

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUIMICAS**



**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN CIENCIAS
QUIMICAS**

Tema:

**EVALUACION DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA EN LA
ASOCIACION DE CERAMICA ROJA "ACR" Y SU POTENCIAL
APLICACIÓN PARA LA FABRICACION DE VITRIOCERAMICOS**

Postulante: Univ. Luz Shirley Hidalgo Arellano

Tutores: Dr. Saúl Cabrera

Ing. Mario Blanco Cazas

LA PAZ – BOLIVIA

2010

AGRADECIMIENTO

* Este trabajo ha sido realizado en el proyecto “ENLACE UMSA – ASOCIACION DE CERAMICA ROJA PARA UN FORTALECIMIENTO INTEGRAL EN LAS CAPACIDADES DE PRODUCCION DE MATERIALES CERAMICOS DE ALTA CALIDAD”, ejecutado en el Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente, dentro del marco del Convenio Interinstitucional IGEMA – IIQ – IIF y contó con el financiamiento de Fondos IDH – UMSA. Para estas instituciones que me ayudaron a realizar este trabajo y con ello a ampliar conocimientos, conocer manejo de equipos, formalizar el trabajo en laboratorio y en una empresa externa, transmito mis agradecimientos.

*A los Docentes, Dr. Saúl Cabrera por su constante perseverancia y mensaje en sus conocimientos y visiones. Ing. Mario Blanco por mostrarnos el campo de la geología orientándonos con su conocimiento y consejo. Como no al Dr. Pedro Crespo y al Dr. Justo Zapata por su magia de expresar sus conocimientos ayudando a los alumnos a tener mejores visiones y mostrando los caminos que se pueden optar como científicos.

* A la ACR, a los integrantes de la Asociación de Cerámica Roja por haber confiado en la Carrera y en particular en el proyecto, abriendo sus puertas para mostrar la forma de trabajo y las ganas de emprender para superación de empresa en Bolivia.

*A mis amigas, por haber compartido con ellas tantos años de estudio, empuje, alegrías y sueños que se van creando durante la carrera llegando a un punto en que empezamos a realizar esos sueños, gracias chicas, Lizangela, Zilma, Pamela, Fatima, Esther, Maribel, Eveluz, Angélica, Ever y Luis.

*A mi familia, a mi papá por enseñarme a perseverar, apoyarme a superar los bajones y confiar en mi, a mi mamá por siempre haber confiado en mi, y respaldarme en mis decisiones sin recriminar mostrando una solución a los problemas, a mis hermanas por ser como son y mis sobrinos.

*Mi Rober, por presionar, impulsar y perseverar para terminar este trabajo, mostrando con su cariño a la superación.

RESUMEN

El presente trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto de Investigación “ENLACE UMSA – ASOCIACION DE CERAMICA ROJA PARA UN FORTALECIMIENTO INTEGRAL EN LAS CAPACIDADES DE PRODUCCION DE MATERIALES CERAMICOS DE ALTA CALIDAD”, ejecutado en el Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente (IGEMA) y dentro del Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), dentro del marco del Convenio Interinstitucional IGEMA – IIQ – IIF y contó con el financiamiento de Fondos IDH – UMSA. Este trabajo fue desarrollado en su parte aplicativa en las ladrilleras de la “Asociación de Cerámica Roja” ubicada en la ciudad de La Paz en la zona de Llojeta, lugar donde más de 200 personas realizan el trabajo de elaboración de ladrillos, donde se fue a realizar un trabajo de investigación en diferentes ámbitos, evaluando las necesidades de los asociados para proponer mejoras en su producción.

Primero, se realizó una evaluación de la materia prima de los yacimientos de arcilla roja de la localidad de Llojeta (zona de estudio), mediante su caracterización geológica, química y física. Concluyendo que la materia prima arcillosa, en su composición mineralógica contiene principalmente cuarzo, calificado como la fase más abundante 63.5%, seguida en menor cantidad por arcillas como illita 22.7%, montmorillonita 5.2%, clorita 3.5%, muscovita 2,6% y, además feldespatos, variedad sanidina 2.5%.

En el análisis de plasticidad, se observa que la materia prima presenta una buena plásticas, lo que asegura que las mismas puedan ser destinadas a otros uso cerámicos, mostrando que no es una materia prima que se pueda utilizar óptimamente para ladrillos, que si se quisieran realizar materiales cerámicos distintos al ladrillo, se tendría que disminuir la cantidad de cuarzo o aumentando la cantidad de feldespato o la variación de ambos acorde al material cerámico que se quiera obtener. Con la composición de la materia prima, los materiales que podemos obtener son azulejos y

vajillas, simplemente adicionando a la materia prima, cantidades de material de alta pureza en arcilla.

Segundo, se evaluó los procesos químicos de producción de ladrillos, realizando la elaboración de probetas en el laboratorio, simulando las condiciones de los procesos desarrollados a escala industrial, de esto se llegó a concluir que para mejorar sus procesos de producción, la asociación necesita implementar mas equipos como: rompeterrones, eliminador de piedras, etc, ya que la molienda no es la correcta, tener un buen triturado, homogenizar la pasta, conseguir una buena consistencia, para así lograr una buena pasta que al momento de moldear no presente fisuras o eflorescencias. Durante el secado, utilizar maneras de secado más rápido, utilizando el calor de los hornos o construir cuartos para no ser afectados por el clima, llegando a secar más rápido y aumentar la producción. Durante la cocción tener un control más riguroso de la temperatura dentro de los hornos, logrando una temperatura homogénea dentro del horno para que todos lleguen a cocer a la misma temperatura y sin pérdidas, por quemado.

Tercero, se evaluó el uso de la materia prima para el desarrollo de materiales vitrioceramicos, utilizando como base las probetas obtenidas, y sobre las mismas vitrificando con una base de vidrios tipo silicoboratos, llevando a cocción durante 3 horas a 800°C obteniendo productos vitroceramicos de alta homogeneidad, adicionalmente se desarrollo el mismo proceso con la inserción de elementos colorantes (Cobre, Hierro, Níquel, Cobalto y Cromo) y elementos que favorecen propiedades especiales en los materiales como: Litio reduciendo la expansión térmica y reduciendo temperaturas de fusión de vitrificación, Titanio y Zinc que generan propiedades fotocataliticas descontaminantes para medios acuosos, esto hace que estos vitroceramicos puedan ser utilizados en piscinas y otros para favorecer la descontaminacion de aguas. Finalmente, con el propósito de identificar algunos compuestos del bajo costo que den color en los vitroceramicos se utilizo en el proceso de vitirficacion minerales de bajo costo comercial, como especularita (Fe_2O_3) , esfalerita (ZnS) y malaquita (CuCO_3), obteniéndose resultados preliminares con alta perspectiva, pero que deben ser todavía evaluados, logrando de manera preliminar

buenos resultados, los cuales deben continuar su investigación para lograr vitriocerámicos de alta calidad.

La evaluación preliminar del material arcilloso de Llojeta nos muestra que este material aunque es utilizado para obtener ladrillos, no es la composición indicada para elaborarlos, sabiendo que tiene buena plasticidad y que variando su composición se pueden obtener materiales cerámicos variados, si a la arcilla se le puede disminuir el contenido en cuarzo se obtendría azulejos y vajilla, además como ya sé probó que esta arcilla puede ser vitrificada, este hecho se hace cada vez más notorio y posible de realizar en mejora de la empresa, quedando como potencial aplicación.

Estos resultados preliminares están siendo actualmente presentados a los socios de la Asociación de Cerámica Roja, para su divulgación y potencial aplicación.

INDICE

CAPITULO I

1.1 Introducción.....	10
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16

CAPITULO II

2. Antecedentes.....	18
2.1 Arcillas.....	18
2.1.1 Arcilla Roja.....	21
2.2 Materiales Cerámicos.....	23
2.2.1 Elaboración de materiales cerámicos.....	24
2.2.2 Proceso de elaboración de ladrillos.....	25
2.2.3 Vitrioceramicos.....	26

2.2.4 Elaboración General de Materiales Vitrioceramicos.....	28
--	----

CAPITULO III

3. Metodología.....	32
---------------------	----

3.1 Método de caracterización de la Materia Prima Arcillosa.....	32
--	----

3.2 Realización de Encuestas de Elaboración de Ladrillos en la “ACR”	33
--	----

3.3 Elaboración de ladrillos probeta a nivel de Laboratorio.....	34
--	----

3.4 Métodos de vitrificación de la Materia Prima Arcillosa.....	34
---	----

3.4.1 Método de vitrificación coloreada por adición de óxidos.....	35
--	----

3.4.2 Método de vitrificación coloreada por adicción de minerales.....	36
--	----

CAPITULO IV

4. Resultados y Discusión.....	38
--------------------------------	----

4.1. Caracterización de la Materia Prima Arcillosa.....	38
---	----

4.2 Evaluación de los procesos químicos en la fabricación de ladrillos de la “ACR”	45
--	----

4.3 Resultado de las probetas realizadas en Laboratorio.....	54
--	----

4.4 Materiales Vitrioceramicos.....	55
-------------------------------------	----

4.4.1Vitrificado de la Materia Prima Arcillosa.....	55
---	----

4.4.1.1 Vitricado de la Materia Prima Arcillosa con óxidos.....	58
4.4.1.2 Vitricado de la Materia Prima Arcillosa con minerales.....	67
4.4.1.3 Evaluación de factibilidad de Fabricación de Vitriocericos.....	69

CAPITULO V

5.1 Conclusiones y Recomendaciones.....	73
Bibliografía.....	77

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

FIGURAS

1 Ubicación del área de estudio Zona Llojeta-Alpacoma.....	12
2 Ubicación geográfica de la ACR, ubicación de hornos y ubicación de los yacimientos.....	13
3 Estructura laminar de una arcilla.....	16
4 Formación de las arcillas.....	17
5 Estructura Laminar de una arcilla Illitica.....	20
6 Diagrama de obtención de Materiales Cerámicos.....	22
7 Estructura de un vidrio de silicato de sodio.....	25
8 Equipo de Fluorescencia de rayos X.....	31
9 Equipo de Difracción de Rayos X.....	32
10 Ubicación de lugares de extracción de las muestras.....	37
11 Las tres muestras de arcilla A-01; A-02; A-03.....	37
12 Espectro de florescencia de la muestra A-01.....	38
13 Espectro de florescencia de la muestra A-02.....	38
14 Espectro de florescencia de la muestra A-03.....	39
15 Espectro de rayos X de la muestra A-01.....	40
16 Espectro de Rayos X de la muestra A-02.....	40
17 Espectro de Rayos X de la muestra A-03.....	41
18 Ubicación de componentes de cada muestra. muestra A-01; muestra A-02; muestra A-03.....	42
19 Estructura laminar de una arcilla illitica.....	43
20 Pasos de elaboración de ladrillos en la industria.....	47
21 Proceso de acopio de materia prima.....	48
22 Molino de bolas utilizado para molienda.....	49

23 Amasado y reposo del material arcilloso.....	50
24 Maquina para el moldeado.....	50
25 Moldeado del ladrillo.....	50
26 Secado de ladrillos a temperatura ambiente.....	51
27 Falencias presentadas durante el secado.....	51
28 Ladrillos perdidos por quemada.....	53
29 Vitrificado sobre el material arcilloso.....	54
30 Materiales vitriocericos de Li,Zn,Cu,Fe.....	57
31 Materiales vitriocericos de Ti,Co,Cr,Ni.....	57
32 Material Vitriocericico de Litio.....	58
33 Material Vitriocericico de Zinc.....	59
34 Material Vitriocericico de Cobre.....	59
35 Material Vitriocericico de Hierro.....	60
36 Material Vitriocericico de Titanio.....	61
37 Material Vitriocericico de Cobalto.....	61
38 Material Vitriocericico de Cromo.....	62
39 Material Vitriocericico de Níquel.....	63
40 Malaquita, Especularita, Esfalerita, Especularita (trat.).....	66
41 Vitriocericicos de espcularita (trat), espcularita, esfalerita, malaquita.....	67

TABLAS

1 Composición de vidrio común.....	27
2 Composición de vidrios de boro silicato.....	33
3 Cantidades pesadas de cada componente para vidrios de boro silicato.....	34
4 Minerales utilizados, composición y origen.....	35
5 Elementos de cada muestra obtenidos por FRX	39

6 Porcentajes de cuarzo, arcilla y feldespato, en cada muestra.....	41
7 Resultado de la encuesta.....	46
8 Aplicación de los diferentes metales.....	63
9 Notación de Birthe para niveles de energía, grado de degeneración y estados degenerados.....	65
10 Desdoblamiento de niveles energéticos.....	65

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN.- La Asociación de Cerámica Roja “ACR” se encuentra ubicada en la ciudad de La Paz en la zona de Llojeta-Alpacoma, conformada por 42 asociados con 50 hornos, teniendo yacimientos de arcilla roja en lugar cercano a su ubicación, los cuales realizan el trabajo de elaboración exclusiva de ladrillos de diferente tipo primando el de 6 huecos, como también 3 huecos y gambotes, los cuales son elaborados en cantidades de 25.000 a 30.000 ladrillos producidos al mes, ladrillos utilizados exclusivamente para construcción. En la Figura 1.- se puede observar la ubicación de la asociación de cerámica roja en el departamento de La Paz.



Figura 1: Ubicación del área de estudio Zona Llojeta-Alpacoma

En la Figura 2.- corresponde a una imagen satelital que permite observar por un lado la ubicación de los hornos donde elaboran los ladrillos y por el otro la ubicación de los yacimientos de material arcilloso, mostrados por las flechas.



Figura 2: Ubicación geográfica de la ACR, ubicación de hornos (flecha naranja) y ubicación de los yacimientos (flecha celeste).

En la asociación podemos observar diferentes problemas de los trabajadores durante la elaboración de ladrillos, como también las condiciones en las que trabajan, la ubicación y la accesibilidad.

Esta Asociación como se sabe no es la única dedicada a la fabricación de ladrillos en el departamento de La Paz, existen varias agrupaciones de productores y empresas en el rubro, un ejemplo sin ir muy lejos es la de Viacha, pero se debe tomar en cuenta que el tipo y características de los yacimientos de arcilla, componente principal o exclusivo de los ladrillos, no es tan buena como la ubicada el Llojeta.

1.2 JUSTIFICACIÓN.- La Asociación de Cerámica Roja observa y necesita o precisa solucionar sus distintos problemas en su rubro, por ello se ve una necesidad de ayuda en la mejora de sus procesos industriales.

La ausencia de controles de calidad y en general el poco conocimiento científico de los depósitos y aun de los mismos procesos industriales, hacen que la producción sea con altas pérdidas y por consiguiente la oferta al mercado sea con costos más bajos, de donde surge la necesidad de superación que tienen los asociados.

Durante todo el proceso de elaboración de ladrillos se presentan diferentes falencias. Todas estas falencias hacen que los asociados no tiendan a superarse, como realizar nuevos materiales cerámicos, darle un valor agregado a su arcilla, como elaboración de azulejos, gambotes, tejas, lozas, cerámica decorativa, etc., pero también dar otros usos a su arcilla sintetizando nuevos productos para uso industrial.

Una manera de realizar productos con valor agregado a la arcilla es mediante uso de ladrillos pueden ser vidriados en su superficie con la adición básica de composición de óxidos para obtención de vidrios, abriendo campo a la elaboración de nuevos tipos de materiales, menor calidad y menor costo, pero útil en varios usos específicos.

1.3 OBJETIVOS.-

1.3.1 GENERAL

Evaluación preliminar de materia prima y su potencial aplicación para la fabricación de materiales vitrioceramicos para la micro industria de cerámica rojas de Llojeta-Alpacoma, La Paz.

