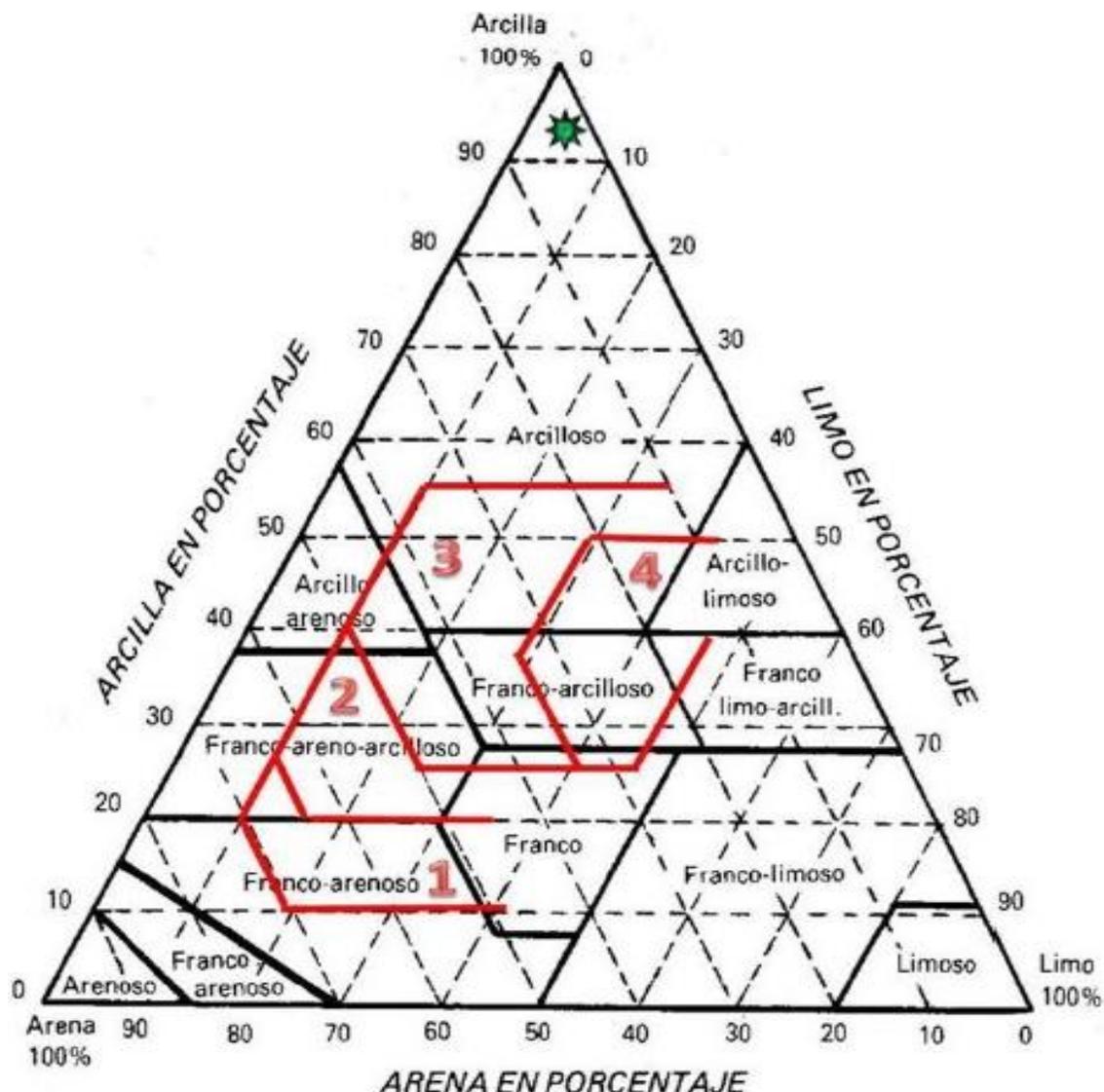


Figura 8. Aptitud cerámica de la arcilla.

Fuente. MintecCerámic.

4.3. Identificación de las características térmicas de la materia prima.

La gresificación es el proceso mediante el cual un material cerámico por medio de la temperatura es llevado a obtener un porcentaje de absorción de agua menor a 1%; la curva de gresificación permite determinar la temperatura de cocción y la temperatura en la que la porosidad abierta se anula al mismo tiempo que la contracción permanece constante utilizando

parámetros como la absorción de agua y la contracción cocida siendo esta la disminución, aumento o estabilidad de tamaño que sufre la pieza por la aplicación de calor durante el proceso de cocción usando como parámetro la longitud en seco, la longitud de cocido y las temperaturas en las cuales se desarrolla el proceso de cocción. (Escardino et al. (s.f) p.19).

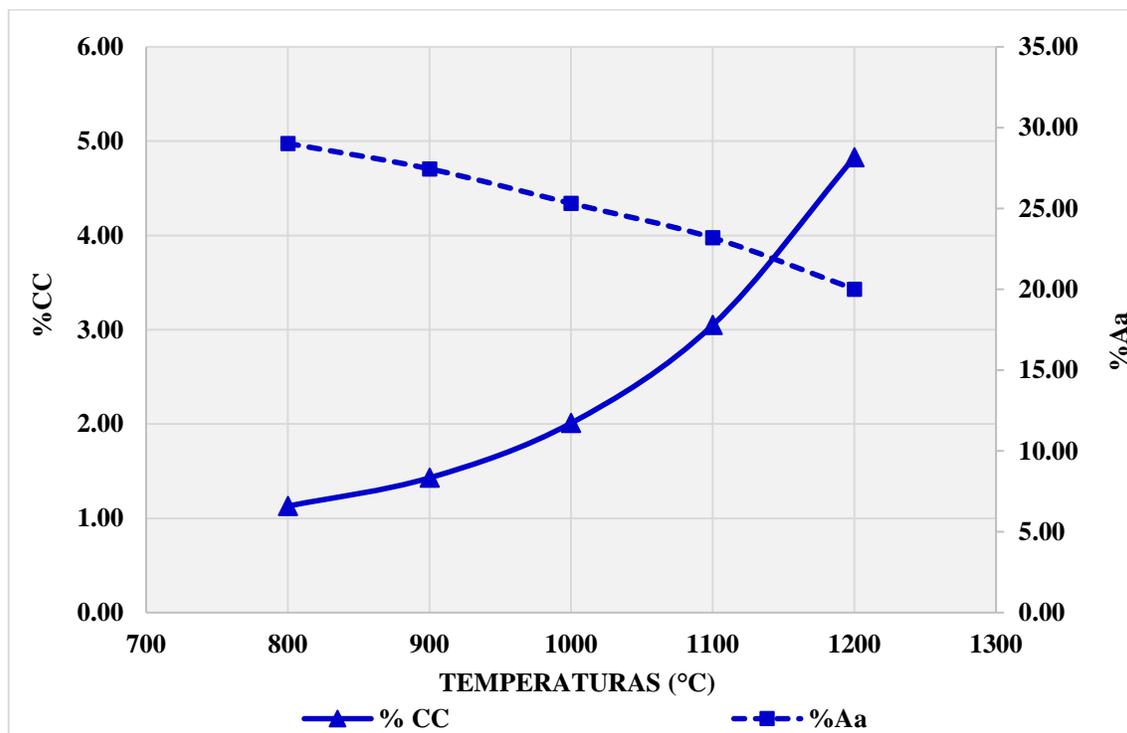


Figura 9. Curva de gresificación.

(Céspedes, N. (2014)) afirma que “Los estudios del comportamiento de las propiedades cerámicas en conjunto se obtienen a través de herramientas como las curvas de gresificación donde se reflejan los valores de contracción lineal y absorción de agua en función de la temperatura de cocción.” Lo anterior permite identificar las ventajas y desventajas del producto fabricado con la materia prima que se evalúa.

La curva de gresificación representada alcanza el valor mínimo de absorción de agua a 1200°C (20,01%) con una contracción lineal cercana al 4,83 %. La pendiente en la curva de absorción de agua disminuyó entre 1100°C y 1200°C, conociendo que el valor inicial de

absorción de agua a una temperatura de 800°C fue de (29,02%) con una contracción lineal de 1,13% se evidencia la reducción en el porcentaje de absorción de agua. Los resultados muestran que el porcentaje de contracción cocida tuvo un crecimiento exponencial con respecto a la temperatura, al mismo tiempo que el porcentaje de absorción de agua disminuye reflejando la intersección de ambas propiedades e indicando que el punto de gresificación se encuentra en 1100°C y 1200°C teniendo como datos la absorción de agua en 21,75% y la contracción cocida en 3,85%.

