



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA: “OBTENCIÓN POR FILTROPRESADO DE PASTAS  
CERÁMICAS A PARTIR DE BARBOTINAS NACIONALES  
EMPLEANDO LA PLANTA PILOTO DE CERÁMICA DE LA EPN”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**AGUIRRE GUALSAQUI PABLO ANDRÉS**  
pablo.aguirre@epn.edu.ec

**MANZANO ALAJO RONNY RAMIRO**  
ronny.manzano@epn.edu.ec

**DIRECTOR: Ing. Rafael Uribe Soto, PhD**  
rafael.uribe@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: Ing. Carlos Díaz, MSc**  
carlos.diaz@epn.edu.ec

**FECHA: Septiembre, 2020**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **RONNY RAMIRO MANZANO ALAJO** y **PABLO ANDRÉS AGUIRRE GUALSAQUI**, bajo mi supervisión.



---

Ing. Rafael Uribe Soto, PhD

**DIRECTOR DE PROYECTO**



---

Ing. Carlos Díaz, MSc

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

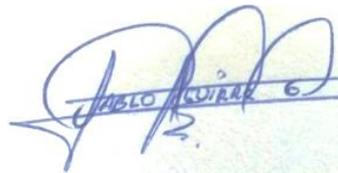
Nosotros, RONNY RAMIRO MANZANO ALAJO y PABLO ANDRÉS AGUIRRE GUALSAQUI, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Ronny Ramiro Manzano Alajo



---

Pablo Andrés Aguirre Gualsaqui

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a las personas que dan sentido a mi vida, a aquel que día a día y a pesar de las adversidades se ha esforzado por hacer de mi un hombre de bien MI PADRE, a aquella mujer que con su amor incondicional y sus palabras llenas de cariño ha guiado mis pasos MI MADRE y a mi compañero de aventuras y amigo incondicional MI HERMANO.*

PABLO ANDRÉS

*Dedico este trabajo a mis padres Ramiro y Margarita quienes siempre me apoyaron y me alentaron a seguir adelante, a mis hermanas Camila y Margareth compañeras de vida.*

*A mi Mamita Caro, mi abuelita linda que está en el cielo.*

*A Dios, quien con su amor incondicional me ha sostenido durante mi vida.*

RONNY MANZANO

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a la vida por permitirme cumplir uno de los muchos objetivos planteados en mi niñez, ser un profesional.*

*A mis padres Gilbert y Paty, mis motores y motivación, gracias infinitas por heredarme lo más importante en la vida, el estudio. Gracias porque a pesar de mis tropiezos nunca me dejaron caer, también a Santiago que es partícipe de este logro porque supo brindarme su apoyo incondicional de hermano.*

*A mi abuelito Celso, gracias por sus anécdotas, sus palabras siempre fueron mi motivación “si usted quiere algo en la vida tiene que luchar por eso hasta conseguirlo” y ahora aquí estoy, cumpliendo un sueño. Le agradezco también por enseñarme que donde quiera que me encuentre la humildad prevalece, que un título no nos hace más que nadie.*

*A mi abuelita Lola que a pesar de la distancia siempre estuvo pendiente, brindándome su apoyo incondicional y palabras de aliento. Gracias también por los regaños, me han ayudado a ser una mejor persona.*

*A mis padrinos Vinicio y Katy, gracias por acogirme en su hogar durante los últimos años y tratarme como un hijo junto a Kevin y Erikita quienes siempre me han brindado su amor y cariño, los llevo en el corazón.*

*Mi más sincero agradecimiento también al personal del Laboratorio de Cerámica, Ing. Rafael Uribe e Ing. Isamara Rojas, por brindarnos sus conocimientos, apoyo, paciencia y dedicación para desarrollar este trabajo de la mejor manera.*

PABLO ANDRÉS

*Gracias a Dios por amarme sin condición y por mantenerme firme en mi vida.*

*Agradezco a mi papi Ramiro y mami Margarita por haberme apoyado durante mi carrera, quienes supieron brindarme su apoyo y amor para no desistir.*

*A mis tías Angelita, Cecilia, Elsita y Raquel quienes me han brindado palabras de aliento durante mi carrera y me han compartido sus experiencias de vida para enseñarme a respetar y a valorar la vida.*

*Gracias a la Escuela Politécnica Nacional por formarme como una persona íntegra y por haberme dado verdaderos amigos quienes me han acompañado hasta el final.*

*Agradezco al Ing. Rafael Uribe por haberme dado apertura en el Laboratorio de Cerámica para el desarrollo del trabajo de titulación y a la Ing. Isamara Rojas quien participó en el mismo.*