1.3.2 ESPECIFICOS

1. Evaluación preliminar de la materia prima de los yacimientos de arcilla de la zona de Llojeta-Alpacoma de la Asociación de Cerámica Roja - La Paz, mediante su caracterización geológica, química y física.
2. Evaluar los procesos químicos de producción de materiales cerámicos a partir de la caracterización de la materia prima.
3. Evaluación preliminar a escala laboratorio de la materia prima para la fabricación de materiales vitrioceramicos.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

CAPITULO II

2. ANTECEDENTES

2.1 ARCILLA.- Desde el punto de vista mineralógico, las arcillas están definidas como minerales del grupo de los “filosilicatos” debido a que poseen estructuras cristalinas conformadas por unidades básicas tetraédricas y octaédricas de Si-Al dispuestas en planos, como hojas, y a los cuales se adhieren, cationes y aniones según los déficits de carga, metales y no metales, dando lugar a una gran variedad de especies mineralógicas con diferentes características físicas y químicas, como se muestra en la figura 3. Los cristales y sus agregados, por lo general adquieren tamaños muy pequeños del orden las micras.

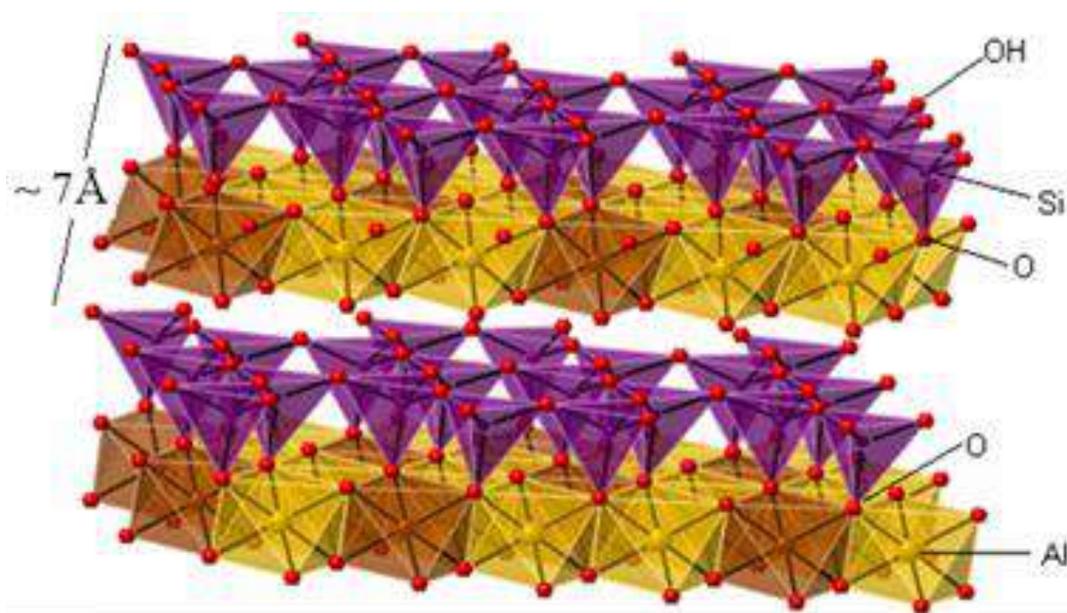


Figura 3: Estructura laminar de una arcilla

Desde el punto de vista sedimentológico, a veces se utiliza el mismo término de “arcilla” aunque es preferible denominar “material arcilloso”, para referirse a todo tipo de sedimento que tiene tamaños de grano muy finos, del orden de unas pocas micras (generalmente menor a 5 micras). Este tipo de material generalmente tiende a estar conformado por minerales de arcilla (filosilicatos) acompañados de otros como

el cuarzo, feldespatos y micas. Por lo tanto no es lo mismo decir “arcilla” como mineral, que “material arcilloso”, como sedimento.

La arcilla presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, por lo general es de color blanco cuando es pura y no contiene elementos como el Fe o Mn.

Su origen es muy variado, pero normalmente es resultado de la descomposición de rocas preexistentes que contienen feldespatos y micas, como las rocas ígneas, mediante procesos naturales de intemperismo o meteorización y alteración hidrotermal que actúan sobre las rocas por decenas de miles o aun millones de años. También se pueden formar por precipitación directa a partir de elementos en solución que se encuentran en las cuencas de sedimentación, por ejemplo en el mar o lagos.(1)

La arcilla está constituida por agregados de silicato de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Las arcillas constituyen esencialmente un producto del desgaste, desintegración y descomposición química a partir de las rocas ígneas, éstas rocas están principalmente constituidas por minerales como: feldespatos, ferromagnesianos, olivinos, piroxenos, ampiboles y micas. Proceso que se puede observar en la Figura 4.

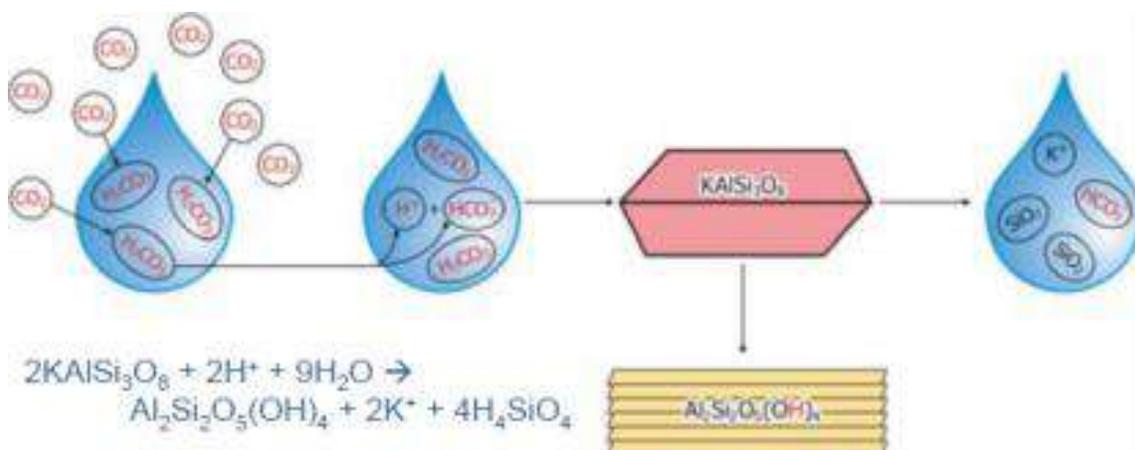


Figura 4: Formación de las arcillas

Los minerales arcillosos constituyen un 70% de la corteza terrestre, formados por compuestos complejos de diversos minerales, dentro de la corteza terrestre se

encuentran varios tipos de arcilla según la estructura y composición, estos materiales arcillosos se caracterizan por estar conformados por partículas con tamaños extremadamente pequeños y muy finos, de forma estructural aplanada, con una superficie específica muy elevada, constituida esencialmente por silicatos hidratados en proporciones variables de aluminio, hierro y magnesio dispuestos en varias combinaciones de capas perteneciente al grupo de los filosilicatos.

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por el hombre, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos. Un material de arcilla entonces es cualquier material cristalino pequeño de grano muy fino, natural, terroso con tamaño de partícula $< a 2 \mu\text{m}$, denominándose silicatos o filosilicatos de capas. (2)

Tipos de Arcilla.- Desde el punto de vista de las aplicaciones de las arcillas en el campo de la cerámica y tomando en cuenta las calidades y cualidades obtenidas por las distintas pastas, después de cocidas, las arcillas se clasifican en los siguientes grupos:

*Arcillas plásticas: como lo indica su nombre, tienen buena plasticidad y ablandan entre 1000 y 1200°, pueden ser:

Grasas; Son sumamente plásticas. En su composición química hay más de 15% de aluminio.

Magras; El producto cerámico suministrado por arcillas poco plásticas, con menos de 15% de aluminio, es poroso y frágil.

*Arcillas Refractarias: empastan mal con el agua y no demuestran mucha plasticidad. Ablandan a los 1600° C, asemejándose al caolín, que lo hace a 1800° C

Para tener una idea de las calidades y cualidades obtenidas por las distintas pastas, después de cocidas, diremos que:

- a) cuando tienen un color rojo o amarillento y su textura es porosa, recibe el nombre de terracota o de alfarería.
- b) cuando el color tiende al blanco y su textura es porosa recibe el nombre de loza.
- c) cuando presenta un color entre el amarillento y el gris, habiéndose vitrificado algunos elementos de su composición, presentando una textura poco porosa, recibe el nombre de gres.
- d) cuando presenta un color blanco semitransparente, mostrando una textura impermeable, recibe el nombre de porcelana.

Para que la arcilla no se rompa al cocerla, primero debe dejarse secar al aire. Si está bien seca, es porosa y relativamente blanda, puede cocerse directamente en un horno abierto a una temperatura de 650-750 °C; este es el modo en que se cocía la cerámica primitiva. Tanto los hornos de madera como más tarde los de carbón, gas y electricidad requieren un control muy riguroso para lograr el efecto deseado en la obtención de loza o gres, pues pueden conseguirse efectos diferentes por aumento de la cantidad de oxígeno en la combustión (con la adecuada ventilación para producir grandes llamas) o reduciendo el oxígeno con la obstrucción parcial de la entrada de aire en el horno. (3)

2.1.1 ARCILLA ROJA.- Las arcillas illíticas son una extensa familia ya que suelen estar asociadas a otro tipo de arcilla siempre el cuarzo y otros minerales entre los que sobresalen los óxidos de hierro, en la figura 5 se observa la estructura laminar de una arcilla roja. Una arcilla rica en hierro, se volverá de color rojo si se cuece con un fuego rico en oxígeno, mientras que en un horno pobre en oxígeno se volverá de color gris o negro, pues el óxido rojo de hierro de la arcilla (FeO_2 , o bien Fe_2O_4) se convierte en óxido negro de hierro (Fe_2O_3) al desprenderse la arcilla de una molécula de oxígeno para compensar la falta de éste en el horno.(4)

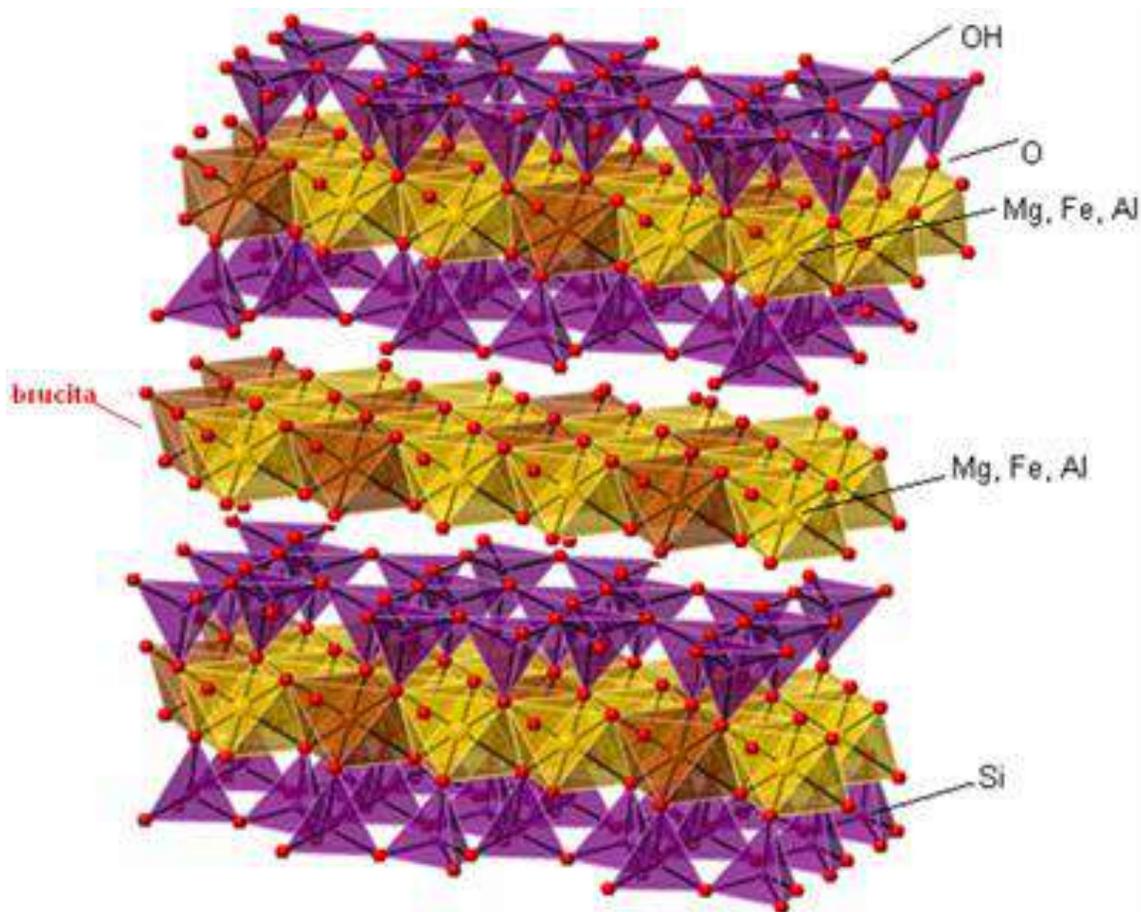


Figura 5: Estructura Laminar de una arcilla Illítica

Entre los beneficios que tiene la arcilla roja, tenemos que: la Cerámica Roja no pierde el brillo ni el color. No es atacada por insectos ni roedores. No es combustible, con el tiempo no se vuelve quebradiza ni la atacan los rayos UV del sol. Tiene muy buena aislación sonora, térmica y resiste al ataque del fuego. No por casualidad hoy perduran edificios de más de mil años de antigüedad manteniendo toda su belleza y esplendor.

La cerámica roja es el material ideal para la ejecución de muros, losas, pisos y techos. Ningún material de construcción combina tan eficientemente las propiedades de durabilidad, confort y economía como la cerámica roja.(5)

El coeficiente de dilatación térmica de la Cerámica Roja es aproximadamente la mitad del hormigón y del yeso. Respecto de los metales es de tres veces menores. La Cerámica Roja después de haberse mojado abundantemente previo a su colocación

no cambia más de volumen aunque se seque o se moje posteriormente. Otros materiales cambian su volumen por la acción de los contenidos de humedad. La excelente estabilidad dimensional de la cerámica roja permite una construcción sencilla, resistente y con un mínimo de refuerzos. La Cerámica Roja tiene muy buena aislación térmica. Alta resistencia mecánica y bajo peso propio.

Ningún material combina tan bien como la Cerámica Roja las propiedades de alta resistencia, bajo peso propio y bajo costo. Alta resistencia mecánica. Los pisos de baldosas de Cerámica Roja tienen una gran resistencia a los golpes y desgaste.

Algunas ventajas de los elementos constructivos fabricados con Cerámica Roja

- No suenan a hueco
- Son resistentes a la acción del fuego
- Tienen muy buena aislación acústica.(6)

2.2 MATERIALES CERÁMICOS.- Los materiales cerámicos son definidos como materiales inorgánicos y no metálicos, la mayoría de las cerámicas son compuestos formados por elementos metálicos y no metálicos Los materiales cerámicos no son tan simples como los metales, sin embargo pueden clasificarse y estudiarse en función de sus estructuras cristalinas.(7)

Estructura y propiedades de cerámicos:

Tienen baja conductividad eléctrica y térmica y son usados a menudo como aislantes. Son fuertes y duros, aunque frágiles y quebradizos. Nuevas técnicas de procesos consiguen que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que puedan ser utilizados en aplicaciones de carga. Dentro de este grupo de materiales se encuentran: el ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos

Los materiales cerámicos se caracterizan por las siguientes propiedades:

- Son muy duros y presentan una gran resistencia mecánica al rozamiento, al desgaste y a la cizalladura.
- Son capaces de soportar altas temperaturas
- Tienen gran estabilidad química y son resistentes a la corrosión

- Poseen una amplia gama de cualidades eléctricas.