La contracción que experimenta el producto a las temperaturas de gresificación es debido a la disminución de la cantidad de agua inmersa en el material que se cuece, este es consecuencia del proceso de compactación lo que conlleva a la disminución de poros, entendiendo que el producto contiene alto porcentaje de arcilla y bajo porcentaje de limos y arenas; viéndose este reflejado en la etapa de conformado la cual requiere un mayor porcentaje de agua en comparación a otras arcillas comunes de la región. Así mismo si el producto se lleva a una nueva quema entre los rangos de 1100°C y 1200°C se puede obtener la temperatura exacta en la cual se encuentra el punto de gresificación.

4.4. Evaluación de las propiedades tecnológicas.

Una importante cantidad de materiales refractarios Silico-Alumínicos poseen mullita en su composición. Esta es una fase cristalina en el sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, la cual se caracteriza por tener buenas propiedades termo mecánicas, como altos módulos de ruptura, buena resistencia al choque térmico, resistencia a la abrasión, resistencia al ataque de metales fundidos y a cierto tipo de escorias, estabilidad química, entre otros. Estas características de la mullita, sumado a su elevado punto de fusión ($\geq 1.800\text{ }^\circ\text{C}$), hacen que sea un material de interés tecnológico y de gran aplicación en procesos industriales a elevadas temperaturas.

Teniendo en cuenta las propiedades tecnológicas arrojadas por los resultados de las muestras analizadas se hace un comparativo entre los ladrillos refractario SK 32, SK 34 y ladrillo aislante recto STD-IFB 23 de la empresa Suministros Ingeniería y Soluciones S.A conjuntamente con el ladrillo refractario aislante CTE y ladrillo refractario ERCLAY SM de la empresa Erecos frente a los ladrillos SARLAU 1100 °C, (15 especímenes de 12 cm × 7cm × 1cm), SARLAU 1200 °C (15 especímenes de 12 cm × 7cm × 1cm) y SARLAU L-1200 °C (15 especímenes de 23 cm × 10 cm × 6.5 cm), siendo estos el objeto de estudio de este proyecto.

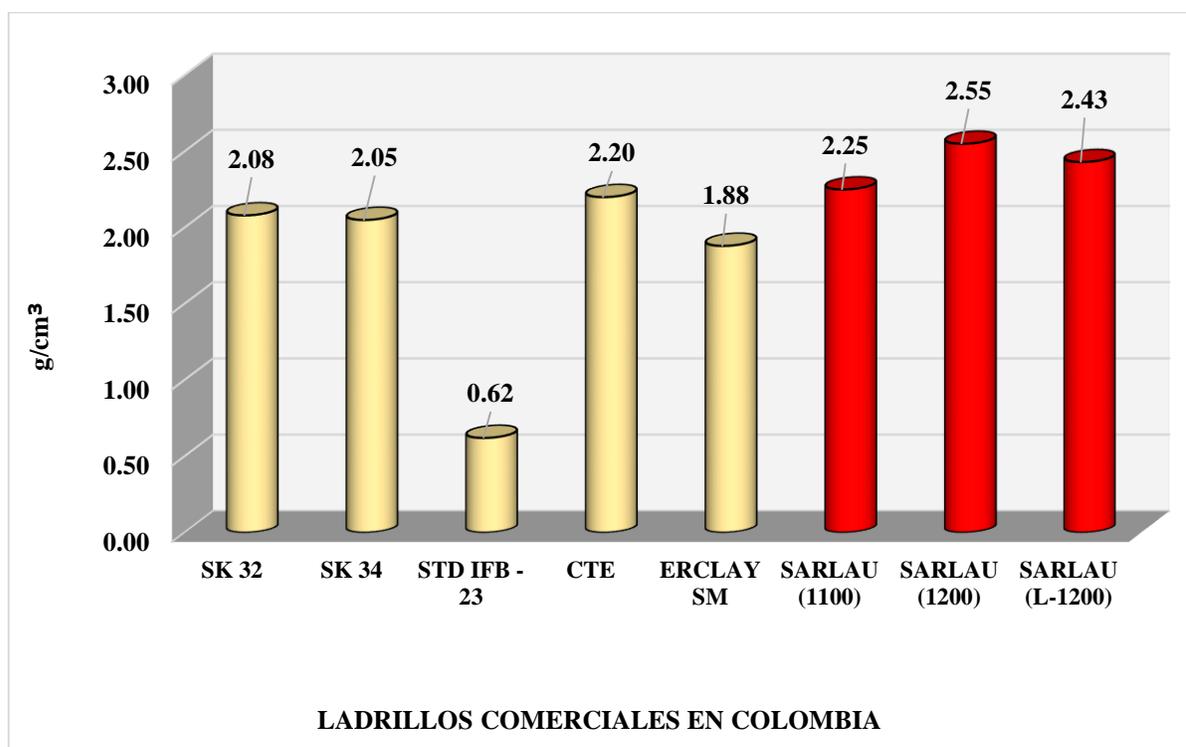


Figura 10. Densificación cocida.

La densidad cocida del ladrillo SARLAU que representa la arcilla utilizada de 2,25 g/cm³ a la temperatura de 1100 °C frente al ladrillo refractario aislante de la empresa Erecos con un valor de 2,20 g/cm³ a temperatura de 1605 °C señala una similitud en cuanto a su valores reconociendo que el ladrillo refractario CTE está elaborado con aditivos y compuestos añadidos a la pasta cerámica en desventaja del ladrillo refractario de estudio que es elaborado con la materia prima

pura sin adiciones, pone de manifiesto que los valores muestran una adecuada distribución entre partículas finas y gruesas trayendo como consecuencia positiva una buena resistencia mecánica en las piezas que se fabriquen con ella. (TCyE. 2018).

Braganca y Bergmann (2004) mencionan “que la densidad aparente en cocido es una propiedad que tiene una fuerte influencia sobre el módulo de ruptura; por lo que generalmente a mayor densidad aparente se presenta mayor módulo de ruptura” (p.288). Con lo cual se pudo afirmar que las piezas referentes a SARLAU a 1100 °C, SARLAU a 1200°C y SARLAU-L a 1200 °C, poseen mayores densidades con valores de 2,25 g/cm³, 2,55 g/cm³ y 2,43 g/cm³ respectivamente en comparación a los ladrillos refractario SK 32, SK 34 y ladrillo aislante recto STD-IFB 23, ladrillo refractario aislante CTE y ladrillo refractario ERCLAY SM, teniendo en cuenta que el mejor espécimen de estudio que evidencia mejores resultados dado a su fabricación a escala industrial es el SARLAU-L cocido a 1200 °C con densidad de 2,43 g/cm³ elevando el módulo de ruptura.

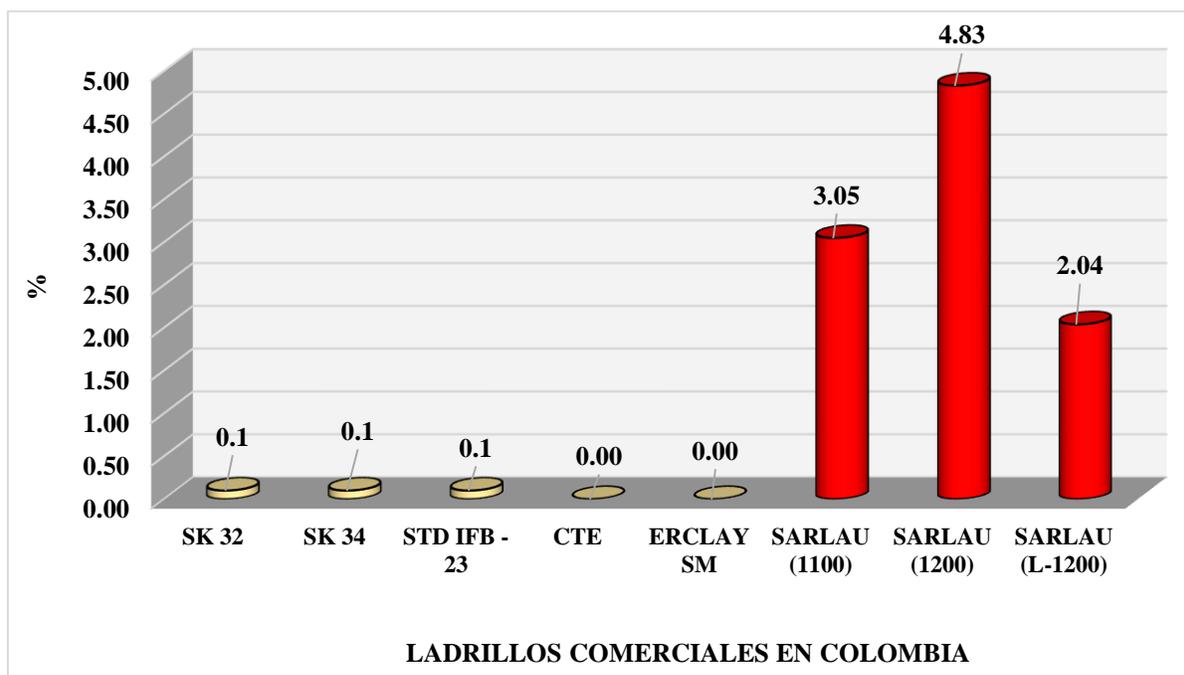


Figura 11. Contracción lineal cocida.