RONNY MANZANO

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1.    MARCO TEÓRICO.....	3
1.1.    Minerales arcillosos .....	3
1.1.1.    Minerales arcillosos plásticos.....	3
1.1.1.1.    Composición química de las arcillas .....	3
1.1.1.2.    Estructura de las arcillas .....	4
1.1.1.3.    Tipos de arcillas.....	4
1.1.1.4.    Propiedades de las arcillas .....	5
1.1.2.    Minerales arcillosos no plásticos.....	6
1.1.2.1.    Feldespato .....	6
1.1.2.2.    Sílice .....	6
1.1.2.3.    Aditivo .....	7
1.2.    Pastas Cerámicas.....	7
1.2.1.    Composición .....	8
1.2.1.1.    Formulación .....	8
1.2.2.    Proceso de elaboración de pastas plásticas a partir de barbotinas.....	10
1.2.3.    Propiedades de las barbotinas.....	12
1.2.3.1.    Viscosidad .....	12
1.2.3.2.    Densidad.....	12
1.2.3.3.    Contenido de sólidos .....	13
1.2.4.    Propiedades de las pastas cerámicas .....	13
1.2.4.1.    Porcentaje de humedad .....	13
1.2.4.2.    Plasticidad .....	13
1.2.4.3.    Color de quema .....	14
1.2.4.4.    Contracción.....	14
1.2.4.5.    Absorción de agua.....	14
1.3.    Planta Piloto de Cerámica y Mantenimiento .....	15

1.3.1.	Planta Piloto de Cerámica.....	15
1.3.2.	Mantenimiento de instalaciones y/o equipos .....	17
2.	METODOLOGÍA .....	20
2.1.	Diagnóstico inicial de los equipos y componentes de la planta piloto de cerámica.....	20
2.1.1.	Pruebas de diagnóstico .....	20
2.2.	Puesta en marcha de los equipos utilizados en el proceso de obtención de pastas cerámicas.....	23
2.2.1.	Mantenimiento de equipos.....	23
2.2.2.	Pruebas de puesta en marcha .....	24
2.3.	Obtención de pastas plásticas cerámicas .....	25
2.3.1.	Beneficiado de materias primas.....	25
2.3.2.	Desarrollo de las barbotinas cerámicas.....	26
2.3.3.	Filtroprensado de pastas plásticas.....	27
2.3.4.	Estudio de propiedades.....	29
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
3.1.	Diagnóstico Inicial .....	32
3.1.1.	Inspección visual.....	32
3.1.2.	Pruebas de funcionamiento.....	33
3.2.	Puesta en marcha de los equipos .....	35
3.2.1.	Mantenimiento .....	35
3.2.2.	Operación de Equipos.....	39
3.3.	Obtención de pastas plásticas cerámicas.....	44
3.3.1.	Beneficiado de materias primas.....	45
3.3.2.	Caracterización de barbotinas .....	45
3.3.3.	Caracterización de pastas plásticas.....	46
3.3.4.	Caracterización de piezas cerámicas .....	49
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
4.1.	Conclusiones .....	53
4.2.	Recomendaciones.....	53
	Referencias Bibliográficas .....	54
	ANEXOS.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura de la arcilla. ....	4
Figura 1.2. Diagrama triaxial según productos cerámicos comerciales. ....	8
Figura 1.3. Esquema de elaboración de pastas plástica. ....	10
Figura 1.4. Zonas principales de una Planta de Cerámica. ....	15
Figura 1.5. Flujo de equipos. ....	16
Figura 1.6. Tipos de mantenimiento. ....	18
Figura 2.1. Esquema de las válvulas del filtroprensa. ....	28
Figura 2.2. Placa Filtrante. ....	28
Figura 2.3. Diagrama Índice de Plasticidad. ....	29
Figura 2.4. Probeta para ensayo de contracción. ....	30
Figura 3.1. Estado inicial purificadores. ....	32
Figura 3.2. Estado inicial Monoblock Filtroprensa. ....	33
Figura 3.3. Porcentaje de retenido malla ASTM 100. ....	39
Figura 3.4. Presión de filtración. ....	42
Figura 3.5. Presión de cierre. ....	43
Figura 3.6. Proceso de obtención de pastas plásticas. ....	44
Figura 3.7. Diagrama Casagrande. ....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición química general de la arcilla. ....	3
Tabla 1.2. Granulometría del mineral. ....	5
Tabla 1.3. Composición química del feldespato. ....	6
Tabla 1.4. Estructuras alotrópicas de la sílice. ....	7
Tabla 1.5. Pastas cerámicas. ....	7
Tabla 1.6. Contracción de arcillas. ....	14
Tabla 1.7. Equipos de una Planta Piloto de Cerámica. ....	16
Tabla 1.8. Actividades frecuentes de mantenimiento preventivo. ....	18
Tabla 2.1. Sistemas y componentes de los equipos. ....	20
Tabla 2.2. Actividades de mantenimiento. ....	23
Tabla 2.3. Composiciones de las barbotinas. ....	26
Tabla 2.4. Características de la placa filtrante. ....	29
Tabla 2.5. Distribución de probetas elaboradas. ....	30
Tabla 3.1. Estado funcional Purificador de arcilla. ....	33
Tabla 3.2. Estado funcional Purificador de cuarzo. ....	33
Tabla 3.3. Estado funcional Monoblock Filtroprensa. ....	34
Tabla 3.4. Componentes de la Planta Piloto. ....	35
Tabla 3.5. Presión de alimentación. ....	40
Tabla 3.6. Propiedades físicas materias primas. ....	45
Tabla 3.7. Cantidad de masa seca y agua requerida. ....	45
Tabla 3.8. Propiedades de las barbotinas. ....	46
Tabla 3.9. Cantidad de pasta plástica obtenida. ....	46
Tabla 3.10. Porcentaje de humedad de las pastas plásticas. ....	47
Tabla 3.11. Índice de Plasticidad. ....	47
Tabla 3.12. Color de quema de las pastas plásticas obtenidas. ....	49
Tabla 3.13. Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1000 °C. ....	51
Tabla 3.14. Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1150 °C. ....	51
Tabla 3.15. Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1250 °C. ....	51
Tabla 3.16. Absorción de agua. ....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Cálculo densidad real de sólidos .....	57
Anexo II. Ejemplo de cálculo – Formulación de barbotinas .....	59
Anexo III. Tabla de viscosidad Copa Ford .....	61
Anexo IV. Guía de Práctica Filtroprensado .....	62
Anexo V. Ejemplo de cálculo – Porcentaje de humedad de la pasta cerámica.....	67
Anexo VI. Ejemplo de cálculo – Índice de plasticidad .....	68
Anexo VII. Ejemplo de cálculo - Contracción.....	70
Anexo VIII. Ejemplo de cálculo – Absorción de agua.....	71
Anexo IX. Manual de Mantenimiento .....	72
Anexo X. Ficha Técnica Monoblock Filtroprensa .....	83