Los materiales cerámicos son materiales ligeros. Su densidad varía según el tipo de cerámica y el grado de compacidad que presenten. Son mucho más duros que los metales. A diferencia de éstos, se trata de materiales relativamente frágiles.

Su fragilidad es muy baja y las fracturas se propagan de manera irreversible.(8)

2.2.1 ELABORACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS.-

Las tres principales materias primas usadas para hacer los productos cerámicos tradicionales, son arcilla (silicato de aluminio hidratados, más o menos impuros),feldespato y arena, como se muestra en la figura 6.

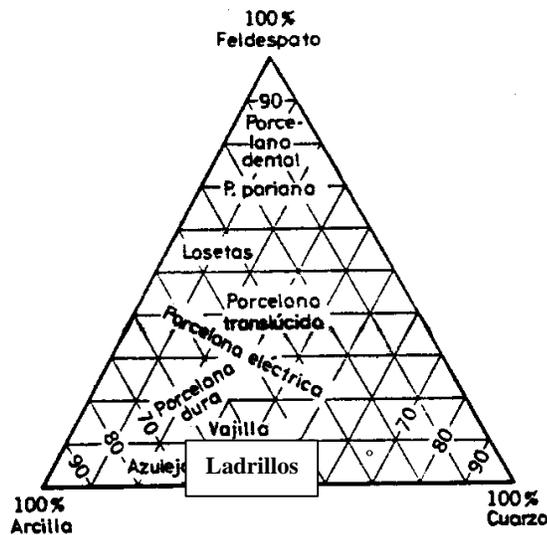


Figura6: Diagrama de obtención de Materiales Cerámicos

Además de las tres principales materias primas, se usa una gran variedad de otros minerales, como sales y óxidos, empleados como agentes fundentes y como ingredientes refractarios especiales.

Algunos de los más comunes agentes fundentes, que disminuyen la temperatura de vitrificación, la temperatura de fusión o la temperatura de reacción, son: bórax, ácido bórico, carbonato de sodio, nitrato de sodio, carbonato de potasio, nefalina sienita, huesos calcinados, apatita, fluoruro de calcio, criolita, óxidos de hierro, óxidos de antimonio, óxidos de plomo, minerales de litio y minerales de bario.

Algunos de los ingredientes refractarios especiales más comunes, son: alúmina, olivina, cromita, magnesita, cal y caliza, zirconia, titania, silicato de magnesio hidratados (por ejemplo talco), silicato de aluminio, dumortierita, carburo de silicio.(9)

2.2.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS.- Un ladrillo es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, cuyas dimensiones suelen rondar 24 x 12 x 5 cm. Se emplea en albañilería para la ejecución de paredes, ya sean muros, tabiques, tabicones, etc.

Proceso de elaboración: En cualquier fábrica de ladrillos, se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso, al proceso de empaquetado final. La materia prima utilizada para la producción de ladrillos es, fundamentalmente, la arcilla. Este material está compuesto, en esencia, de sílice, alúmina, agua y cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como los óxidos de calcio y los óxidos de magnesio.

Las partículas de materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso, de agua. Debido a la característica de absorber la humedad, la arcilla, cuando está hidratada, adquiere la plasticidad suficiente para ser moldeada, muy distinta de cuando está seca, que presenta un aspecto terroso.

Durante la fase de endurecimiento, por secado, o por cocción, el material arcilloso adquiere características de notable solidez con una disminución de masa, por pérdida de agua, de entre un 5 a 15%, en proporción a su plasticidad inicial.

Una vez seleccionado el tipo de arcilla el proceso puede resumirse en:

- Maduración
- Tratamiento mecánico previo
- Depósito de materia prima procesada
- Humidificación

- Moldeado
- Secado
- Cocción
- Almacenaje (10)

2.2.3 VITRIO-CERAMICOS.- Se fabrican a partir de silicatos de aluminio, litio y magnesio con un proceso de enfriamiento también rápido. Químicamente son similares a los vidrios convencionales, pero la mayor complejidad de sus moléculas determina la aparición de micro cristales que les confieren mayor resistencia mecánica y muy baja dilatación térmica.(11)

Los materiales vitriocerámicos son materiales micro cristalinos obtenidos a partir de un vidrio después de un tratamiento térmico a su temperatura característica hasta su casi completa desvitrificación. Es por ello que sus propiedades vienen determinadas por las fases micro cristalinas principales y sus microestructuras finales, las cuáles son también dependientes de la composición del vidrio, agentes nucleantes y métodos de preparación.

La cerámica vidriada sigue el mismo procedimiento del producto cerámico con la diferencia de que se eleva la temperatura durante la cocción provocando así que se vitrifique, los poros se cierran y el material se vuelve compacto. Otra manera de obtener cerámica vidriada es mediante el empleo de barnices o esmaltes, con lo que los productos obtienen una superficie dura, permeable y lisa.(12)

La materia prima para la fabricación de vidrios puede clasificarse, siguiendo un criterio empírico basado en el papel que desempeña durante el proceso de fusión, en cuatro grupos principales: Vitrificantes, fundentes, estabilizantes y componentes secundarios. En la figura 7. se observa la estructura del vidrio de silicato de sodio.

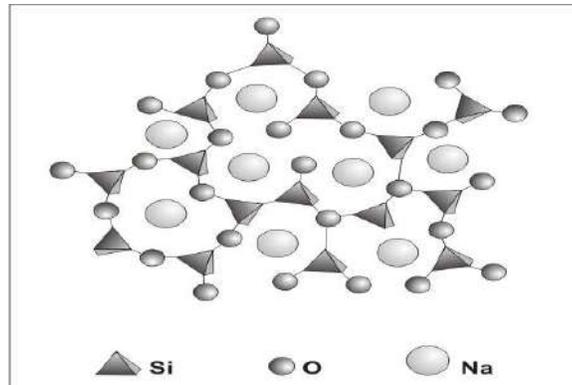


Figura 7: Estructura de un vidrio de silicato de sodio

Vitrificantes: Bajo esta denominación genérica se agrupan todas las sustancias típicamente formadoras del vidrio. La sílice es el constituyente principal en la mayoría de los vidrios, entre las más conocidas se encuentra el cuarzo. El cuarzo experimenta una dilatación regularmente creciente hasta su temperatura de transformación enantiótropa a 573 °C a la que súbitamente se produce una expansión lineal del 0.2%. Estos cambios dimensionales desempeñan un papel importante y el intervalo térmico dentro del cual se producen resulta particularmente crítico durante el primer calentamiento de los hornos de fusión en que intervengan piezas de sílice, ya que la transformación de beta-cuarzo en alfa-cristobalita disminuyendo su densidad aumentando un volumen del 16%. Ello exige que el calentamiento se efectúe gradualmente.

Anhídrido Bórico: Aunque es un excelente formador de vidrio, nunca se emplea, salvo casos muy excepcionales como vitrificante único debido a su elevada solubilidad. Es un componente esencial de los vidrios neutros para laboratorio, de los vidrios termorresistentes de alta estabilidad a los cambios bruscos de temperatura. El anhídrido bórico comparte con la sílice el papel de formador, y sus unidades estructurales en coordinación triangular y tetraédrica alternan en el retículo vítreo con los tetraedros SiO₄.

Fundentes: La finalidad de este grupo de componentes es favorecer la formación de vidrio, rebajando su temperatura de fusión y facilitar su elaboración. Los óxidos que así actúan son los modificadores de red y dentro de ellos son los alcalinos los que mejor cumplen este cometido.

Oxido de Sodio; es el sodio el que en mayor proporción entra en los vidrios ordinarios, las materias primas que se emplean industrialmente son: Carbonato Sódico, comúnmente llamado sosa.

Oxido de Calcio: Su presencia aumenta la estabilidad química y mecánica del vidrio, por lo que, después del punto de vista funcional, actúa como estabilizante, aunque estructuralmente tenga el carácter de modificador de red. Un exceso de oxido de calcio puede facilitar la desvitrificación si la composición del vidrio esta dentro de la zona de estabilidad de ciertas fases cristalinas. La materia prima empleada para introducir el oxido de calcio es la caliza natural (carbonato cálcico) la caliza son muy abundantes en la naturaleza y se encuentra en casi todas las formas geológicas.

Estabilizantes: actúan con un carácter intermedio entre los verdaderos formadores de red y el de los modificadores. Oxido de Aluminio, el ion aluminio puede actuar como modificador de red en coordinación octaédrica o como formador de red en coordinación tetraédrica (AlO_4) alternando con los iones silicio. La formación de coordinación tetraédricas exige una mayor proporción de oxígeno Al_2O_3 .

Comúnmente en los vidrios normales el proceso de formación de vidrio comprende un aumento progresivo de la temperatura hasta un máximo de unos $1550^{\circ}C$, con el aumento en la composición en el porcentaje de bórax podemos bajar la temperatura de vitrificación hasta llegar a unos $800^{\circ}C$.

La composición común de vidrios para formarlos a $1550^{\circ}C$ tiene la siguiente composición(13):

Compuesto	SiO_2	Al_2O_3	$CaCO_3$	Bórax	$NaCO_3$
Porcentaje	45%	5%	5%	20%	25%

Tabla1: Composición de vidrio común

2.2.4 ELABORACIÓN GENERAL DE PRODUCTOS VITRIOCERAMICOS.-

Para la obtención de materiales vitrioceramicos, se procede a realiza los siguientes pasos:

a) Recepción

Las materias primas son transportadas y almacenada en las dependencias de la industria.

b) Beneficio

El proceso de beneficio incluye la pulverización, purificación, tamizado, clasificación, calcinación, dispersión en líquido y granulación. Lo usual es que la materia prima natural sea sometida a un grado de beneficio en su lugar de extracción o en otra instalación antes de ser transportado a la industria del rubro cerámico.

c) Mezcla

El agua es el líquido más comúnmente empleado en la mezcla. Algunos agentes para ayudar el proceso son añadidos a la mezcla cerámica, tales como defloculantes, surfactantes y antiespumante.

Los defloculantes mejoran la dispersión y su estabilidad. Los agentes surfactantes son usado en el procesamiento en pasta para ayudar a la dispersión. Los agentes antiespumante son usado para remover las burbujas de gas atrapadas de la pasta. Para extraer fácilmente el aire, también se suele amasar la pasta en prensas al vacío y pasar a presión por orificios que conducen a una cámara sin aire, donde unas cuchillas giratorias cortan finalmente la pasta.

d) Colado o torneado

En la etapa de colado las mezclas, son consolidadas y moldeadas para producir la cohesión del cuerpo, de un tamaño y forma deseada. El colado de cerámicas se logra generalmente mediante vaciado. En la operación de vaciado una mezcla que tiene un contenido de humedad de 20 a 35%, es vertida en un molde poroso. La succión capilar del molde conduce el líquido del molde, consolidando así el material cerámico repartido.

e) Acabado

La pieza de cerámica pasa por una maquina para eliminar las asperezas de la superficie o las vetas, o para modificar la forma. Los métodos empleados incluyen equipos de desgaste superficial, que suavizan la superficie de la cerámica, y de perforación para dar forma, crear hoyos o cavidades.

f) Secado

El método más comúnmente usado para secar la cerámica es por convección, en la cual el aire caliente se hace circular alrededor de la cerámica. A menudo el secado con aire es realizado en hornos de túnel los que por lo general usan calor recuperado de la zona de enfriamiento del horno.

g) Bizcocho

Previo a la cocción, a menudo las cerámicas son tratadas con calor a temperaturas por debajo de la temperatura de cocción. El propósito de este procesamiento térmico es proporcionar un secado adicional, vaporizar o descomponer aditivos orgánicos y otras impurezas, y remover agua residual que esta en forma de cristales o que este unida químicamente.

h) Vidriado

El vidriado se aplica a las cerámicas por compactado o tamizado. El compactado es probablemente el método más común de aplicación de vidriado en la industria cerámica. El tamizado es un proceso antiguo de aplicación de vidriado, y generalmente es usado solamente en formas que no se puede abordar con el rociamiento.

i) Cocción

La cocción es el proceso mediante el cual la cerámica es consolidada térmicamente en un cuerpo denso y cohesivo constituido por granos finos y uniformes. Los parámetros de operación que afectan la cocción incluyen la temperatura de cocción, el tiempo, la presión y la atmósfera.

El método de cocción convencional se logra mediante el calentamiento de la cerámica cruda a una temperatura aproximada de dos tercio de la de fusión, a presión atmosférica, y manteniéndola por un tiempo específico en un horno túnel o periódico. Los hornos periódicos son calentados y enfriados de acuerdo con un programa prescrito. Los hornos de túnel tienen generalmente zonas separadas para el enfriamiento, la cocción y precalentamiento o secado.

j) Terminado

Anterior a la cocción, algunos productos cerámicos son procesados aún más para potenciar sus características. Adicionando pigmentos de colores a la etapa de vidriado ya sea, con oro, platino, cobalto, cromo, cobre, etc; o también con pigmentos especiales ya preparados.

Una vez hecha la decoración, la pieza pasa por un tercer horno a diferentes temperaturas. Esta cocción para el vidriado pasa a la cerámica y pasa a ser un todo con la cerámica, lo que permite que resista el contacto con el agua y el calor. (14)

CAPITULO III

METODOLOGIA

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA.- Para la caracterización, se fue a los yacimientos del material arcilloso observando las distintas formaciones y tipos de estas, se observó tres tipos de la misma característica geológica, de cada una de ellas se tomaron seis muestras que fueron mezcladas y luego se realiza un muestreo por cuarteado, se realizo la misma operación para las otras dos y se trabajaron con tres muestras resultantes.

- Se tomó las tres muestras, posteriormente se llevó a moler a un mortero y llevando a tamizar estos en malla 200, cada una de ellas.
- Estas tres muestras se llevaron a Fluorescencia de Rayos X Rigaku-Geigerfex con Tubo de Cu, registrándose difracciones en el rango de 3° - 60° . Como se muestra en la imagen 1.



Figura 8: Equipo de Fluorescencia de rayos X

- Cada una de estas muestras se llevo a un equipo de DRX Rigaku-Geigerfex con Tubo de Cu, registrándose difracciones en el rango de 3° - 60° . Como se muestra en la imagen 2.



Figura 9: Equipo de Difracción de Rayos X

- Los espectros obtenidos se interpretaron con el uso del programa X'Pert HighScore de la Philips-PanAnalitical y una basa de datos de 100.000 registros standares. Ref15,16.

3.2 REALIZACIÓN DE ENCUESTAS DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS

EN LA “ACR”.- A modo de comparación y con el fin de visualizar los inconvenientes de los ladrilleros, se realizó una encuesta a todos los asociados, en cuanto a diferentes parámetros durante la elaboración de ladrillos tomando en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Dosificación: Cantidad de arcilla tomada, volumen de agua agregada.
- 2) Amasado: Equipo de amasado, tiempo de amasado, tiempo y lugar de envejecimiento.
- 3) Moldeado: Equipo para moldear, grosor del laminado, dimensiones.

- 4) Secado: Tiempo de secado, forma de secado, problemas presentes en el secado.
- 5) Cocción: Tipo de horno, combustible utilizado, tiempo de cocción.
- 6) Producto: Cantidad de ladrillos obtenidos, cantidad de ladrillos perdidos.

3.3 ELABORACIÓN DE LADRILLOS PROBETA A NIVEL DE LABORATORIO.- Aleatoriamente se realizó en el laboratorio una simulación de elaboración del ladrillo obteniendo probetas, con el fin de controlar el comportamiento del material arcilloso durante todo el proceso, produciéndose consecutivamente las siguientes operaciones.