La contracción lineal determina el cambio volumétrico del material, los ladrillos fabricados con la arcilla de estudio, al momento de preparar la pasta cerámica requirieron mayor cantidad de agua la cual se pierde en su gran mayoría en el secado, haciendo que su contracción lineal aumente aún más en la cocción. La primera gran contracción, de gran velocidad, se inicia entre 950°C a 1.000°C, y se continuo hasta los 1.200°C, donde se produce la zona de estabilización de volumen o zona de disminución de la velocidad de contracción, que caracteriza la formación de cristobalita. (Rossini, A., Mennucci, L., y Figueras, R. 1970, p.527).

Entre 1.050°C y 1.200°C, continúa la contracción y comienzo de la compactación cerámica por sinterización del material, contracción que disminuye de velocidad o hasta puede anularse entre 1.200°C y 1.350°C, pasando este por un proceso de expansión debido al contenido de cuarzo presente en la arcilla y crecimiento de los cristales de mullita. Esta segunda fase dependerá del contenido de cuarzo, mullita y de la velocidad de crecimiento de sus cristales. Ambos procesos expansivos se oponen al de contracción por sinterización del material, con aumento del contenido de fase líquida dependiendo principalmente, de la refractariedad del material. (Rossini, A., Mennucci, L., y Figueras, R. 1970). La contracción en cocido es directamente proporcional a la temperatura es decir a mayor temperatura, mayor es la contracción del material, dando mejores resultados los ladrillos con menor contracción que fueron los ladrillos refractarios de la empresa Suministros Ingeniería y Soluciones S.A con valores de contracción cocida de 0.1 % y también el ladrillo refractario aislante CTE y ladrillo refractario ERCLAY SM de la empresa Erecos estos últimos con valores de contracción cocida en 0%.

Cuando el límite de contracción es superior al 1% puede presentar problemas de expansión y contracción significativas, fisuras y agrietamientos, marcando una desventaja que se debe tratar de minimizar debido a que la contracción debe ser menor y es un indicativo importante para la

elaboración de ladrillos pues a mayor temperatura debe tener mejor comportamiento dentro del horno, sin embargo validando los límites de contracción lineal de los ladrillos SARLAU frente a los productos de las empresas nacionales; los porcentajes del material de estudio son más elevados que el resultado de los productos en comparación, generando poco impacto para el tipo de utilización a la cual se enfoca el material pues no requiere específicamente un valor único de contracción dado a que el material se dirige a la fabricación de productos para revestimientos de hornos teniendo en cuenta que es resistente a las temperaturas de cocción superior a las aplicadas en los productos de mampostería con arcillas comunes de la región.

Para mitigar la desventaja que presenta el material frente a los productos refractarios nacionales con los cuales se hace el paralelo se puede considerar que “la presencia de CaO y MaO ayudan a tener un control de contracción, a través de la formación de silicatos de calcio y magnesio”. (Valero, 2019, p.5).

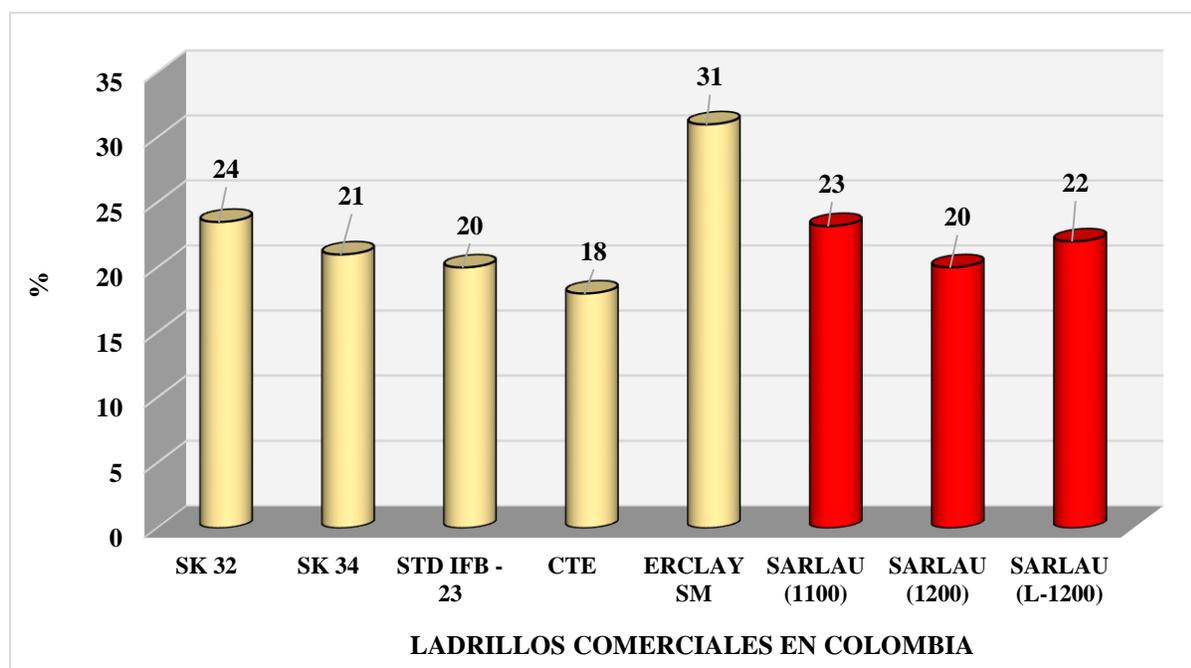


Figura 12. Porosidad.

En la figura 12 se hizo una comparación entre los porcentajes de porosidad del material de estudio frente a los productos refractarios de las empresas mencionadas anteriormente en las propiedades tecnológicas, donde los valores del ladrillo SARLAU tiene condiciones similares a los productos de comparación siendo el porcentaje de porosidad para la temperatura de 1100 °C un 23% y para la temperatura de 1200°C entre 20% y 22 % según el espesor del producto afirmando que el material podría tener un comportamiento refractario.

El estudio de porosidad indicó la cantidad en porcentaje de los espacios vacíos que contiene el material; esta propiedad depende mucho de la proporción de grano que tenga la arcilla. Si el tamaño de grano es grande la porosidad será mayor, por el contrario si el tamaño de grano es pequeño evitara que se retengan grandes cantidades de agua entre ellas; al momento de cocción de la pieza disminuyen los espacios entre partículas originadas por la evaporación del agua (Barranzuela, 2014). Facilitando el paso de fluidos y gases. Según Askeland (1998) citado por Cruz D. Menciona que en un material cerámico los poros pueden estar interconectados o bien cerrados. La porosidad aparente mide los poros interconectados y determina la permeabilidad, es decir, la facilidad con la cual pasan gases y otros fluidos a través del componente cerámico. (Cruz D, 2016, p.38).

Cuando hablamos de porosidad de un material se puede afirmar que, a mayor número de poros su densidad es menor lo cual indica que su conductividad térmica es menor, esta cualidad se puede expresar por los agujeros en el material que son llenados con aire, por lo tanto, al combinarse con un material que tiene una tolerancia resistente a la temperatura se convierte este en un material refractario.