Los pasos que siguen al elaborar los ladrillos en la Asociación son los siguientes:

- Recolección de la arcilla del yacimiento a los hornos
- Molienda de la arcilla usando un molino de bolas
- Amasado de la arcilla con agua
- Reposo de la arcilla durante 12 horas
- Moldeado de la arcilla usando una moldeadora, galletera
- Recolección del ladrillo moldeado y afilado
- Secado durante 3 días a temperatura ambiente
- Llenado del horno con ladrillos
- Calentamiento del horno durante un día a leña
- Cocción de ladrillos durante 3 noches y 2 días con gas licuado y oxígeno
- Apagado y vaciado del horno
- Afilado de ladrillos terminados

3.4 MÉTODOS DE VITRIFICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA.- Para esto se tomó como base una composición conocida de obtención

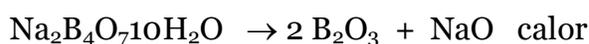
de vidrios de boro silicato con los siguientes elementos y con los siguientes porcentajes, como se muestra en la tabla 2:

Compuesto	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	B ₂ O ₃	NaO
Porcentaje (%p/p)	35	5	5	35	15

Tabla2: Composición de vidrios de boro silicato

Se toman los componentes básicos para obtener vidrios modificando el uso de B₂O₃ por Bórax, CaO por carbonato de calcio y NaO por carbonato de Sodio considerando que, la acción de estas variaciones no afectara la composición inicial, por las reacciones que suceden, mostradas a continuación:

Bórax:



Oxido de Calcio:



Oxido de Sodio:



Se llevan a pesar en las siguientes cantidades obteniendo una masa final de 10g de materia vítrea, mostradas en la tabla 3:

Compuesto	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	Borax	NaCO ₃
Porcentaje	35%	5%	5%	40%	15%
Masa exper. (gr)	3.525	0.524	0.906	5.808	2.576

Tabla3: Cantidades pesadas de cada componente para vidrios de boro silicato.

Una vez pesadas, estas fueron mezcladas para luego ser molidas con el uso de un mortero de ágata y colocadas sobre un soporte de la arcilla roja de la ACR, se realizó por duplicado una con bizcocho y otra secada a temperatura ambiente y llevadas a horno eléctrico durante 3 horas a 800°C. Ref 17.

3.4.1 MÉTODO DE VITRIFICACIÓN COLOREADA POR ADICIÓN DE ÓXIDOS.- Una vez obtenido la composición optima de mezcla de óxidos del vidrio de

boro silicato base, ahora se pasa a agregar diferentes óxidos de los metales de transición para darles una coloración, para esto se agrego a nuestra muestra de vidrio porcentajes de 1% y 2% de los siguientes óxidos:

LiCO_3 ; CuO ; ZnO ; Fe_2O_3 ; TiO_2 ; NiO ; Cr_2O_3 ; Co SO_4

Estas mezclas se llevaron a moler a un mortero para mezclarlos y se colocaron sobre soportes de arcilla roja, trabajando en un horno eléctrico durante 3 horas a una temperatura de 800°C .

3.4.2 MÉTODO DE VITRIFICACIÓN COLOREADA POR ADICCIÓN DE MINERALES.- Ahora se trabajara con minerales obtenidos de lugares de Bolivia, contenidos de porcentaje alto con algunos elementos que se añadieron en el anterior punto, los minerales con los que se trabajan es, mostrados en la tabla 4:

Mineral	Composición	Origen
Esfalerita	ZnS	Cerro Rico (Potosí)
Malaquita	Cu CO_3	Mina Coro Coro (La Paz)
Especularita	Fe_2O_3	Pachecala (La Paz)
Especularita (tratada)	Fe_2O_3	Pachecala (La Paz)

Tabla4: Minerales utilizados, composición y origen.

Estos minerales fueron molidos y agregados a mezcla base de vidrios en porcentaje de 2% y 4% como peso en bruto, para hacer más notorio el resultado, en un soporte de material arcilloso de la ACR, en un horno eléctrico durante 3 horas a una temperatura de 800°C .

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES.-

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA.- Se tomaron tres muestras de diferentes lugares de los yacimientos, como muestra la figura 10:



Figura10: Ubicación de lugares de extracción de las muestras



Figura 11: Las tres muestras de arcilla A-01; A-02; A-03 respectivamente

El resultado de los espectros de fluorescencia de rayos X nos muestran los elementos presentes en cada muestra, mostradas en las figuras 12,13,14.

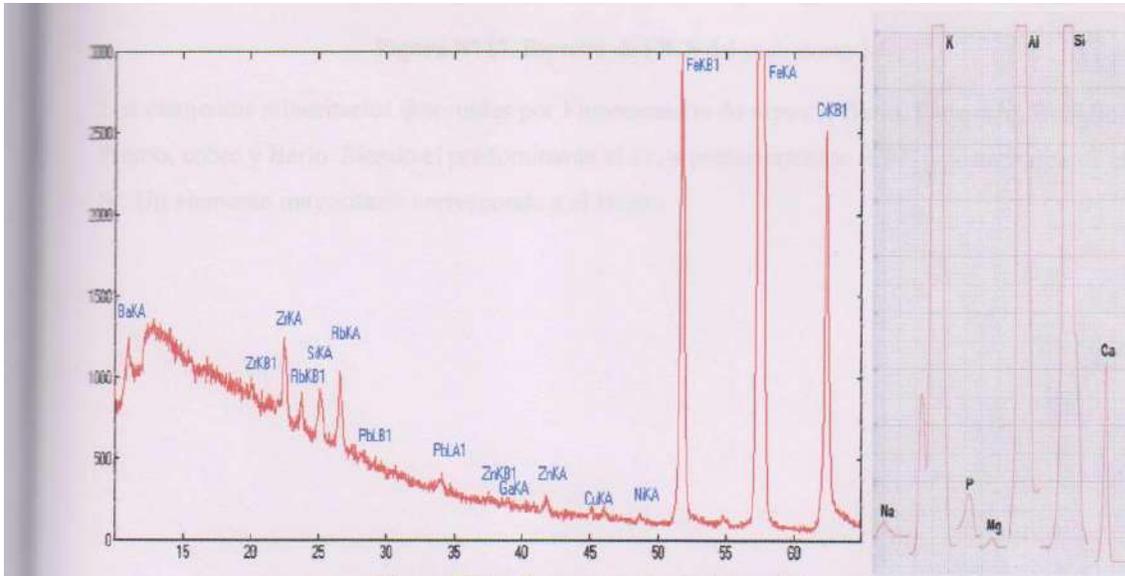


Figura 12: Espectro de fluorescencia de la muestra A-01

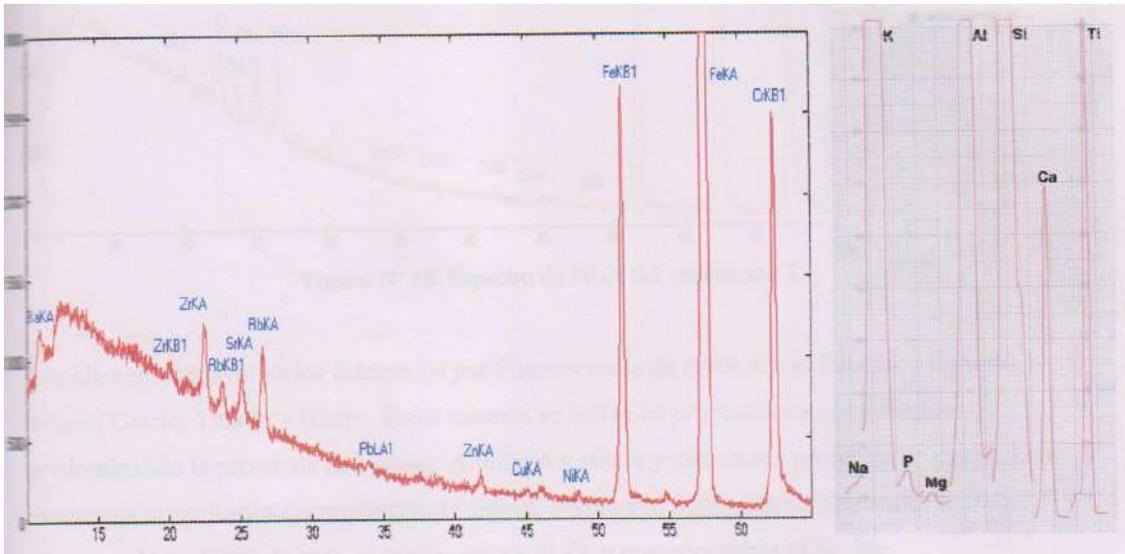


Figura 13: Espectro de fluorescencia de la muestra A-02

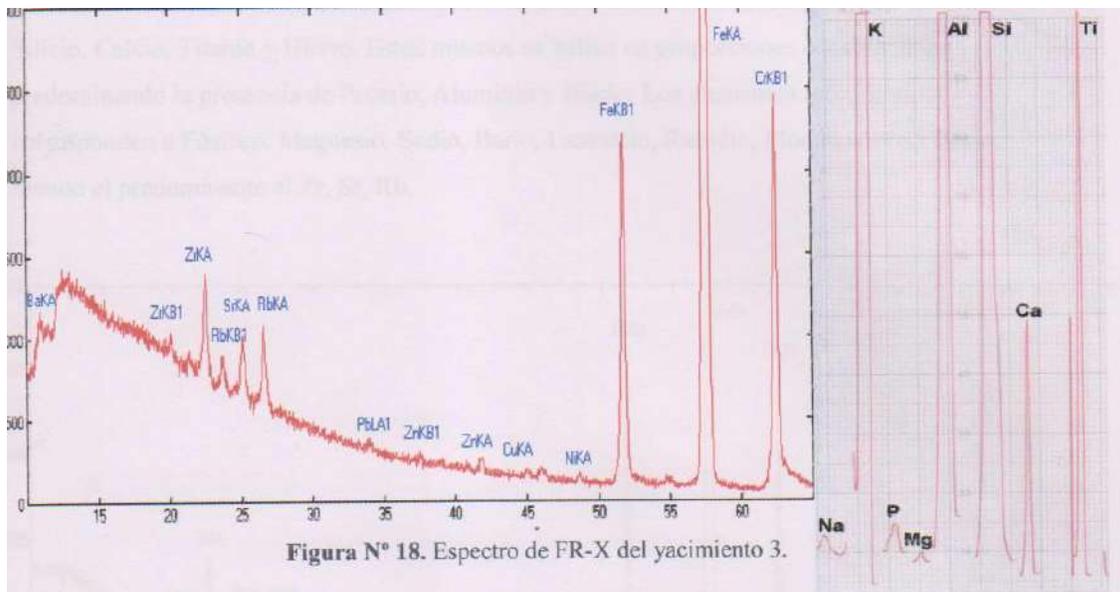


Figura 14. Espectro de fluorescencia de la muestra A-03

Estos espectros nos ayudaron a conocer los elementos mayoritarios, minoritarios y traza en cada una de las muestras, que se muestran en la tabla 5:

Muestra	Elem. Mayoritarios >5%	Elem. Minoritarios (0.5%-5%)	Elem. Traza <0.5
A-01	K, Al, Si, Ca, Fe	P, Mg, Na, Ba, Pb, Cu	Rb, Zr, Sr,
A-02	K, Al, Si, Ti, Ca, Fe	P, Mg, Na, Ba, Pb, Cu	Rb, Zr, Sr,
A-03	K, Al, Si, Ti, Ca, Fe	P, Mg, Na, Ba, Pb, Cu	Rb, Zr, Sr,

Tabla 5: Elementos de cada muestra obtenidos por FRX

Con los resultados obtenidos podemos notar que los elementos, son elementos que se esperaríamos encontrar en el lugar, porque son comunes en la composición de las arcillas y la tierra. Además la presencia de Silicio puede provenir en parte del cuarzo que tiene en su composición y de la materia arcillosa, Aluminio indicando la presencia de material arcilloso, ya que las arcillas son aluminosilicatos, el Potasio que puede provenir de la presencia de feldespatos de tipo potásico, y el Calcio proveniente de la piedra caliza que existiera en el material arcilloso. El hierro, confirmándonos la presencia de una arcilla de tipo illítica. También se sabe que esta materia prima contiene arena, piedras y los demás elementos que son provenientes de la naturaleza del lugar.

Después se pasa a obtener los difractogramas de rayos X para cada muestra, que se muestran a continuación en las figuras 15,16,17.