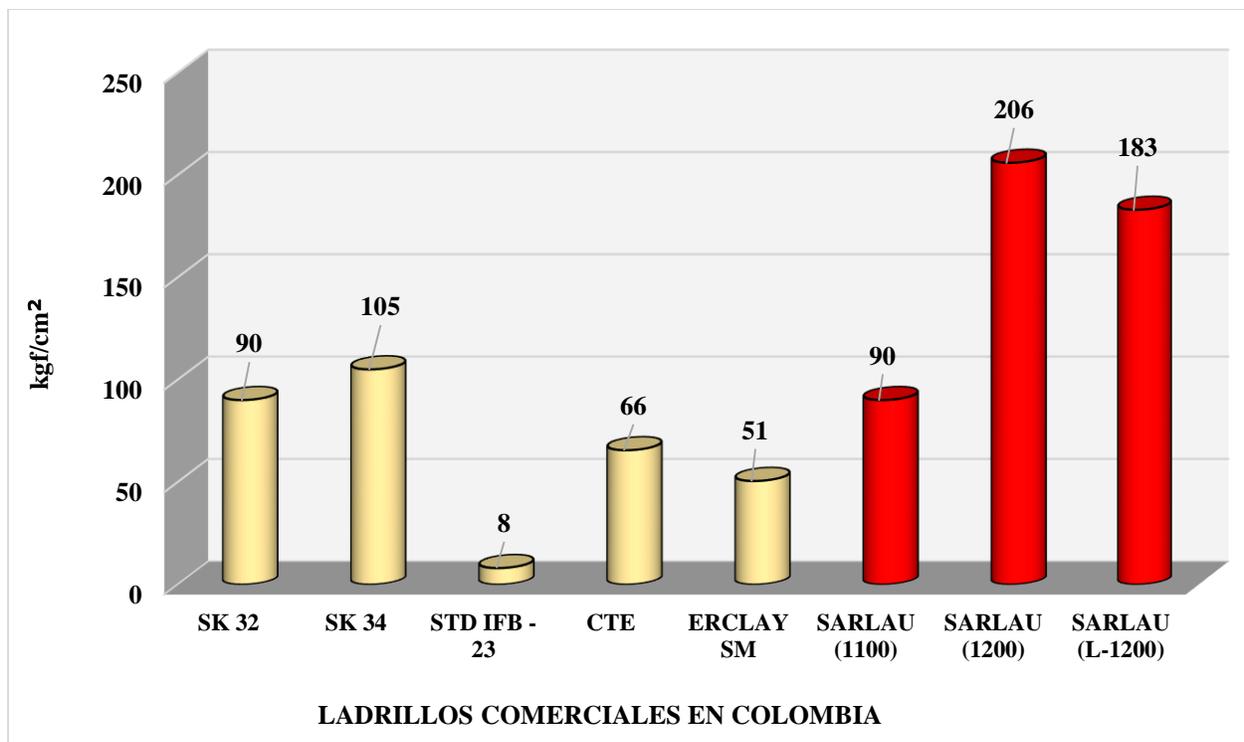


Figura 13. Módulo de ruptura en frío (Flexión).

Según Romero, Irias, Sánchez, Rummel afirman que “el módulo de ruptura en frío (Modulus of Rupture, MOR) es otra medida de la resistencia del material, solo que esta es aplicada transversalmente para medir su resistencia a la flexión.” (2016. p. 21), siendo una variable importante en la caracterización de los materiales refractarios de igual forma proporciona el control en el desarrollo de revestimientos de hornos. Si bien a partir del módulo de rotura (MOR) en frío de un material refractario no se puede prever su comportamiento a las temperaturas de trabajo, su determinación permite el paralelo entre varios materiales con fines de selección y el estudio, a nivel fundamental, de mecanismos de fractura. (Gómez A, Cavalieri A y Tomba A. 2002).

En este trabajo se determinó el módulo de ruptura de los especímenes fabricados con el material estudiado cuyos resultados se aprecian en la figura 13, en esta se observan de 90 kgf/cm², 206 kgf/cm² en los especímenes SARLAU 1100°C, SARLAU 1200°C

respectivamente, y 183 kgf/cm² en el espécimen SARLAU L-1200°C; si comparamos estos resultados con respecto a los ladrillos refractarios y refractario aislante de las empresas nacionales que se tomaron como referencia para el ensayo de ruptura en frío teniendo en cuenta la norma NTC 682 - ASTM C 133 “método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en frío y el módulo de ruptura de refractarios”, se refleja claramente un notable incremento en el valor de módulo de ruptura de los ladrillos SARLAU a sus diferentes temperaturas siendo este mayor a los datos que presentan los productos nacionales reflejando la alta resistencia a mayores tensiones sin ser fracturados.

Teniendo en cuenta la anterior mención se determina que los productos SARLAU cuentan con un mayor módulo de ruptura en frío, haciendo de este un producto de mejor calidad y menor costo para el revestimiento de hornos de las empresas de la región.

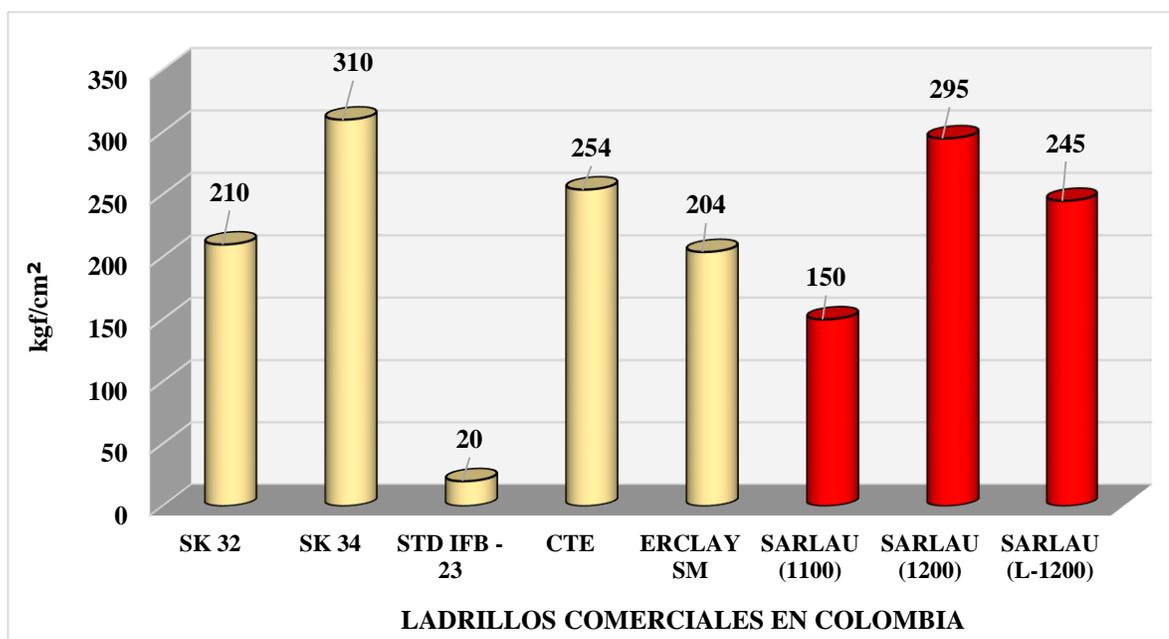


Figura 14. Resistencia a la compresión en frío.

La resistencia a compresión en frío de un material refractario, proporciona un indicativo de la idoneidad del mismo para un uso específico. Esta propiedad sin embargo, no se puede para predecir el comportamiento del material refractario al momento de la utilización (López, J.,

2021, p.117). A su vez la compresión es una característica que presenta el material que está en estrecha relación con la compacidad, grado de vitrificación interna, granulometría y porosidad.

El estudio realizado determinó los valores correspondientes a los productos fabricados con la materia prima de investigación los cuales fueron SARLAU 1100°C con 150 Kgf/cm² SARLAU 1200°C con 295 Kgf/cm² y SARLAU-L 1200°C con 245 Kgf/cm², partiendo de estos resultados se hace una comparación con los ladrillos refractarios nacionales, identificando dentro de la gráfica tres picos de referencia importantes que manifestó la resistencia a la compresión en frío; el ladrillo SK 34 con 310 Kgf/cm² contiene el mayor valor de contracción de este tipo de materiales siendo el más idóneo para la fabricación de ladrillos refractarios, a su vez el ladrillo CTE contiene 254 Kgf/cm² siendo el segundo producto nacional con mejor resistencia, sin embargo el ladrillo SARLAU a temperatura de 1200°C posee una ventaja significativa en comparación con los productos ya mencionados pues al obtener valores similares en un rango de temperatura menor disminuye el costo de fabricación convirtiéndolo en un producto competitivo frente al valor de producción de ladrillos refractarios.

Conclusiones

Una vez obtenidos los resultados de los estudios mineralógicos y químicos se identificó que la arcilla analizada presenta un porcentaje de cuarzo de 51.8% definiéndola como un material de alta dureza influyendo directamente en la etapa de molturación, de igual forma los resultados obtenidos en el análisis de (DRX) reflejan cada uno de los minerales que integran la materia prima de estudio; componentes que debido a su concentración favorecen el comportamiento refractario que el material ofrece.

Tras el análisis de fluorescencias de rayos x (FRX) se identificó cada uno de los compuestos presentes en la materia prima donde resalta el 68.48% de sílice junto con el 17.14% de alúmina clasificando la arcilla como un material refractario silicoaluminoso resistente a altas temperaturas con buenas propiedades mecánicas.

Dentro de las características físicas del material se determina que una gran parte de los productos extruidos se contraen en el proceso de secado esto debido a las propiedades que presenta como lo es la disminución de la densidad, la alta porosidad y su grado de compactación; haciendo de este un material ideal para la fabricación de ladrillos extruidos con propiedades de naturaleza refractaria.

Tal como se comprobó en las propiedades físicas de la materia en crudo, haciendo uso de las mallas 230 y 325 identificando esta última como la más ideal para el lavado de arcillas blancas o de tipo refractario, el porcentaje de retenido es menor en comparación con arcillas de la región debido a la gran plasticidad que ofrece la materia prima valor que puede comprobarse dentro del ensayo del triángulo de winkler el cual nos muestra un 92,36% de arcilla afirmando su alta plasticidad determinando así que requiere mayores cantidades de agua en su etapa de conformado.

Dentro del estudio realizado para comprobar las características térmicas del material se identifica su resistencia a altas temperaturas sin que este pase por su límite de deformación plástica, a su vez se demuestra que el punto de gresificación se encuentra entre las temperaturas de 1100°C y 1200°C aumentando la contracción cocida y disminuyendo el porcentaje de absorción de agua.

Como se demuestra en el ensayo de contracción lineal el material pasa por un aumento de temperatura proceso en el que se presenta disminución de volumen del producto, debido a la cantidad de agua cristalográfica que se pierde en la cocción haciendo que disminuyan la porosidad abierta del material, superando los porcentajes de los productos nacionales en comparación sin que llegue afectar su funcionalidad ya que el producto va direccionado al revestimiento de hornos.

Al analizar la representación de la porosidad del material de estudio, en comparación con los productos nacionales se demostró que los valores obtenidos son similares, sin embargo los productos SARLAU poseen la ventaja de tener porosidades semejantes a las comparadas a menores temperaturas lo que disminuye el costo de producción convirtiéndose en una característica competente a la hora de ser comercializado.

Con respecto a las propiedades mecánicas del material, los valores arrojados por el módulo de rotura de los ladrillos SARLAU poseen mejor resistencia a la flexión indicando que resiste mayores tensiones haciendo de este un producto de buena calidad, de igual forma su resistencia a la compresión presenta semejanzas a los ladrillos nacionales sin embargo no es necesario que resista altas cargas ya que no se utilizara para la fabricación de productos estructurales.

Finalmente con esta investigación se puede afirmar que el material de estudio luego de haberse aplicado los ensayos correspondientes posee características que lo clasifican como un

material para la fabricación de productos refractarios que brindan una mejor alternativa para las empresas de la región pues implica un menor costo con relación a los productos nacionales fabricados para la construcción y mantenimiento de hornos.

Recomendaciones

Para aprovechar al máximo la materia prima de estudio se sugiere realizar análisis a mayores temperaturas superando las ya empleadas en la investigación para conocer el comportamiento óptimo del material y su punto exacto de gresificación incluyendo quemas en otros tipos de hornos para estandarizar los parámetros de cocción.

Como se observó en las propiedades tecnológicas el material a medida que se eleva la temperatura tiende a elevar su contracción lineal, propiedad que se puede controlar con la formación de silicatos aumentando el porcentaje de MgO y CaO, en caso tal que se requiera utilizar la materia prima para la fabricación de otros tipos de producto.

Se recomienda generar la posibilidad de incrementar las zonas de investigación donde se incentive a nuevos estudiantes a utilizar herramientas más avanzadas que permitan ampliar los análisis de la materia prima con el fin de conocer el alcance que puede presentar las arcillas de tipo refractario entendiendo que esta proyecto abre el campo de investigación a una nueva alternativa de posicionamiento en el mercado dejando en alto la capacidad de producción que posee la región.

Bibliografías

- África pegmatita. (2020). Propiedades clave de los materiales refractarios: comprensión de la conductividad térmica, la resistencia a la compresión y la porosidad. Mineral milling. Recuperado de (<https://mineralmilling.com/es/propiedades-clave-de-los-materiales-refractarios-compresion-de-la-conductividad-termica-la-resistencia-a-la-compresion-y-la-porosidad/>)
- Arcillas Competitivas Norte de Santander (2013). Líneas de acción. Recuperado de https://redclustercolombia.com/assets/recursos/iniciativas/pdfs/Arcillas-competitivas_1.pdf
- Arcillas Competitivas Norte de Santander (2013). Líneas de acción entregable 2. Recuperado de https://redclustercolombia.com/assets/recursos/iniciativas/pdfs/Arcillas-competitivas_2.pdf
- Flórez A, Sánchez J y Blanco D. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. (Revista EIA, ISSN 1794-1237. Volumen 15. Edición N.30. pp. 133-137-150 Publicación semestral de carácter técnico-científico. Universidad EIA, Envigado, Colombia). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v15n30/2463-0950-eia-15-30-133.pdf>
- Gonzales M. (2016). Exposición laboral a sílice libre cristalina. Instituto de salud pública ministerio de salud. Santiago, Chile. Recuperado de <https://multimedia.3m.com/mws/media/1571655O/nota-tecnica-exposicion-laboral-a-silice-libre-cristalina.pdf>
- Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. (2011). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea Sector de la fabricación cerámica. Madrid, España. Recuperado de <file:///C:/Users/Laura%20P/Desktop/LIBROS/Mejores%20T%C3%A9cnicas%20Disponibles%20de%20referencia%20europea%20LIBRO.pdf>
- Norma técnica colombiana NTC. (2020). Método para el muestreo, preparación de la muestra, empaque y rotulado de productos de cal y caliza. NTC 5085:2020. Icontec. Bogotá, Colombia.
- Norma técnica colombiana NTC. (2019). Práctica para la toma de muestras de agregados. NTC 129:2019. Icontec. Bogotá, Colombia.

Norma técnica colombiana NTC. (2013) Suelos métodos de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas con base en la masa. NTC 1495:2013 Icontec. Bogotá, Colombia.

Sánchez C. (1966). La mullita y su identificación en es cerámicos. Instituto de Cerámica y Vidrio. Madrid. España. Recuperado de <http://boletines.secv.es/upload/196605079.pdf>

Referencias

- Acevedo O, Ortiz E, Cruz M y Cruz E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos Terra Latinoamericana, vol. 22, núm. 4, pp. 485-497 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311096013>
- Afanador, N. Ibarra, A. López, C. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. Artículo 6 Volumen 1 p.107 recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1178&context=ep>
- Alarcon, J., (s.f). Química de materiales cerámicos tema 10 refractarios. (p. 13-14). Recuperado de <https://www.uv.es/uimcv/Castellano/ModuloMatCeramicos/Unidad%2010%20.pdf>
- Amaro C. (2004). *Desarrollo de refractarios AZS (alumina-zirconía-silice) utilizando bauxita y zirconio como materias primas*. (Tesis en opción al grado de maestro en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad de materiales universidad autónoma de Nuevo León. México). Recuperado de <file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/1020150226.PDF>
- American Society of Testing Materials (ASTM) (2013). C 113, C133, C179, C181 y C673. West Conshohocken (Estados Unidos) Autor ASTM International
- Barranzuela J. (2014) PROCESO PRODUCTIVO DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA PRODUCIDOS EN LA REGIÓN PIURA. (Universidad de Piura). Perú. Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf
- Bartolomé J. (1997) El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín de la sociedad española de Cerámica y Vidrio, 36 (1), 7-19. Recuperado de <http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf>
- Braganca, S.R.; Bergmann, C.P., 2004. Traditional and glass powder porcelain: technical and microstructure analysis. Journal of the European Ceramic Society, 24(8) 2383–2388. <http://boletines.secv.es/upload/20140102132108.201352283.pdf>

Céspedes, N. (2014). *Valoración de minerales arcillosos del departamento de bollaca Colombia para la producción de materiales cerámicos* (Trabajo de titulación doctorado en química. Universidad Jaime Castellón España). Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/326039678.pdf>

Ciencia de materiales. (2004) compuestos cerámicos. Recuperado de http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Tema6_CM.pdf