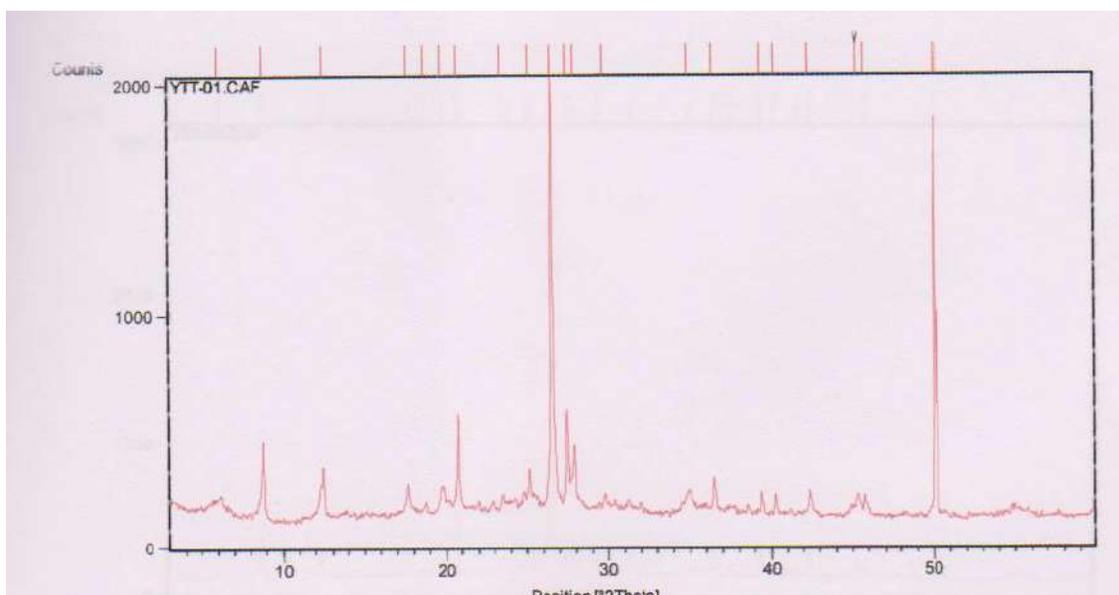


Figura 15: Espectro de rayos X de la muestra A-01

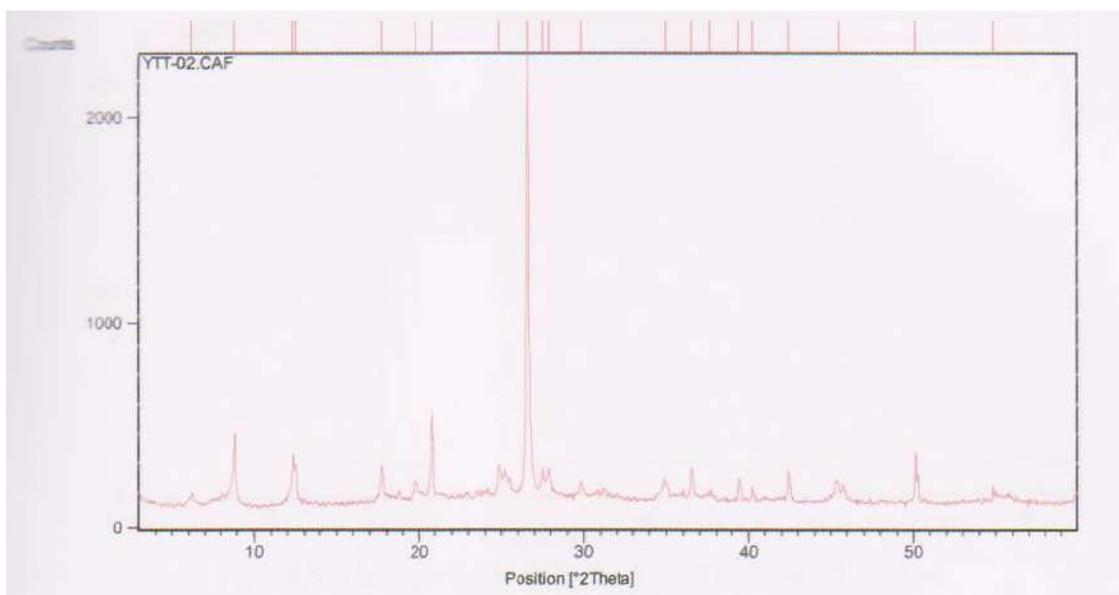


Figura 16: Espectro de Rayos X de la muestra A-02

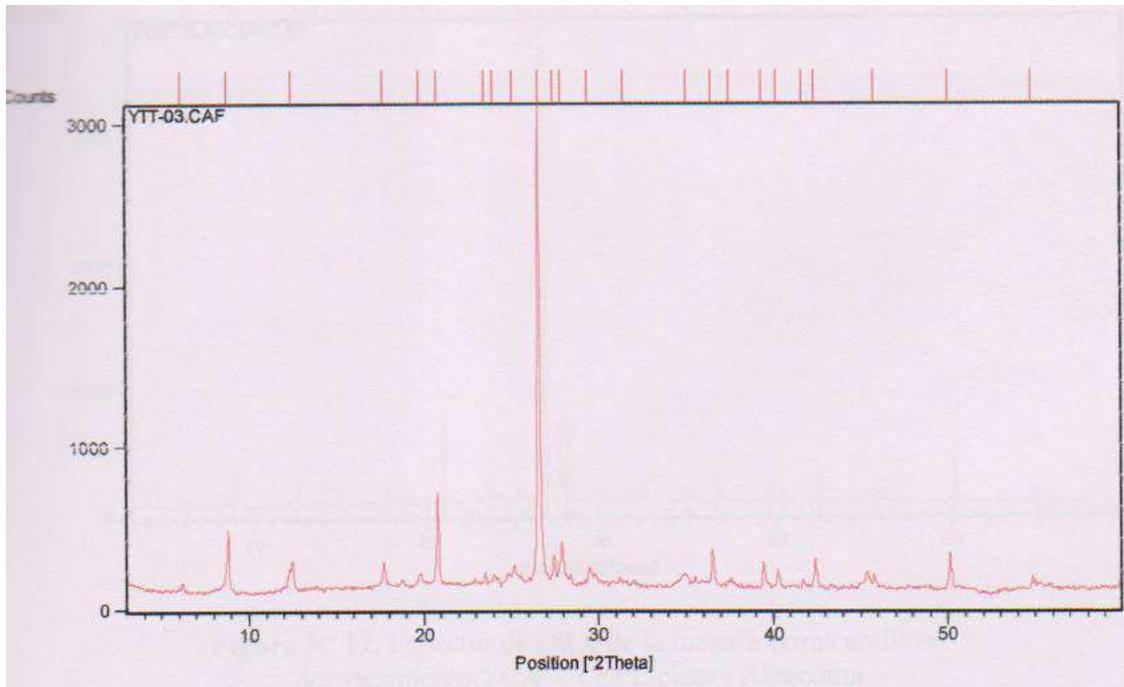


Figura 17: Espectro de Rayos X de la muestra A-03

A partir de los espectros de las graficas 4,5 y 6, podemos realizar una caracterizacion de fases de la materia prima de Llojeta-Alpacoma obteniendo los porcentajes de fases de cuarzo, arcilla y feldespato de las tres muestras, que son mostradas a continuacion en la tabla 6, los cuales son necesarias para ubicarlas en el diagrama de fases de los materiales ceramicos:

Muestra	% Cuarzo	%Arcilla	%Feldespato
A-01	60	25	15
A-02	72	26	4
A-03	65	30	5

Tabla 6: Porcentajes de cuarzo, arcilla y feldespato, en cada muestra.

Obtenidos estos porcentajes se ubican en el diagrama trifásico de materiales cerámicos, en la figura 18:

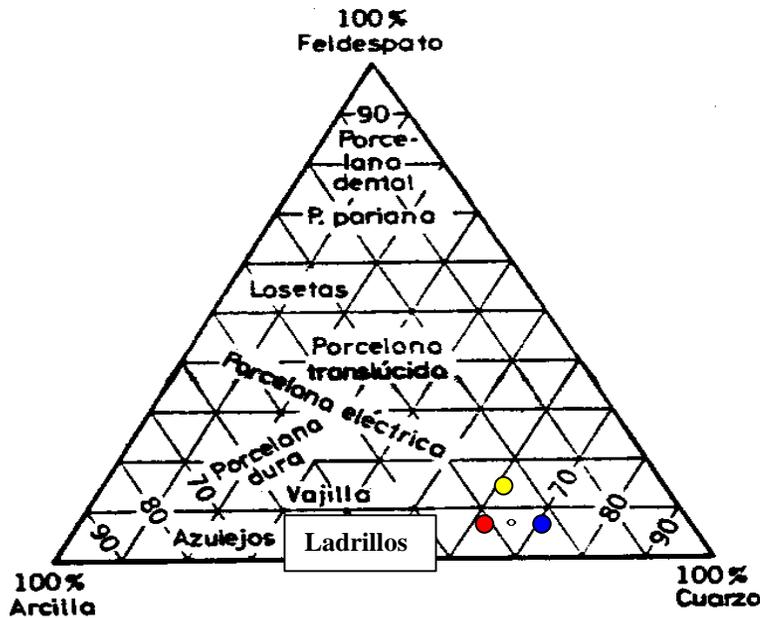


Figura 18: Ubicación de componentes de cada muestra. Amarilla muestra A-01; Azul muestra A-02; Roja muestra A-03.

Se puede identificar que en las tres muestras caracterizadas, mostradas en el diagrama de la figura 9, estas se encuentran ubicadas muy cercanas entre sí, variando en un 5% en cada componente, a pesar de que las composiciones muestran que no es una materia prima que se pueda utilizar óptimamente para elaboración de ladrillos, ya que contienen mucho más cuarzo del necesario, a pesar de esto esta materia prima de Llojeta es utilizada para obtener ladrillos; la manera para modificar la composición de la materia prima para elaborar ladrillos, es adicionando mayor porcentaje de arcilla.

Las tres muestras de arcilla presentan dificultad en el caso que se quiera realizar materiales cerámicos distintos al ladrillo, ya sea disminuyendo la cantidad de cuarzo o aumentando la cantidad de feldespato o la variación de ambos acorde al material cerámico que se quiera obtener. Con la composición de la materia prima, los

materiales cerámicos que podemos obtener son los azulejos y vajillas, simplemente adicionando a la materia prima, cantidades de material de alta pureza en arcilla, haciendo que la composición se desplace a la izquierda. También existe la posibilidad de separar el feldespato y cuarzo de la arcilla, por métodos gravimétricos, realizando una concentración de la parte arcillosa, importante para elaborar materiales cerámicos.

Con todos estos estudios realizador, puede concluir que la materia prima de Llojeta que, en su composición mineralógica contiene principalmente a cuarzo calificado como la fase más abundante presentándose en una cantidad promedio del 63.5%, seguida en menor cantidad por arcillas como illita en un porcentaje de 22.7%, montmorillonita 5.2%, clorita 3.5%, muscovita 2,6% y, además feldespatos variedad sanidina 4.5%. La estructura laminar, básica de una arcilla Illitica es como se muestra en la figura 19.

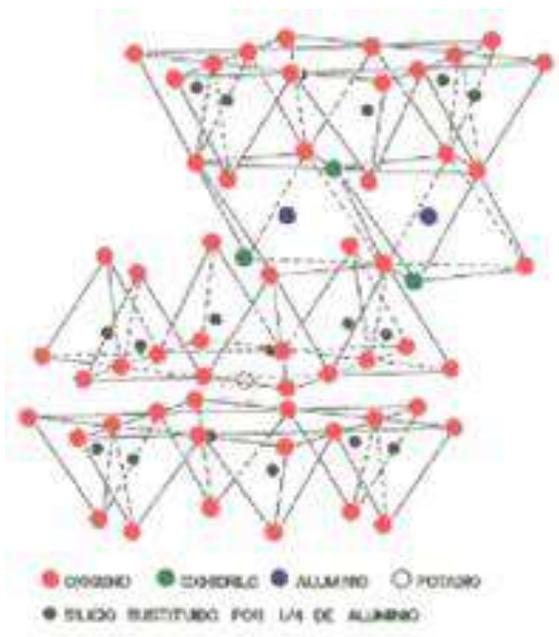


Figura19: Estructura laminar de una arcilla illitica.

También presenta en su contenido arena, contenida en un 30% del total de volumen, se deberán tomar medidas inmediatas para eliminar dicho contenido, ya que esta es perjudicial para el manejo de la arcilla, con el fin de obtener materiales cerámicos y disminuir la presencia de eflorescencia de ellos. En el análisis de plasticidad, se

observa que la materia prima presenta una buena plasticidad, lo que asegura que puede ser destinada a otro uso cerámico.

4.2 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS QUÍMICOS EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE LA “ACR”.- Realizada la encuesta se pasa a ver los resultados en la tabla 7, bajo los parámetros antes mencionados:

ASOCIADO	DOSIFICAR		AMASADO		MOLDEADO		SECADO		COCCION			PRODUCTO	
	Cantidad	Vol. Agua	Equipo	Tiempo	Equipo	Dimensión y Grosor	Tiempo	Falencias	Horno	Combustión	Tiempo	Producidos	Desechados
Roman Rojas	6 cubos 1 cubo		Molino bolas. Un día		Galletera L=50.1 A=24.1 H=5.2 ¹		2 días Fisuras Burbujas Grietas		Adobe GLP y O ₂ 3 días			20000 elab. 1000 perd. ²	
Santiago Yujra	6 cubos 1 cubo		Molino bolas. 1/2 día		Galletera L=48.9 A=24.2 H=5.2		2 días Fisuras Piedras		Adobe GLP y O ₂ 2-3 días			28000 elab. 500 perd.	
Panfilo Quintana	6 cubos 1 cubo		Molino bolas. Un día		Galletera L=49.3 A=24.6 H=5.3		2 días Fisuras Burbujas		Adobe Aserrin y leña 3 días			20000 elab. 1000 perd.	
Feliciano Yujra	6 cubos 1 cubo		Molino bolas. 1/2 día		Galletera L=49.3 A=24.8 H=4.8		2-3 días Grietas Burbujas		Adobe GLP y O ₂ 3 días			27000 elab. 500 perd.	
Julian Diaz	6 cubos 1 cubo		Molino bolas. 8 horas		Galletera L=49.3 A=23.9 H=4.5		2 días Fisuras Burbujas Piedra		Adobe GLP y O ₂ 3 días			28000 elab. 5000 perd.	
Regina Patzi	6 cubos		Molino		Galletera		2 días		Adobe			20000 elab.	

	1 cubo	bolas. Un día	L=48.9 A=24.2 H=4.9	Greda Fisuras Burbujas	GLP y O2 3 días	1000 perd.
Faustino Choque	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. 1/2 día	Galletera L=49.6 A=24.1 H=5.3	2-3 días Fisuras Rotos Burbujas	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Noel Escobar	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. Un día	Galletera L=50.2 A=23.8 H=4.9	2 días Afloracion	Adobe Leña y aserrin 3 días	30000 elab. 6000 perd.
Alberto Alanoca	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. 1/2 día	Galletera L=50.0 A=23.9 H=4.6	2 días Piedras Afloracion Burbujas	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Manuel Flores	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. 1/2 día	Galletera L=49.3 A=23.5 H=4.7	2 días Burbujas	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Willy Siles	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. Un día	Galletera L=49.2 A=23.6 H=4.8	2 días Grietas Greda	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Raúl Paredes	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. 8-10 horas	Galletera L=49.8 A=23.9 H=4.9	2 días Fisuras Afloracion Burbujas	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Julio Castro	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. Un día	Galletera L=50.2 A=23.7 H=4.8	2 días Piedras Burbujas	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Celia Alcon	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. Un día	Galletera L=50.0 A=23.8 H=4.9	2 días Ninguno	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Luis Laura	6 1/2 cubos 2 cubo	Molino bolas. 2 días	Galletera L=49.8 A=23.7 H=4.8	3-4 días Lama Piedras	Adobe GLP y O2 3 días	30000 elab. 3000 perd.
Felix Machaca	4 cubos 1/2 cubo	Molino bolas. Un día	Galletera L=49.3 A=23.9	1 1/2 días Fisuras Burbujas	Adobe Aserrin y leña 3 días	20000 elab. 1000 perd.

			H=4.7			
Mario Quispe	4 cubos 1 cubo	Molino bolas. 1/2 día	Galletera L=49.8 A=23.8 H=4.9	2 días Fisuras Burbujas Sol rajadura	Adobe Aserrin y leña 3 días	8000 elab. 500 perd.
Venancio Coronel	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. Un día	Galletera L=49.9 A=23.6 H=4.8	2 días Fisuras Burbujas Grietas	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 500 perd.
Angel Paredes	6 cubos 1 cubo	Molino bolas. 1 1/2 día	Galletera L=50.3 A=24.2 H=4.9	2 días Fisuras Lama	Adobe GLP y O2 3 días	20000 elab. 1000 perd.
Rigoberto Paco	4-5 cubos 1 cubo	Molino bolas. 1/2 día	Galletera L=50.6 A=25.5 H=5.2	2 días Fisuras	Adobe GLP y O2 3 días	7000 elab. 450 perd.

¹ L=altura; a=ancho; h=altura

² elab.=elaborados; perd= perdidos

Tabla 7: Resultado de la encuesta.

Durante el proceso de elaboración de encuestas a los Asociados, se pudieron observar diferentes falencias, como:

- *Molido insuficiente de la arcilla durante el uso del molino.
- *Temperatura variante durante el secado de ladrillos.
- *Presencia de fisuras, erupciones y grietas durante el secado de los ladrillos.
- *Variaciones de temperatura durante el horneado.
- *Conocimientos bajos de su arcilla, sin saber su composición por ende sus beneficios.
- *Pérdida de ladrillos por desconocimiento de la arcilla
- *Tecnología rudimentaria, manejo de materiales artesanales, en cuanto a equipos.
- *Falta de laboratorios para control de calidad.
- *Falta de conocimiento en normas de elaboración de ladrillos.
- *Falta de conocimientos en otros fines para su arcilla, como ser elaboración de nuevos materiales cerámicos, como; azulejos o ladrillos vidriados.
- *Mercado limitado.

Teniendo como base la figura 20, de elaboración de ladrillos se pasa a evaluar los datos recabados de los asociados. Con los puntos mencionados, anteriormente.