Condori O y Kuong G. (2015). *Evaluación de la resistencia a la abrasión y erosión de un material geopolimérico a base de caolín, con posible aplicación como revestimiento interno en tuberías metálicas*. (Tesis presentada para la optar el título profesional de ingeniería de materiales. Universidad nacional de san Agustín. Arequipa, Perú). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/195/B2-M-18322.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Constitución política de Colombia (1991). Artículos 30, 31, 32, 79, 80, 155 y 157. Bogotá Colombia. Asamblea constituyente

Cuichán, A. Y Llano, M. (2013). *Diseño y elaboración de un ladrillo refractario (22x11x16cm) empleando materias primas nacionales, utilizados en la construcción, mantenimiento y reparaciones de hornos de crisol y cubilote*. (Trabajo de titulación. Ingeniería mecánica. Universidad de las fuerzas armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador). Recuperado de <file:///C:/Users/usuario/Downloads/T-ESPE-047510.pdf>

Cruz, D. (2016). *Diseño de un compuesto formado por un desecho agroindustrial y una arcilla natural como alternativa de uso en la elaboración de piezas cerámicas*. (Universidad Tecnológica de Mixteca). México. Recuperado de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/13015.pdf

Dilatación térmica, (s.f). En Wikipedia recuperado el 7 de octubre del 2020 de https://es.wikipedia.org/wiki/Dilataci%C3%B3n_t%C3%A9rmica

Daniel, S. y Behar, R. (2008). *Metodología de la investigación*. Recuperado de <http://www.rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf?ecjecjmopphdbimo>

Feijoo P y Padrón J. (2020). *La resistividad de rocas y su relación con la resistencia a compresión simple en mina*. (Universidad ciencia y tecnología vol. 24, No. 99, (pp.61-

- 67)). Recuperado de <https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/296/526>
- Feijoo P y Román M. (2019). Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas: un diagnóstico de campo. *Universidad de ciencia y tecnología* (vol. 23, No.91. pp.12-17). Recuperado de <https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/112/109>
- Ferrandis V. (noviembre 1961). Refractarios para la industria del vidrio. *Ciencia y técnica* (Conferencia pronunciada en la II Reunión Técnica de la Sección de Refractarios, celebrada en Barcelona). Recuperado de <http://boletines.secv.es/upload/196201255.pdf>
- Fernández, J. (1993). *Evolución de la mineralogía de arcillas en el tránsito diagénesis-metamorfismo de bajo grado en el grupo urbion (cretácico inferior) de la cuenca de los cameros (Soria-la rioja)*. (Tesis doctoral) recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/19707717.pdf>
- Flores, A, Molina, J, y Meneses, D. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica, Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC), Universidad Francisco de Paula Santander. San José de Cúcuta, Colombia. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372018000200133#B67
- Fustamante C, (2018). *Efectos de la ubicación de puentes de adherencia en resistencia a la flexión de vigas simplemente armadas vaciadas en dos etapas*. (Tesis para optar por el título de ingeniero civil, universidad nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú). Recuperado de <file:///C:/Users/User/Downloads/TESIS.pdf>
- Galán E y Aparicio P. (sin fecha). Materias primas para la industria cerámica. (Revista seminario pp.31-48). Recuperado de http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf
- Galán E y Aparicio P. (sin fecha). Materias primas para la industria cerámica. (Tabla). Recuperado de http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf

- Gómez A, Cavalieri A y Tomba A. (2002). Determinación del módulo de rotura de mezclas refractarias de gunitado. Universidad Nacional de Mar de Plata, Argentina. Mar del Plata. (p. 1). Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14602632/determinacion-del-modulo-de-rotura-de-mezclas-refractarias-sam>
- Guillem C, y Guillem M. (1988). Materias primas cerámicas. Yacimientos de arcillas y caolines. BOL.SOC.ESP.CERAM. VIDR, (pp. 201-206). Recuperado de <http://boletines.secv.es/upload/198827201.pdf>
- Instituto geológico minero de España. (2016) panorama minero histórico. Madrid, España. Recuperado de https://www.igme.es/PanoramaMinero/PANORAMA_MINERO_2016.pdf
- Instituto de promoción cerámica (sin fecha). Resistencia a la abrasión superficial. Castellón, España. Recuperado de file:///C:/Users/User/Downloads/4-4-1-D%20DOC09_vPDF.pdf
- Leal J. (2018). *Determinación de conductividad térmica efectiva en cerámicas porosas con caolines y diatomeas de Boyacá*. (Trabajo de grado para optar al título de Magister en Metalurgia y Ciencia de los Materiales. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia). Recuperado de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3087/1/TGT_1673.pdf
- Linares J, Huertas F, y Capel J. (s.f). Las arcillas como material cerámico. Características y comportamientos. Departamento de Prehistoria. (Universidad de Granada. Fisicoquímica y Geoquímica mineral. Estación Experimental del Zaidín. (C.S.LC)). Recuperado de file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/1224-1974-1-PB%20conceptos%20basicos.pdf
- Lizarazo J y Gómez J. (2007). Desarrollo de un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión y la resistencia eléctrica del concreto. Revista ingeniería e investigación (vol. 27 No. 1 pp.11-18). Recuperado de file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/investigacion/resistencia%20a%20la%20compresion.pdf
- Lopez J. (2021). *Estudio de la escoria de alto horno como materia prima alterna para el desarrollo de un concreto refractario sílico-aluminoso denso de bajo impacto ambiental*. Tesis doctoral para obtener el título de doctor en ingeniería de materiales. Universidad autónoma de nuevo león facultad de ingeniería mecánica y eléctrica. San Nicolás de los

- garza, Nuevo León, México. Recuperado de:
<http://eprints.uanl.mx/21001/1/1080314505.pdf>
- López w. (2016). *Diseño de concreto refractario utilizando residuos de ladrillos de barro cocido*. (Trabajo de grado. Universidad de san Carlos facultad de ingenierías ingeniería civil Guatemala. Guatemala). Recuperado de
<file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/tios%20de%20refractarios.pdf>
- López R, Morales J, Diaz A y Lizardi A. (2000). Equipo para evaluar en forma experimental el coeficiente de conductividad térmica de los materiales de construcción. *Revista mexicana de física* 47 (2) 148-152. Recuperado de <https://www.biblioteca.org.ar/libros/89996.pdf>
- Martínez D. (1995). *Fabricación y control de calidad de productos refractarios*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero metalurgista. Universidad nacional de ingenierías facultad de ingeniería geológica minera metalúrgica. Lima, Perú). Recuperado de
[file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/tesis%20\(conceptos\)%20fabricacion%20y%20calidad%20de%20refractarios%20\(%20pagina%2042%20en%20adelante\).pdf](file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/tesis%20(conceptos)%20fabricacion%20y%20calidad%20de%20refractarios%20(%20pagina%2042%20en%20adelante).pdf)
- Melgarejo j, proenza j, gali s, y llovet x. (2009). Tecnicas de caracterización minera y su aplicaciones en exploración y explotación minera. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*. (p.62).recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1991/1/CD-2835.pdf>
- Mennucci, L. Rossini, A. y Figueras, R. (1970). *Dilatometría de arcillas refractarias argentina*. (Laboratorio de ensayo de materiales e investigación tecnológicos del ministerio de obras públicas, La Plata. Argentina.) Recuperado de
<file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/197009507.pdf>
- Mennucci, L. Rossini, A. y Figueras, R. (sin fecha). Estudio de algunas variables en la densificación de arcillas refractarias nacionales. Argentina. (Serie II, No. 163). Recuperado de file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/11746_1071_1.pdf
- Mennucci, L. y Rossini, A. (1972) características químicas y físicas de arcillas refractarias argentinas. (Serie II, No. 284). Recuperado de
<file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/Caracter%20C3%ADsticas%20qu%20C3%ADmicas%20y%20f%20C3%ADsicas%20de%20arcillas%20refractarias%20argentinas.pdf>

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2008). Resolución número 909.
República de Colombia

Mocciaro A, Lombardi M y Scian A. (2017). Desarrollo de materiales cerámicos refractarios de baja densidad a partir de agentes ligantes nanoestructurados y carbón. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio. Vol. 56, Issue 6, (p.243-248). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0366317517300602>

Narváez C. (2003). Efectos del choque térmico de arazá sobre la tolerancia al frío. Revista colombiana de química, (volumen 32, No.2). recuperado de <file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/choque%20termico.pdf>

Norma técnica colombiana (NTC) (2018). 676, 682, 706, 773 y 1107. Colombia autor

Novaes, A, y Manfredini, T. (s.f). Un modelo para predecir la resistencia en una pieza cerámica en crudo. Departamento de química, facultad de ingenierías, universidad de Módena. Castello España. Recuperado de <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9623031s.pdf>

Organización internacional de normalización (1996). Baldosas cerámicas - Determinación de la resistencia a la abrasión superficial de las baldosas esmaltadas. (Norma ISO 10545-7). AENOR: España.

Organización internacional de normalización (2014). Determinación de la resistencia a la flexión y de la fuerza de rotura. (Norma ISO 10545). AENOR: España.

Pérez, G. y Vargas, Y. (2009). *Desarrollo de cerámicos refractarios sílico-aluminosos a partir de arcillas caoliníticas de Barichara (Santander)*. (Trabajo de titulación. Ingeniería metalúrgica. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.). Recuperado de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/25009/1/129588.pdf>

Pérez, G. Vargas, Y. Córdoba, E. (2010). Beneficios de una arcilla caolinítica de la región de Barichara Santander para la fabricación de refractarios. Dyna. (vol. 77, No. 164.) (pp. 29-38). Recuperado de [file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/BENEFICIO%20DE%20UNA%20ARCILLA%20CAOLIN%C3%8DTICA%20DE%20LA%20REGI%C3%93N%20DE%20BARICHARA%20\(SANTANDER\).pdf](file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/BENEFICIO%20DE%20UNA%20ARCILLA%20CAOLIN%C3%8DTICA%20DE%20LA%20REGI%C3%93N%20DE%20BARICHARA%20(SANTANDER).pdf)

- Pons, J. Pérez, O. Ramírez, B. y Ramírez, M. (1997). Características de las arcillas refractarias de la zona de cayo Guam y su empleo en la fundición. *Revista minería y geología*. (vol. XIV, No. 3). (pp.19-23). Recuperado de <file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/Caracterizacion%20de%20las%20arcillas%20Refractarias.pdf>
- Peñaloza, L. Tolosa, J. (2013). *Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios en el área metropolitana de Cúcuta*. (Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Industrial. universidad Francisco de paula Santander Cúcuta, Colombia). Recuperado de <http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/1190324.pdf>
- Pineda, P. (2014). *Desarrollo técnico-comercial del sector del ladrillo refractario en Colombia durante los últimos 30 años*. (Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero mecánico. Universidad pontificia bolivariana facultad de ingenierías Medellín Colombia recuperado de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1959/Trabajo%20de%20Grado%20Juan%20Diego%20Pineda.pdf?sequence=1>
- Rendtorff N, Garrido L y Aglietti E. (2007). Choque térmico de materiales refractarios: comportamiento, evolución y ensayo. *Cerámica y cristal* 139. Recuperado de <file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/choque%20termico%201.pdf>
- Restrepo E. (2019). *Estudio termomecánico de refractarios avanzados fabricados utilizando residuos industriales*. (Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ingeniería de Materiales. Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Materiales, Antioquia, Colombia), recuperado de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/14681/3/RestrepoEdward_2019_EstudioRefractariosResiduos.pdf
- Rivera D, Restrepo R, Paucar C, y García C. (2007). Disminución de la temperatura en la síntesis de un material cerámico altamente refractario (mullita) a partir de hidroxihidrogeles. (*DYNA*, Vol. 74, Núm. 153). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/937/11636>
- Rodríguez L y Torrecillas R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, (41 [5] 459-470). Recuperado de

file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/arcillas%20articulo%20tipos,%20significados%20y%20clasificacion%20de%20arcilla.pdf

Romero K, Irias C, Sanchez C, Rummel G. (2016). *Análisis de esfuerzo máximo de compresión y flexión de tres tipos de cementos refractarios utilizados en calderas*. (Revista de la escuela de física UNAH vol IV, No 1) (p. 21)

Rossini A, Mennucci L y Figueras R. (sin fecha). Estudio de algunas variables en la densificación de arcillas refractarias nacionales. (Serie II, nº2 163) Recuperado de file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/11746_1071_1.pdf

Rossini A, Mennucci L y Figueras R. (1970). Dilatometría de arcillas refractarias argentinas. Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas del Ministerio de Obras Públicas, La Plata. Argentina. Recuperado de <http://boletines.secv.es/upload/197009507.pdf>

Sánchez, J. Orozco, J. y Peñaloza, L. (2014). Evolución de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en norte de Santander. (Invest. Univ. Quindío. Col.), 26(1), 59-66. Recuperado de file:///C:/Users/User/Desktop/tesis%20lau/document.pdf

TCyE. (2018). *Comportamientos de ecoladrillos con inclusión de biomásas residuales*. (p.67) Recuperado de <https://www.tecnologia-cienciaeducacion.com/index.php/TCE/article/view/223>

Universidad francisco de paula Santander (2010). Inaugura nuevo laboratorio de Formación Cerámica. (Revista Siente la U, Volumen. 13, p. 5-6).

Universidad Francisco de Paula Santander. (1997). Estatuto Estudiantil. Consejo Superior Universitario expide el Estatuto Estudiantil de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Valero M. (2019). *Desarrollo de una pasta Gres porcelánico de color blanco*. Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza (EINA) universidad de Zaragoza. España. Recuperado de: <https://zagan.unizar.es/record/96623/files/TAZ-TFG-2020-1761.pdf>

Vásquez M, (2015). *Estudio de los efectos de la dilatación térmica en tuberías mediante simulación numérica*. (Tesis para optar al título de ingeniero mecánico. Pontificia universidad católica del Perú, Lima. Perú). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6159>

Zea N. (2005). *Características de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*. (Facultad de ingenierías. Ingeniería civil. Universidad de San Carlos Guatemala. Guatemala) recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf

Anexos.



Ficha técnica

Ladrillo Aislante Recto STD

IFB-23

Código: SF-051 (522)

Versión: 2

Revisión:01/08/2018



Ventajas de usar arreglos con ladrillo aislante (IFB)

- Al ser altamente resistentes al flujo de calor, los IFB, dan una ventaja extra a la tradicional función refractaria.
- Son ligeros y almacenan mucho menos calor. Su ligereza, hace más rápida su instalación y apilado. Además, la estructura de soporte requerida, ya sea de acero o cimentación pueden ser más ligera y por tanto más económicas. El peso puede ser reducido en un 80% comparado con los ladrillos densos refractarios.
- Tienen la mayor resistencia a la compresión de todos los refractarios aislantes. Son estructuralmente estables a altas temperaturas. IFB son dimensionalmente compatibles con IFB Densos agregando firmeza a la construcción.
- Al ser maquinados para darles su acabado, tienen tolerancias más precisas que los ladrillos densos de arcilla cocida. Esto se traduce en construcciones más compactas con menos pérdida de calor a través de las uniones y una instalación más rápida.
- Fácil de maquinarse a la medida.

Descripción:

Ladrillos aislantes, pueden trabajar como cara de trabajo o como respaldo de concretos refractarios. Están fabricados de los materiales de alta pureza y tienen un rango de operación que va de 2,300 °F a 3,000 °F. Formato estándar 9x4.5x2.5

Baja conductividad térmica, no retienen calor, alta resistencia a la compresión en frío, dimensionamiento preciso, contenido de CaO extremadamente bajo para atmósferas ricas en sulfuros y cloruros de hidrógeno, resistencia al CO buena, resistencia al choque térmico, baja retención de calor, resistencia a la deformación por altas temperaturas

Propiedades:

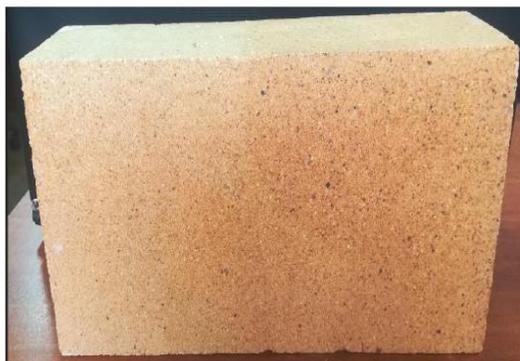
Ladrillo aislante 23 Recomendado para cara de trabajo o respaldo en hornos.

- Densidad 0.62 g/cm³ (39lb/ft³)
- Módulo de ruptura 0.80 Mpa (120 lb/in²)
- Ruptura en frío 1.9 Mpa (270 lb/in²)
- Temperatura 1260 C (2300 F)

SiO ₂	44.8%
Al ₂ O ₃	51.0%
Fe ₂ O ₃	0.90%
TiO ₂	1.5%
MgO	0.4%
Na ₂ O	0.1%
K ₂ O	0.90%

Anexo 1. Ladrillo aislante recto STD IFB-23

Fuente: www.sissa.com.co



Usos:

Son utilizados para revestir parrillas, calderas, ollas de aceración, hornos rotatorios de cementeras, etc., los cuales deben de estar pegados con tierra refractaria, estos se pueden adherir con firmeza en la tierra si se utiliza un poco de cemento donde el resultado de esta mezcla parecerá como un barro.