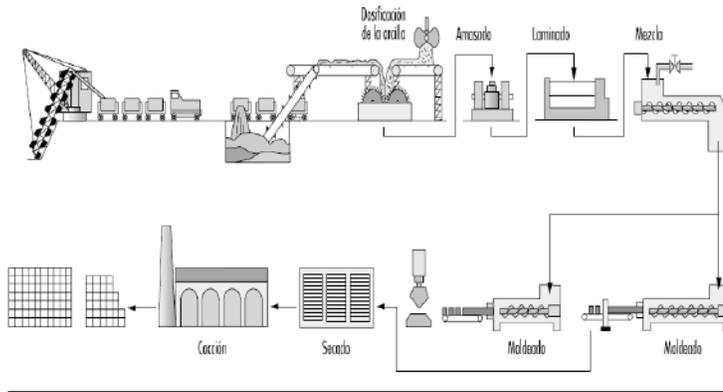


Figura 20: Pasos de elaboración de ladrillos en la industria

Dosificación: Como se muestra en la figura 21, en la Asociación se recolecta la materia prima, del yacimiento al lugar de acopio de la materia prima para la elaboración de ladrillos. En la asociación en promedio utilizan por cocida, 6 cubos de arcilla, por 1 ½ cubos de agua, es decir que por cada 40g de materia prima se utiliza 11ml de agua, haciendo que estas partículas de arcilla absorber hidrosópicamente hasta el 27.5% en peso, de agua. La cantidad de agua utilizada es pequeña ya que bajo las condiciones que se encuentra esta arcilla en los yacimientos, esta ya se encuentra hidratada por razones naturales haciendo que la cantidad de agua utilizada disminuya.



Figura 21 : Proceso de acopio de materia prima

Lo que debería realizarse en la ladrillera, en este paso, antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

Se debe recolecta la arcilla del yacimiento a la zona de maquinaria y horno, colocando la arcilla a la intemperie donde la finalidad es de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) favorecerá, además, la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtendrá un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

Amasado: Como se muestra en la figura 22, en la Asociación previo al amasado se realiza un solo molido, utilizando un molino de bolas donde se espera triturar y obtener una arcilla fina, en esta asociación el equipo utilizado necesita que muele mucho mas fino, ya que en su manejo de la materia prima una vez molida contiene partículas de arena y piedra que ocasionan fisuras y eflorescencia durante el proceso.



Figura 22: Molino de bolas utilizado para molienda

Los equipos que se podrían adicionar para obtener una buena molienda de la materia prima, pueden ser:

- *Rompe-terrones*: como su propio nombre indica, sirve para reducir las dimensiones de los terrones hasta un diámetro de entre 15 y 30 mm.
- *Eliminador de piedras*: está constituido, generalmente, por dos cilindros que giran a diferentes velocidades, capaces de separar la arcilla de las piedras.
- *Desintegrador*: se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, más duros y compactos, por la acción de una serie de cilindros dentados.
- *Laminador refinador*: está formado por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación, entre sí, de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla someténdola a un aplastamiento y un planchado que hacen aún más pequeñas las partículas.

Con estos equipos se consigue la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar, todavía, en el interior del material.

Para el proceso de amasado, en la asociación esta paso es conjunto, utilizando el molino de bolas y adiciona el agua en el momento posterior a su molienda, sin hacer un molido riguroso que es en parte el momento más provechoso para una buena elaboración de ladrillos. Luego una vez molida y adicionada el agua, pasan esta mezcla a un cuarto donde reposa 1 día, en la figura 23 se muestra este hecho.



Figura 23: amasado y reposo del material arcilloso

En la etapa de reposo, la parte arcillosa de la materia prima, interactúa con el agua y sus demás componentes para lograr una mezcla de ellos y adquiera la plasticidad suficiente para ser moldeada, muy distinta de cuando está seca, que presenta un aspecto terroso.

Moldeado: En la Asociación, en esta paso se pasa la arcilla a través de la galletera, que es una maquina de una boquilla que es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere producir, en este caso la forma de un ladrillo, como se muestra en la figura 24 la maquina para moldear y en la figura 25 el moldeado de ladrillos.



Figura 24 : Maquina para el moldeado

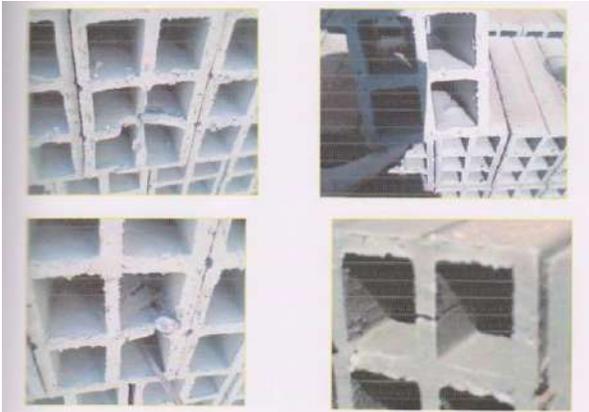


Figura 25: Moldeado del ladrillo

En esta etapa, la maquina moldeadora debe cumplir ciertas exigencias, debe eliminar toda presencia de aire que se presente, realizar un compactado lo máximo posible, incorporar un dosificador de la mezcla, para que el moldeado sea continuo.

Secado: En la asociación el secado se realiza a la intemperie durante 3 días en promedio, mostradas en la figura 26, ya sea en día soleado, nublado, hasta en lluvia; momento donde se presentan las mayores falencias, como fisuras, grietas, eflorescencia, lama y burbujas de aire, mostradas en la figura 27.





Figuras 27: Falencias presentadas durante el secado

En el proceso de elaboración de ladrillos, el secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para de esta manera, poder pasar a la fase de cocción. Para ello, debe lograrse un secado homogéneo, que lleguen a secar a la misma temperatura y mismo tiempo, ubicando en buena posición el afilado de ladrillos para lograr el objetivo, o también implementar una manera de utilizar el uso de los hornos cuando los ladrillos ya cocidos sé están enfriando, de modo que este calor no sea perdido y sea utilizado de manera inteligente.

Cocción: El horneado se realiza en un horno semicircular tubular de 30m de largo y 2.5m de alto hecho con adobe, con 8 orificios en su techo que conectan hacia salidas de gas GLP, en su mayoría. Es llenado el horno con los ladrillos y calentada con leña para evitar choque térmico. Se realiza la cocción durante 3 días en su mayoría, la temperatura de la zona de cocción varia entre 900 °C - 1000 °C y 1100 °C. Temperaturas que se miden en diferentes lugares del horno con el uso de una termocupla (trabajo realizado en el proyecto elaborado con el apoyo de ingenieros de la universidad). En hornos que cosen los ladrillos con aserrín tienen mas perdidas ya que la temperatura es muy variante entre los 800 °C hasta 900 °C sin llegar a la temperatura requerida de 1000 °C, obteniendo unos ladrillos poco colorados y sin sinterizar.

En esta etapa también debe tenerse en cuenta muchas consideraciones, es durante la cocción donde se produce la sinterización, de manera que la cocción resulta una de las instancias cruciales del proceso en lo que a la resistencia del ladrillo respecta; como que, en el interior del horno, la temperatura debería variar de forma continua, circular y uniforme entre los 900 °C y 1000 °C. El material secado se debería colocar en carros especiales, en paquetes estándar y alimentado continuamente por una de las extremidades del túnel (de dónde sale por el extremo opuesto una vez que está cocido).

Producto: En la asociación, una vez cocido los ladrillos se pasa a abrir la puerta y esperar a que enfríe el horno de forma natural para luego vaciarlo, momento donde se observan los ladrillos quemados, figura 28, perdida en promedio del 5% al 20%, la perdida puede disminuir, si se tiene un buen control de la temperatura, tal que esta sea constante y uniforme dentro del horno, durante toda la etapa de cocción.



Figura 28: Ladrillos perdidos por quemada

4.3 RESULTADOS DE LAS PROBETAS REALIZADAS EN LABORATORIO.-

Teniendo una base más sólida de la forma correcta de elaboración de ladrillos, se pasa a realizar probetas en laboratorio, bajo los siguientes pasos:

Molienda: Se pasa a moler la materia prima, primero en un mortero, pasando por un molidor mecánico y para lograr una eficacia en el molido, se pasa a tamizar a malla 200. Obteniendo una buena disgregación y molido de la materia prima.

Amasado: Para esto se toma 40 gr de la materia prima y se agrega 11 ml de agua logrando una buena pasta, la cual es amasada y golpeada para lograr la máxima hidratación y plasticidad a la arcilla.

Reposado: Una vez amasada se deja a la intemperie durante un día.

Moldeado: Para simular en uso de la galletera, en esta etapa utilizamos una empastilladora, que nos ayuda a obtener un material compacto.

Secado: Para esto se deja la materia prima ya moldeada a la intemperie, para su secado, durante un día, tiempo suficiente de secado del material.

Cocido: El cocido se realiza en un horno eléctrico, trabajando a temperaturas de 800-900-1000°C. Obteniendo el mismo resultado que los de la asociación trabajando a una temperatura de 900°C durante 1 día, tiempo suficiente para la cantidad elaborada.

Producto.- Una vez cocido, estos se llevaron a hacer pruebas de resistencia, pruebas que se deben cumplir para obtención de ladrillos según normas estándares. (trabajo realizado por Angélica Mita), obteniendo buenos resultados de las probetas realizadas de esta manera.

4.4 MATERIALES VITRIOCERAMICOS.-

4.4.1 VITRIFICADO DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA.- Se puede observar que el tiempo utilizado de 3 horas y la temperatura de 800 °C es suficiente para lograr el vidriado, ya que en la composición del vidrio de borosilicato (tabla 2) se tiene bastante bórax utilizado como formador de vidrio, que se realiza a tiempos cortos y temperaturas bajas aminorando tiempo y costo. Obteniendo una buena adherencia, sinterización y vitrificación.

La figura 29 nos muestra este hecho.

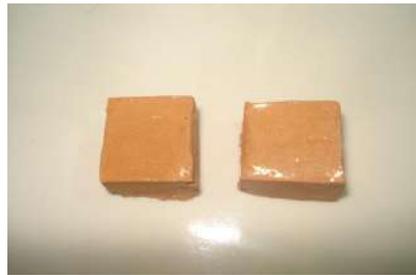


Figura 29: Vitrificado sobre el material arcilloso

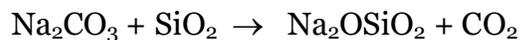
En general podemos observar que la implementación para la elaboración de vitrioceramicos en la asociación es viable, ya que se tiene el espacio, la facilidad de hacer y conseguir tanto materiales como maquinaria.

Lo que podemos observar durante el realizado de los vitrioceramicos, ocurren diferentes procesos en tres tipos:

La primera; La formación de la red vítrea, la reacción se inicia en la superficie de los granos, en los puntos de mayor actividad, donde existen cargas libres y valencias sin saturar, y es más eficaz cuanto mayor sea la superficie específica de los granos y más íntimo su contacto, durante el proceso de vitrificación ocurre diferentes reacciones, la incorporación de bórax a la composición, acelera la reacción, haciendo

que estas reacciones que ocurren sucedan a temperaturas menores; la importancia de vidrios con contenido en bórax es que eleva su estabilidad química frente a los ácidos y en su bajo coeficiente de dilatación que le da una buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura, ya que actúa como acelerador de fusión, los iones boro adoptan coordinación triangular, que pasan a tetraédricas a una relación molar determinada, favoreciendo la fusibilidad y disminuyendo la tensión superficial del vidrio, lo que facilita el afinado y permite reducir los tiempos de fusión.

Ocurren diferentes reacciones con los componentes de la mezcla vítrea, como la descomposición del Na_2CO_3 que empieza a producir a unos 550°C dando lugar a la formación de metasilicato sodico, de acuerdo a la reacción:



A unos 700°C ocurre con el Na_2O y el carbonato sódico:



Las reacciones entre el CaO-SiO_2 , es la descomposición del carbonato cálcico que se inicia a 400°C y se acelera con la temperatura, la presencia de sílice acelera la descomposición del carbonato.

A unos 600°C se forma el carbonato doble de sodio y calcio $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ que funde a 813°C .

En cuanto a la velocidad que transcurre la reacción de la mezcla ternaria de carbonato sódico, cálcico y sílice, a temperaturas inferiores a 850°C .

Se debe considerar algunos factores, como la disminución de la presión que influye sobre la velocidad de descomposición del carbonato. El tamaño de grano influye sobre la reacción entre la sílice y el carbonato sódico, como indica la ref 10.

La segunda, el material arcilloso que se discutió anteriormente, empieza a cocerse de forma normal a los 700 y 800°C , como se describió en la metodología, se realizaron dos pruebas, una prueba con un material arcilloso previamente cocido, se observó que la influencia en los materiales cerámicos es darle una coloración más intensa, mas

naranja, en el caso del material arcilloso usado sin previa cocción se obtuvieron los mismos resultados, pero este tuvo una menor coloración.

La tercera, y la más importante la interacción entre la parte vítrea y el material arcilloso; haciendo que entre ellos haya una cohesión, mostrando lugares dentro de la arcilla donde presenta compositos donde interactúan con la red vítrea; formando una matriz vítrea, partículas sin reaccionar, puentes, reacción en estado sólido y poros. Donde la fase vítrea se introduce, presentando una interacción entre la arcilla y en vidrio. No debemos olvidar también que el soporte de arcilla, presenta en su composición cuarzo y elementos como aluminio y calcio, haciendo de este en sistema de características similares, presentando interacción entre ellos, por tener similar composición, y presentando también la formación de una red vítrea entre los componentes del vidrio y del material arcilloso.

Toda cerámica, genera cierta cantidad de fase amorfa-liquida, el líquido residual, suele disolver a otros minerales, que una vez solidificado es el aglomerado que contiene unidos a la fase vítrea como a la cerámica, donde la calidad y la cantidad de uniones o puentes de unión, dependen de la naturaleza de la arcilla. Además la arcilla tiene comúnmente feldespato, el cual no se descompone, pero sí a temperaturas altas.

4.4.1.1 VITRIFICADO COLOREADO DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA CON ÓXIDOS.- Se toma ahora la adición de otro tipo de óxidos para diferentes fines.

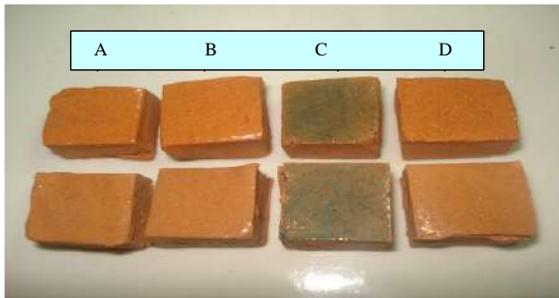


Figura 30: Materiales vitrioceramicos de Li(A),Zn(B),Cu(C),Fe(D).

En la figura 30 se tienen los vitrioceramicos de óxidos de Li, Zn, Cu, Fe.

Para tener la posibilidad de variar en cuanto colores, se le adicionaron otros óxidos de los metales de transición, en la figura 31 se tiene los vitrioceramicos de los óxidos de Ti, Co, Cr, Ni.

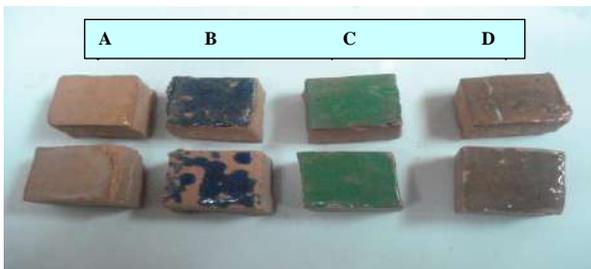


Figura 31: Materiales vitrioceramicos de Ti(A),Co(B),Cr(C),Ni(D)

Se pueden observar que en todos ellos se produce una vitrificación y adherencia al material cerámico. Obteniendo buenos resultados, la falencia de obtener vidrios coloreados es que por la naturaleza de la materia prima, esta ya tiene color, proveniente del contenido en hierro, haciendo que los colores no sean muy notorios, como en el caso del titanio, zinc, níquel y hierro. Además que todavía se necesitan ampliar estudios al respecto, pero ya con las pruebas básicas que se hicieron, nos muestran que los vitrioceramicos coloreados pueden ser realizados, utilizándolos para diferentes fines.