Propiedades Mecánicas:

Propiedades Mecánicas	
Módulo de ruptura en frío	
Mpa NTC-682 ASTM C-133	7.5-13.5
Kg/cm ²	(75-135)
Resistencia a Compresión en frío	
Mpa NTC-682 ASTM C-133	30.0-32.0
Kg/cm ²	300-320
Cambio lineal permanente a 1400 °C (%)	
NTC-688 ATSM C-133	0.0-0.2C
Deformación bajo carga en caliente a 1450 °C (%)	
NTC-1107 ASTM C-16	0.1-0.35

Ficha técnica

Ladrillo Refractario SK34

Código: SF-051 (521)	Versión: 2	Revisión:01/08/2018
----------------------	------------	---------------------

Descripción:

Son productos refractarios preformados, a base de óxidos naturales no metálicos de alto punto de fusión, que brindan alta performance de refractariedad y expansión térmica; que los hacen compatibles para soportar acciones mecánicas presentes en la operación a altas temperaturas, se utilizan en todos los hornos industriales que se usan en refinerías de petróleo, industria química, industria siderúrgica y metalúrgica, cementera, ladrillos, cerámicas, industrias del vidrio, etc.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Nombre	SK- 34
Clasificación NTC-773 ASTM C-27	Súper Duty

Análisis químico:

Análisis químico	%
Al ₂ O ₃	42.25
SiO ₂	52.5
Fe ₂ O ₃	1.5
TiO ₂	2.0
CaO	0.3
MgO	0.3
MgO	0.3

Otras propiedades:

Otras propiedades	
PCE (cono pirométrico equivalente)	34
Temperatura equivalente °C (NTC-706 ASTM C-24)	1763
Porosidad aparente (%) NTC-674 ASTM C-20	20.0-22.0
Densidad volumétrica °C gr/cm ³ ASTM C-134 110 °C Lb/FT ³	2.00-2.10 125-130

Anexo 2. Ladrillo refractario SK34.

Fuente: www.sissa.com.co



Ladrillo Refractario SK 32

Código: SF-051 (523)

Versión: 2

Revisión:01/08/2018

Descripción:

Es un Ladrillo macizo de alta densidad con excelente fuerza para ambientes muy arduos; con una fuerza mecánica muy alta.

Tiene alta resistencia al choque térmico, a la abrasión y al ataque químico, utilizados principalmente para construcción de hornos, hornos de chimenea y de pizza, calderas, Hornos de coque, Hornos de recalentamiento y Hornos de cal.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Nombre	SK-32
Clasificación NTC-773 ASTM C-27	High Duty

Análisis químico:

ANALISIS QUIMICO	%	
Al ₂ O ₃	40.5	
SiO ₂	54.0	
Fe ₂ O ₃	2.1	
TiO ₂	2.1	
CaO	0.3	
MgO	0.3	

Análisis químico:

Otras propiedades	
PCE (cono pirométrico equivalente)	32½
Temperatura equivalente °C (NTC-706 ASTM C-24)	1724
Porosidad aparente (%) NTC-674 ASTM C-20	22.0-25.0
Densidad volumétrica °C gr/cm ³ ASTM C-134 110 °C Lb/FT ³	2.03-2.13 127-133

Propiedades Mecánicas:

PROPIEDADES MECANICAS	
Módulo de ruptura en frío	
Mpa NTC-682 ASTM C-133	6.0-12.0
Kg/cm ²	(60-120)
Resistencia a Compresión en frío	
Mpa NTC-682 ASTM C-133	170-250
Kg/cm ²	17.0-25.0
Cambio lineal permanente a 1400 °C (%)	
NTC-688 ATSM C-133	0.0-0.2C
Deformación bajo carga en caliente a 1450 °C (%)	
NTC-1107 ASTM C-16	0.1-0.7

Anexo 3. Ladrillo refractario SK32

Fuente: www.sissa.com.co

GAMMA**ERECOS®****CORONA**
Negocio de EnergíaCarrera 49 No. 67 Sur 680
Sabaneta, Colombia - 055450Teléfono: [574] 305 8000
ventas@erecos.com
Nit: 890.900.121-4

Ladrillos refractarios aislantes

Es un ladrillo refractario silico-aluminoso, resistente al choque térmico debido a su contenido de cordierita, la cual tiene un bajo coeficiente de dilatación térmica.

CTE	Propiedades	Aplicaciones
ANÁLISIS QUÍMICO NTC - 773 , ASTM C - 27 (BA y AA)	% Cordierita	El CTE es un ladrillo extruido silicoaluminoso, de baja densidad, muy buena resistencia mecánica, de liga cordierítica, bajo coeficiente de dilatación térmica lineal, lo cual le confiere una excelente resistencia al choque térmico. Con este material se logra disminuir la masa muerta, ahorro de energía y tiempos de mantenimiento ya que por ser modular, permite cambiar la pieza afectada. Es un producto especialmente diseñado para el revestimiento de los carros de los hornos túneles de la industria cerámica estructural (ladrillo rojo, tejas, pisos, tubos).
Al ₂ O ₃	40,8	
SiO ₂	51,0	
Fe ₂ O ₃	2,0	
TiO ₂	1,9	
CaO	0,3	
MgO	3,3	
Alcalis	0,5	
CONOPIROMETRICO EQUIVALENTE	23	
TEMPERATURA EQUIVALENTE NTC - 706, ASTM C - 24 (°C)	1605	
MÁXIMA TEMPERATURA DE SERVICIO (°C)	1280	
POROSIDAD APARENTE NTC - 674, ASTM C - 20	% >18	
DENSIDAD APARENTE NTC - 674, ASTM C - 20	gr/cm ³ <2,20	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO NTC - 682 , ASTM C - 133	MPa 20,0 - 30,0	
MÓDULO DE RUPTURA EN FRÍO NTC - 682, ASTM C - 133	MPa 5,0 - 8,0	
DEFORMACIÓN BAJO CARGA EN CALIENTE Coeficiente de expansión térmica	Cm/cm°C x10 ⁶ 3,3 - 4,0	

Las propiedades descritas en este documento se basan en los resultados promedio de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables, y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.

Anexo 4. Ladrillo refractario aislante CTE

Fuente: www.erecos.com

CORONA
Negocio de Energía

Carrera 49 No. 67 Sur 680
Sabaneta, Colombia - 055450

Teléfono: [574] 305 8000
ventas@erecos.com
Nit: 890.900.121-4

Ladrillos

Los ladrillos refractarios silico - aluminosos se fabrican a partir de arcillas seleccionadas, constituidas esencialmente por silico - aluminatos hidratados con pequeñas cantidades de óxidos.

ERCLAY SM	Propiedades	Aplicaciones
ANÁLISIS QUÍMICO NTC - 773 , ASTM C - 27 (BA y AA)	% Medium Duty	Ladrillo refractario tipo Medium Duty, de bajo costo y fabricado por proceso de extrusión. Normalmente empleado en calderas, hornos de baja temperatura, chimeneas, etc.
Al ₂ O ₃	42,2	
SiO ₂	52,6	
Fe ₂ O ₃	2	
TiO ₂	2,1	
CaO	0,3	
MgO	0,4	
Alcalis	0,4	
CONOPIROMETRICOEQUIVALENTE	29	
TEMPERATURA EQUIVALENTE NTC - 706 , ASTM C -24 (°C)	1659	
MÁXIMA TEMPERATURA DE SERVICIO (°C)	1100	
POROSIDAD APARENTE NTC - 674, ASTM C - 20	% 28,0 - 34,0	
DENSIDAD APARENTE NTC - 674, ASTM C -20	gr/cm ³ 1,80 - 1,95	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO NTC - 682 , ASTM C - 133	MPa 15,0 - 25,0	
MÓDULO DE RUPTURA EN FRÍO NTC - 682 , ASTM C - 133	MPa 3,0 - 7,0	
ERCLAY SM	Propiedades	Aplicaciones
CAMBIO LINEAL PERMANENTE (°C)	cm/cm°C X106 0,0 - 0,5C	
Temperatura %		

Las propiedades descritas en este documento se basan en los resultados promedio de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables, y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.

Anexo 5. Ladrillo ERCLAY SM.

Fuente: www.erecos.com