Se evaluara cada oxido incorporado al material arcilloso, por separada:

Vidriado con Litio: En la figura 32, se observa un vitrioceramico de litio, presentando buena vitrificación, homogeneidad y no presenta coloración, por no tener orbitales d en su configuración. Con la adición de litio para vitrioceramicos podemos lograr una reducción de la temperatura de fusión de vitrificación, reduce la expansión térmica, produciendo un producto estable, resistente al calor, mejora el brillo de los vidrios y su fluidez y con coeficiente bajo de dilatación.



Figura 32: Material Vitrioceramico de Litio

Vidriado con Zinc: En la figura 33, se observa un vitrioceramico de zinc, presentando buena vitrificación y no presenta coloración. La adición de zinc en los vidrios adquiere propiedades fotocatalíticas ayudando en procesos de descontaminación. El óxido de zinc es un fúndente, en los vitrioceramicos, aumenta el brillo, mejora la opacidad, aumenta el mate, alarga el rango de maduración, eleva el poder de dispersión, actuando como un reforzador de la acción opacificante.

Mejora el brillo de los colores azules, rosa (Cr-Al) y marrones, así como limpia los azules, aviva los marrones y daña a los verdes de cobre y cromo y a los rosas de Cr-Ti.



Figura 33: Material Vitrioceramico de Zinc

Vidriado con Cobre: En la figura 34, se observa un vitriocerámico de cobre, presentando buena vitrificación y coloración verdusca. La coloración azul turquesa producida por los iones Cu^{+2} está determinada por una amplia e intensa banda de absorción situada entre 780 y 810 nm cuya intensidad crece al aumentar la alcalinidad del vidrio a mayores longitudes, haciendo variar la tonalidad del vidrio del verde al azul profundo. De acuerdo con la configuración $3d^9$ que presentan el ion Cu^{+2} , los dos niveles 2T_3 y 2T_5 resultan del desdoblamiento del estado fundamental 2D , es en este caso el nivel 2T_3 el de menor energía y el 2T_5 el de mayor energía.

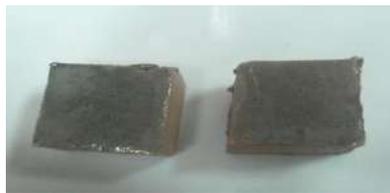


Figura 34: Material Vitriocerámico de Cobre

Vidriado con Hierro: Figura 35, se observa un vitriocerámico de hierro, presentando buena vitrificación y coloración leve amarillenta. Debe tenerse en cuenta que el equilibrio ferroso-férrico y el tipo de simetría que adoptan dichos iones en el vidrio dependen de diferentes factores, como la concentración total del hierro, la naturaleza del vidrio, su alcalinidad y las condiciones redox que se lleva a cabo en la fusión. En los vidrios de silicato la coloración producida varía al decrecer el valor de la relación $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, desde el azul pálido hasta el pardo amarillento. En los vidrios de silicato, los iones Fe^{+2} , determinan una banda de absorción a 440 nm y otras dos más en el infrarrojo situadas a 1100 nm y 2100 nm. La intensidad de todas ellas aumenta al efectuar la fusión bajo condiciones reductoras.

La posición de esta banda concuerda con el valor de la energía que corresponde a la transición $^5T_5 \rightarrow ^5T_3$ de un ion en configuración electrónica $3d^6$, como el ion Fe^{+2} cuando se halla en un campo ligando de simetría octaédrica. Como se muestra en la imagen:



amico de Hierro

Vidriado con Titanio: En la figura 36, se observa un vitriocerámico de titanio, presentando buena vitrificación y no tiene coloración. La forma más estable del titanio en los vidrios es el tetravalente Ti^{+4} , que, como corresponde a su configuración electrónica $3d^0$ es incolora. En vidrios ácidos de borato, estabilizan los iones Ti^{+3} configuración $3d^1$ que se incorpora a la estructura vitria adoptando coordinación octaédrica. El único nivel de energía 2D que presentan los iones libres de Ti^{+3} en su estado fundamental se desdobra bajo un campo octaédrico en otros dos niveles energéticos, uno superior T_3 y otro inferior T_5 . Desde este nivel solo es posible el tránsito de su único electrón al orbital T_3 que se produce mediante el aporte de energía correspondiente a la diferencia entre ambos niveles de excitación, observando una absorción en la región del visible. El Ti en los vidrios de borosilicato presenta una banda principal a 570nm de la transición ${}^2T_5 \rightarrow {}^2T_3$. Como se muestra en la imagen:



Figura 36: Material Vitriocerámico de Titanio

Los vidrios de Ti presentan buenos resultados en vitriocerámicos, estos pueden ser utilizados en lozas para pisos logrando una desinfección del agua, para esto se deben realizar pruebas de fotocatalisis, mostrando que pueden ser realizadas en la Asociación.

Vidriado con Cobalto: En la figura 37, se observa un vitriocerámico de cobalto, presentando buena vitrificación con presencia de aglomeración y coloración azulada. Los iones cobalto, configuración $3d^7$ poseen un energético poder colorante a concentraciones tan bajas como 0.005% son capaces de impartir una intensa coloración azul a los vidrios. Comúnmente adoptan una configuración tetraédrica que originan dos bandas triples de absorción, una en el visible a 540 nm, 590nm y 640nm

a las transiciones de spin permitidas ${}^4T_2 \rightarrow {}^4T_5$; ${}^4T_2 \rightarrow {}^4T_4$ y ${}^4T_2 \rightarrow {}^4T_4$. Las pequeñas variaciones de concentración de Na_2O no influyen sobre estas bandas; también se presenta la formación de iones Co^{+3} en los vidrios de B_2O_3 conteniendo iones bromuro. Como se muestra en la imagen:



Figura 37: Material Vitriocerámico de Cobalto

Vidriado con Cromo: En la figura 38, se observa un vitriocerámico de cromo, presentando buena vitrificación y coloración verde. El cromo puede intervenir en los vidrios tanto en su estado de oxidación Cr^{+3} , como en el de Cr^{+6} . Las de Cr^{+3} es la más estable y la que suele predominar en la mayoría de los vidrios fundidos en condiciones neutras o moderadamente reductoras. La coloración verde esmeralda de los vidrios con cromo se debe a la síntesis aditiva de la luz azul-verde que transfiere los ligandos del ion Cr^{+3} y de la luz amarilla que dejan pasar los complejos de Cr^{+6} . Los iones Cr^{+3} determinan en los vidrios de borato sódico bandas de 440nm y 630 nm, cuya intensidad decrece al aumentar la proporción de Na_2O .

El espectro de los vidrios que contengan Cr^{+3} presentan en la zona del visible una triple banda con tres máximos de absorción a 630 nm, 650nm y 675nm que corresponden respectivamente a transiciones ${}^4T_2 \rightarrow {}^2T_4$; ${}^4T_2 \rightarrow {}^4T_5$ y ${}^4T_2 \rightarrow {}^2T_3$ producidas en los iones Cr^{+3} de configuración $3d^3$ cuando se hallan en un campo ligando octaédrico. Como se muestra en la imagen:



Figura 38: Material Vitriocerámico de Cromo

Vidriado con Níquel: En la figura 39, se observa un vitriocerámico de níquel, presentando buena vitrificación y coloración parda. El níquel solo se ha encontrado en la forma bivalente, configuración $3d^8$, en los vidrios. Los vidrios de Borato presentan bandas mas cortas a 410nm, 640nm y 1550nm. Las coordinaciones octaédricas determinan una coloración amarilla producida por una absorción a 450nm y por otras dos en el infrarrojo que se pueden asignar a transiciones ${}^3T_2 \rightarrow {}^3T_4$ ${}^3T_2 \rightarrow {}^3T_4$ ${}^3T_2 \rightarrow {}^3T_5$. El aumento de la proporción de oxido de sodio en estos vidrios produce una intensidad y desplazamiento de bandas por coordinación octaédrica hacia mayores longitudes. Los iones Ni^{+2} son muy estables en el vidrio y no sufren ninguna



alteración pos cambios de oxidación-reducción. Como se muestra en la imagen:

Figura 39: Material Vitriocerámico de Níquel

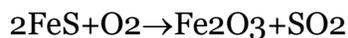
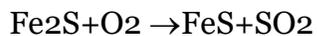
Una vez evaluado cada oxido podemos observar en general la aplicación que se puede hacer para cada oxido, mostrado en la tabla x:

METAL	COLORACION	APLICACIÓN
Litio	Incolora	Loza
Zinc	Incolora	Loza de piscina
Cobre	Coloreada	Loza de color
Hierro	Coloreada	Loza de color
Titanio	Incolora	Loza de piscina
Cobalto	Coloreada	Loza de color
Cromo	Coloreada	Loza de color
Níquel	Coloreada	Loza de color

Tabla 8: Aplicación de los diferentes metales

Se puede resaltar que la obtención de vitriocerámicos puede ser utilizados coloreados o incoloros ya que los resultados son buenos en ambos casos. Además debe tomar en cuenta que la coloración en los metales de cobalto, cromo y hierro, presentan coloración e intensidad del color de acuerdo a la cantidad adicionada, entonces estos pueden ser variados para obtener diferentes tonalidades. También si se quiere obtener mas colores, estos óxidos pueden ser agregados en mezclas, estudio que puede ser realizado posteriormente.

En cuanto al uso de minerales para la vitrificación, puede ocurrir que estos presenten la facilidad de emitir sulfuros, provenientes comúnmente de la pirita, o sulfuros de calcio o de bario, incrementando la emisión de contaminantes de sulfuro, una manera de evitar ello es; realizando reacciones de descomposición con temperaturas a partir de los 700°C, que son:



Disminuyendo la cantidad de contaminantes

Lo que ocurre físicamente en forma general en los vidrios que dan color es que; si se incide un haz de luz blanca sobre un vidrio, pero si absorbe con desigual intensidad y selectivamente, mostrara una coloración que será la resultante de la adición de los restantes componentes espectrales que pasan por el material medido.

Como sabemos, la coloración de los vidrios obtenidos, depende no solo de la constitución electrónica de los cationes colorantes, también de la naturaleza y del numero de los aniones con que se coordinan que influye sobre la intensidad del campo eléctrico que rodea al catión central.

Para explicar la coloración en los vidrios y como estos elementos afectan a la estructura del vidrio ya sea como formador o modificador se debemos hacer el siguiente análisis, teniendo en cuenta su índice de coordinación, hibridación, su interacción, teniendo como base la teoría del campo cristalino, teoría del enlace de valencia y teoría del campo del ligando.

Sabemos que, la teoría del enlace de valencia: Considera que el enlace entre el metal y el ligando es covalente resultado del solapamiento de los orbitales híbridos que se

encuentren vacíos en el ion metálico con los orbitales llenos con electrones de los ligandos.

Y que la teoría del campo ligando: Nos indica que el enlace entre metal y ligando es parcialmente ionico, que acorde a su índice de coordinación que con este forma complejos ya sea octaédricos o tetraédricos dependiendo del tipo de metal, y la relación de radios metal/oxigeno nos dará su numero de coordinación, dándonos el carácter ya sea covalente o ionico, tomando en cuenta los efectos covalentes del enlace, haciendo que esto influya en la en comportamiento del metal en la estructura vítrea.

Y con el uso de la teoría del campo cristalino: Nos ayuda a entender el desdoblamiento de los orbitales d en un entorno, ya sea octaédrico o tetraédrico, considerando el enlace entre el metal y el ligando como una interacción puramente electrostática debido a la acción de los ligandos negativos sobre el metal, ayudando a tener una idea de los espectros de los complejos.

En todos estos elementos utilizados y para todos los elementos de transición, los orbitales d son los responsables de las distintas transiciones y coloraciones que presentan.

También se debe tomar en cuenta como lo indica la ref. 10, con los diferentes niveles energéticos de un ion en estado fundamental se presentara por la notación general ^{2S+1}L , siendo L en numero cuántico correspondiente al momento orbital angular total del ion y S, el momento total de spin o suma de los spines individuales. Recordando que la expresión $2S+1$ indica la multiplicidad, comúnmente con valores de $L=0,1,2,3,4,\dots$ por las letras S,P,D,F,G,H.

Sabiendo que los estados fundamentales S y P no presentan desdoblamiento y los D,F,G se desdoblan en dos, tres, cuatro niveles como se muestra en la tabla 8.

Estado del ion libre	Niveles energéticos (Bitrhe)	Grado de Degeneración	Numero de estados Degenerados
L=0 (S)	T1	1	1
L=1 (P)	T4	3	3
L=2 (D)	T3,T5	2,3	5

L=3 (F)	T ₂ ,T ₄ ,T ₅	1,3,3	7
L=4 (G)	T ₁ ,T ₃ ,T ₄ ,T ₅	1,2,3,3	9
L=5 (H)	T ₃ ,T ₄ ,T ₄ ,T ₅	2,3,3,3	10

Tabla 9: Notación de Birthe para niveles de energía, grado de degeneración y estados degenerados

Mostramos el desdoblamiento de niveles energéticos de algunos iones de transición en estado fundamental bajo la acción de un campo ligando octaédrico, mostrado en la tabla 9:

dⁿ	Iones	^{2s+1}L	Desd. Energéticos
d ¹	Ti ⁺³	² D	T ₃ T ₅
d ³	Cr ⁺³	⁴ F	T ₄ T ₅ T ₂
d ⁵	Fe ⁺³	⁶ S	T ₁
d ⁷	Co ⁺²	⁴ F	T ₂ T ₅ T ₄
d ⁸	Ni ⁺²	³ F	T ₄ T ₅ T ₂
d ⁹	Cu ⁺²	² D	T ₅ T ₃

Tabla 10: Desdoblamiento de niveles energéticos

4.4.1.2 VITRIFICADO DE LA MATERIA PRIMA ARCILLOSA CON MINERALES.- Teniendo en cuenta que los minerales usados en esta etapa tienen las características mencionadas a continuación y la representación fotográfica de cada una de ellas, como muestra la figura 40. Para esto se utilizaron los siguientes minerales:



Figura 40: Malaquita



Especlarita



Esfalerita



Especlarita (trat.)

Malaquita: Este grupo comprende a carbonatos básicos de Cobre, son cristales normalmente aciculares, muy delgado, con frecuencia agrupados o en ramilletes, color verde esmeralda, presentes en cortezas terrosas y aterciopeladas. Composición

de $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 \cdot \text{CuO}$ 71.9%, CO_2 19.9% y H_2O 8.2%, las masas contienen a veces óxidos de hierro y manganeso, arcilla y arena. Aparece como pseudomorfo de la cuprita, azurita y cobre nativo. Este mineral es una alteración normal de los minerales de cobre, resultado de las aguas carbonatadas, por esta razón se encuentra en mayor o menor cantidad en los niveles superiores de todas las minas de cobre. Ref 18

Especularita: Es una variedad de las hematitas. Contienen $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}$ 70% y O 30% pueden tener hasta dióxido de titanio, también contiene óxido ferroso, óxido de magnesio, ácido fosfórico, sílice y arcilla. No fusible. Posee una estructura finamente escamosa y un fuerte brillo metálico, las escamas finas son translúcidas. Se encuentran numerosas regiones. Ref 19

Esfalerita: La fórmula ZnS con 67%. La blenda es naturalmente una mezcla de ZnS con FeS y de pequeñas cantidades de CdS y MnS . Contiene otros elementos como Galio e Indio. El cobre y estaño se encuentran en cuerpitos microscópicos de calcopirita y estannina miscibles a elevada temperatura con el ZnS . Se reconoce por su lustre resinoso peculiar y similar sea en los colores claros acaramelados como en los oscuros rojo marrones. Se pueden encontrar en minas de Porco, San Vicente, Colquiri y Bolívar. Ref 20

En la figura 41, se presentan los resultados de la obtención de vitriocerámicos con el uso de los minerales, ya hablados:

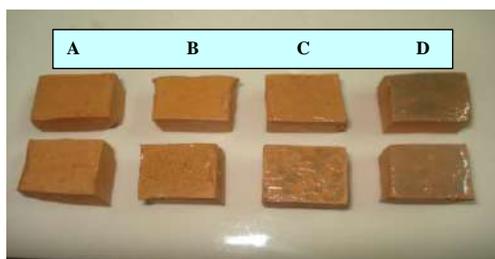


Figura 41: Vitriocerámicos de especularita tratada(A), especularita(B), esfalerita(C), malaquita(D)

De todos ellos y yendo de izquierda a derecha podemos observar que la primera que es realizada con especularita ya tratada, es decir concentrado todo el hierro se observa una vitrificación buena y una coloración levemente amarillenta que no se puede diferenciar por la naturaleza del soporte; en el segundo también se observa

vitricación pero con presencia de impurezas provenientes de la naturaleza del mineral con una coloración leve amarilla parecida a la primera; la tercera incorporación de esfalerita al igual que la segunda presenta vitricación pero con aglomerados y presenta también las impurezas del mineral que puede ser arena u otros elementos presentes en su composición, mostrando una coloración azulada poco intensa sinterizada; para la cuarta incorporación de malaquita se observa una coloración verde proveniente de la coloración característica que da el del cobre, presentando vitricación y impurezas provenientes del mineral. Todas estas, menos la primera, para su uso necesitan ser tratadas para su concentración y así tener buenos resultados. Notarse también que estos minerales pueden ser accesibles, se toma en cuenta que estos resultados son preliminares, necesitan mas estudio, pero como primera prueba, nos muestra la viabilidad de realizarlos a futuro.

También que acorde al mineral utilizado, este puede emitir contaminantes durante su concentrado, como emisión de sulfuros que pueden ser tratados para formar ácido sulfúrico y así disminuir el incremento de contaminación, tema que también debe ser estudiado a futuro.

4.4.1.3 EVALUACION DE FACTIBILIDAD DE FABRICACION DE MATERIALES VITRIOCERAMICOS.- Evaluaremos la posibilidad de fabricación de vitrioceramicos en la asociación de Llojeta teniendo en cuenta los pasos de elaboración de vitrioceramicos.

a) Recepción

Las materias primas son transportadas y almacenada en las dependencias de la industria. Cosa que ocurre de igual manera en la elaboración de ladrillos. Pero ahora se hablaría de recolectar nuevos componentes de diferente procedencia. Paso que se puede realizar con una buena organización.

b) Beneficio

El proceso de beneficio incluye la pulverización, purificación, tamizado, clasificación, calcinación, dispersión en líquido y granulación. También se realiza este paso en

elaboración de ladrillos, con la nueva implementación de equipos este paso sale saldado.

c) Mezcla

El agua es el líquido más comúnmente empleado en la mezcla. Algunos agentes para ayudar el proceso son añadidos a la mezcla cerámica, tales como defloculantes, surfactantes y antiespumante. Este uso quedaría abierto a implementarlo de acuerdo a las necesidades que se presenten durante el proceso.

Para extraer fácilmente el aire, también se suele amasar la pasta en prensas al vacío y pasar a presión por orificios que conducen a una cámara sin aire, donde unas cuchillas giratorias cortan finalmente la pasta. En la asociación se cuenta con el espacio suficiente para implementar este nuevo paso acoplado a toda la estructura del elaborado del ladrillo.

d) Colado o torneado

En la etapa de colado las mezclas, son consolidadas y moldeadas para producir la cohesión del cuerpo, de un tamaño y forma deseada. Este paso también puede ser implementado elaborando moldes y materiales que se quiera realizar en el proceso.

e) Acabado

La pieza de cerámica pasa por una máquina para eliminar las asperezas de la superficie o las vetas, o para modificar la forma. Los métodos empleados incluyen equipos de desgaste superficial, que suavizan la superficie de la cerámica, y de perforación para dar forma, crear hoyos o cavidades.

f) Secado

El método más comúnmente usado para secar la cerámica es por convección, en la cual el aire caliente se hace circular alrededor de la cerámica. A menudo el secado con aire es realizado en hornos de túnel - los que por lo general usan calor recuperado de la zona de enfriamiento del horno. En la asociación durante el enfriado se dejan los hornos que enfríen de forma natural, sin hacer uso de este calor desperdiciado, por

tanto debería pensar en una forma de utilizar este calor con el fin de implementarlo al secado.

g) Bizcocho

Previo a la cocción, a menudo las cerámicas son tratadas con calor a temperaturas por debajo de la temperatura de cocción. El propósito de este procesamiento térmico es proporcionar un secado adicional, vaporizar o descomponer aditivos orgánicos y otras impurezas, y remover agua residual que esta en forma de cristales o que este unida químicamente.

h) Vidriado

El vidriado se aplica a las cerámicas por compactado o tamizado. Adicionando pigmentos de colores a la etapa de vidriado ya sea, con oro, platino, cobalto, cromo, cobre, etc o también con pigmentos especiales ya preparados.

Para esto haría falta implementar un cuarto mas, donde se realice el preparado del material para vidriarlo, donde se colocaran los componentes del vidrio se mezclaran y muelen.

i) Cocción

La cocción es el proceso mediante el cual la cerámica es consolidada térmicamente en un cuerpo denso y cohesivo constituido por granos finos y uniformes. Se necesitaría la construcción de un horno mas para realizar este paso.

De forma general se puede observar que las etapas del proceso de obtención de materiales cerámicos (ladrillos) que se realiza en la Asociación, con la implementación de nuevos pasos puede ser utilizadas también para elaboración de materiales vitrioceramicos ya que las etapas son las mismas. Abriendo directamente a la elaboración de materiales cerámicos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.- Con todos los estudios realizados y acorde a los objetivos propuestos, podemos concluir del presente trabajo lo siguiente:

La materia prima utilizada en la Asociación de Cerámica Roja, el único uso de su arcilla es de elaboración de ladrillos sin tomar en cuenta que además de ello pueden realizar diferentes materiales cerámicos, teniendo el beneficio de ubicarse en un lugar cercano a la ciudad, además que cuentan con grandes yacimientos de arcillas, que modificando parámetros básicos y simples, pueden ser utilizados para obtener buenos materiales cerámicos.

*Evaluada la materia prima de los yacimientos de arcilla roja, mediante su caracterización geológica, química y física. Se concluye que la materia prima arcillosa, en su composición mineralógica contiene principalmente a cuarzo calificado como la fase más abundante del 63.5%, seguida en menor cantidad por arcillas como illita en un porcentaje de 22.7%, arcilla en menor porcentaje del tipo montmorillonita 5.2%, la clorita 3.5% que es una mica, muscovita 2,6% y, además feldespatos de la variedad como sanidina 2.5%.

En el análisis de plasticidad, se observa que la materia prima presenta una buena plasticidad, lo que asegura que las mismas puedan ser destinadas a otros uso cerámicos, para realizar materiales cerámicos se considera las cantidades de arcilla, feldespato y cuarzo, en las muestras del material arcilloso de Llojeta estos tienen en promedio arcilla 27%, feldespato 8% y cuarzo 65% mostrando que no es una materia

prima que se pueda utilizar óptimamente para ladrillos, para ello se debería disminuir la cantidad de cuarzo; que si se quisieran realizar materiales cerámicos distintos al ladrillo, se tendría que disminuir la cantidad de cuarzo o aumentando la cantidad de feldespatos o la variación de ambos acorde al material cerámico que se quiera obtener. Se sugiere completar la evaluación de la materia arcillosa realizando un análisis Térmico Diferencial (ATD), detecta reacciones en las que hay intercambio de calor, y un Análisis Gravimétrico (TG), registrando los cambios de masa en función de la temperatura.

*Evaluado el proceso de elaboración de ladrillos en la Asociación, podemos concluir que; los Asociados tienen que corregir de acuerdo a cada paso lo siguiente:

Dosificación, que se realice reposo en el lugar de acopio

Amasado, implementar maquinaria que realice una mejor triturado y molido de la arcilla, rompedores, eliminador de piedras mínimamente, ya que es importante el buen molido del material arcilloso, para disminuir pérdidas, durante el proceso; o pasar mínimamente por una etapa de cernido para separar las piedras o arena que pueda tener, para evitar cortes o fisuras por la piedra que estos tengan.

En el momento de reposo del material arcilloso, mezclado con agua en la asociación le dan el tiempo suficiente, así logrando la plasticidad deseada para su buen manejo y utilidad.

En el moldeado, se sugiere por una parte realizar el moldeado en caliente utilizando vapor saturado, logrando una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua, que durante el secado se producirá más fácil la deshidratación de las partículas en su estado de vapor que en el líquido.

Por otra parte una mejora de su galletera, para hacer un mejor eliminado del aire y se logre el máximo compactado.

En el secado utilizar el calor del horno, para no desperdiciar durante el enfriamiento de los hornos, luego de haber cocido los ladrillos.

En la cocción, debe tenerse más cuidado en cuanto al control de la temperatura, hacer que la temperatura sea homogénea en distintos lugares de ubicación del horno, para evitar pérdidas por quemado, implementando un termostato y hornos con material

refractario, para disminuir costos en uso de gas y buscar una nueva manera de acomodo de ladrillos para que se cosan homogéneamente, sin paso a pérdidas. Además de hacer una re ubicación de todo el proceso de elaboración del ladrillo.

El uso de aserrín, como combustible tiene el beneficio de disminuir del tiempo de cocción y una disminución de emisión de humo, evitando la contaminación, siempre y cuando se tenga una buena distribución y combustión, que se puede lograr con el uso de dosificadores de aserrín.

Se sigue que en las fisuras que se presentan durante el secado del ladrillo, puede ser por un agrietamiento de la arcilla, disminuyendo su plasticidad, porque se haya secado muy rápidamente. Esto ocurre sobre todo en los objetos de gran tamaño que tienen paredes gruesas o que el grosor de las paredes es distinto y tiende a secarse más rápidamente las partes delgadas que las gruesas. Con el fin de evitar este problema, el secado debe efectuarse lentamente, como se dijo anteriormente sería bueno que al mezclar la arcilla se humedezca con vapor de agua para hacer más rápido el secado y evitar grietas y eflorescencia.

*En cuanto a los vitrioceramicos, todos los elaborados presentaron buena compatibilidad entre la arcilla y el vidrio, mostrando resultados de buena vitrificación y homogeneidad abriéndonos un campo para elaboración de los vitrioceramicos, además, que los materiales básicos para formar el vidrio son de fácil accesibilidad, como el bórax que se tiene en el salar, el cuarzo que es abundante y la caliza que es accesible fácilmente y las cantidades de óxidos de sodio y aluminio se utilizan en pocas cantidades.

Los óxidos de los metales de transición como el Co, Ni, Fe, Ti, Cu, Zn, Cr también dan buen resultado en vitrioceramicos utilizando reactivos p.a. haciendo que combinándolos adquiramos nuevos colores que pueden ser utilizados con fines estéticos. El Co, Fe, Cu, Cr son óxidos que dan coloraciones fuertes que ya sean al combinarlos o variando concentraciones, se llegaría a diversificar en cuanto a coloraciones, campo que puede ser estudiado. En cambio el Ti y Zn que son incoloros, tienen propiedades fotocatalíticas que pueden ser usados para procesos de descontaminación en piscinas.

Al adicionar los minerales de forma directa se observa que si vitrifican, pero se nota la presencia de las impurezas de cada mineral, razón por la cual los minerales deben ser tratados y concentrados para su uso, estos presentan color y combinando podemos obtener materiales vitrioceramicos coloridos de buen aspecto y de diferentes características.

En Bolivia se puede encontrar minerales que tengan Cobre, Hierro y Zinc, sin ir muy lejos tenemos hierro en el mutún y de alta pureza lamentablemente minerales que tengan Cobalto, Cromo y Níquel son difíciles de encontrar o se encuentran en trazas.

La evaluación preliminar del material arcilloso de Llojeta nos muestra que este material es utilizado para obtener ladrillos, pero no con la composición optima, tiene buena plasticidad y que variando su composición se pueden obtener materiales cerámicos variados, si a la arcilla se le puede disminuir el contenido en cuarzo se obtendría azulejos y vajilla, además como ya sé probo que esta arcilla puede ser vitrificada, este hecho se hace cada vez más notorio y posible de realizar en mejora de la empresa, quedando como sentado que esto puede ser posible.

En forma general se puede observar que el proceso para obtención de materiales vitrioceramicos puede ser utilizadas también para elaboración de materiales cerámicos ya que los pasos en muchos otros casos son los mismos. Abriendo directamente a la elaboración de materiales cerámicos.

La Asociación de Cerámica Roja muestra que es una empresa capaz y motivada para realizar y abrir nuevas puertas a realizar materiales cerámicos, que con el tiempo podrán ser logrados, haciendo que crezcan en forma positiva.

BIBLIOGRAFIA

(1)Besoain, Fernando. **Mineralogía de arcillas de suelos**. Instituto Interamericano de Cooperacion para la agricultura. San Jose. Costa Rica 1985.

- (2) Wilma Ticona Chambi. **Caracterización Química, mineralógica y estructural de tres arcillas de la región altiplánica boliviana: hacia una visión científica en su aplicación tradicional.** Tesis de Grado 2008.
- (3) Nino Carussu . **Arcilla Viva.** Internet.
- (4) **Memorias del Instituto Geológico de España.** Volúmenes 76 y 77.
- (5) Fassbender, Hans W. **Química de Suelos.** San Jose. Costa Rica 1986.
- (6) Garcia Emilia y Suarez Mercedes. **Las Arcillas propiedades y usos.** Univ. Complutense (Madrid) 2006.
- (7) Profesor Javier Elias. **Introducción al Comportamiento de las Pastas Cerámicas.** Primera parte.
- (8) Finn Lynggaard. **Tratado de cerámica.** Ediciones Omega, S.A. Barcelona (1983)
- (9) **Revista de la Asociación Geológica Argentina.** Vol. 10 Nro 64 pag 66
- (10) **Revista Mexicana de Ingeniería Química** Vol.3 del Año 2004- Pag (209-217)
- (11) Castillo Salas Pedro. **Materiales Avanzados.** Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. Febrero 2005.
- (12) Claude Vittel. **Cerámica (pastas y vidriados).** Paraninfo, S.A. Madrid (1986).
- (13) José María Fernández Navarro. **El Vidrio.** Madrid 1985
- (14) Daniel Rodees. **Arcilla y vidriado para el ceramista.** Ediciones CEAC. Barcelona (1990).
- (15) Choque V. **Síntesis y Caracterización de las Zeolitas Analcima y Cancrinita a partir de un Recurso Natural (la Arcilla Mortmollonita).** Tesis de Grado 2003.
- (16) Revista Boliviana de Química. Volumen 17, No 1, 2000
- (17) Revista Boliviana de Química Volumen 12, No 1, 1995
- (18) Mineralogia. Kraus-Hunt-Ramsdell, Toronto 1965
- (19) Dusan Sliuka. La Gran Enciclopedia de los Minerales. Checoslovaquia 1991
- (20) Salomon Rivas. Los Minerales de Bolivia y sus Parajes. Tomo I. Santa Cruz 1998.