## RESUMEN

En el presente proyecto se llevó a cabo la obtención de pastas cerámicas industriales, a partir de barbotinas nacionales, mediante el proceso de filtroprensado, empleando la planta piloto de cerámica de la EPN. Se realizó la verificación del estado inicial de los equipos para determinar el tipo de mantenimiento a ejecutar. Con los equipos operativos se dio inicio a las pruebas de funcionamiento empleando barbotinas de diferentes densidades con el objetivo de definir parámetros de funcionamiento. A continuación se procedió con la preparación de barbotinas para la elaboración de pastas roja y blanca, mismas que se usaron para el proceso de filtroprensado y posterior obtención de pastas plásticas. Tomando en cuenta la escasez de pastas cerámicas en el mercado y la abundancia de minerales arcillosos en el país, el trabajo realizado busca ser un aporte para el sector cerámico artesanal/industrial nacional. En lo que concierne a mantenimiento de la planta piloto, se realizaron: inspección visual y pruebas de funcionalidad; por otra parte, para la obtención de pastas cerámicas se controlaron valores de viscosidad y densidad de las barbotinas. Asimismo, se extrajeron probetas de las pastas filtroprensadas para su posterior evaluación. Con los resultados obtenidos se verifica el correcto funcionamiento de los equipos, mismos que se encuentran en la capacidad de operar barbotinas comprendidas entre densidades de 1.5 y 1.8 [ $g/cm^3$ ] sin ningún inconveniente, dando como resultado pastas cerámicas, con índices de plasticidad de 17 y 14%, aptas para la obtención de piezas cerámicas.

**Palabras clave:** barbotina, filtroprensa, mantenimiento, pasta cerámica

## ABSTRACT

In this project, the production of industrial ceramic pastes was carried out, from national slips, through the pre-designed filter process, using the EPN ceramic pilot plant. The initial state of the equipment was verified to determine the type of maintenance to be implemented. With the operational equipment, operational tests were started using slips of different densities to define operating parameters. Then we proceeded with the preparation of slips to produce red and white pastes, which were used for the filter-pressing process and subsequent obtaining plastic pastes. Taking into account the scarcity of ceramic pastes in the market and the abundance of clay minerals in the country, the work done seeks to be a contribution to the national artisanal ceramic sector. Regarding the maintenance of the pilot plant, visual inspection and functionality tests were carried out; on the other hand, viscosity and density values of the slips were controlled to produce ceramic pastes. Likewise, test specimens were removed from the filter pastes for further evaluation.

With the results obtained, the correct functioning of the equipment is verified, which are in the ability to operate slips ranging densities from 1.5 to 1.8[g/cm<sup>3</sup>] without any inconvenience, and plasticity indexes of 17 and 14%, resulting in ceramic pastes suitable for craftsmanship.

**Keywords:** slip, filter press, maintenance, ceramic paste

# **“OBTENCIÓN POR FILTROPRESADO DE PASTAS CERÁMICAS A PARTIR DE BARBOTINAS NACIONALES EMPLEANDO LA PLANTA DE CERÁMICA DE LA EPN”**

## **INTRODUCCIÓN**

El descubrimiento de la cultura Valdivia ratifica que Ecuador es un país ceramista por excelencia. Con la llegada de los españoles se introdujeron nuevas técnicas que ayudaron a mejorar el proceso de producción y así obtener piezas con mejores características tanto físicas como mecánicas. La actividad ceramista se lleva a cabo prácticamente en todo el territorio nacional, siendo la provincia de Azuay la privilegiada debido a la gran cantidad de minas disponibles.

Los artesanos dedicados a la alfarería elaboran sus productos de manera tradicional y empírica; debido a esto se generan pérdidas económicas, pérdida de tiempo y desperdicio de materia prima. Asimismo, al no contar con equipos adecuados, su producción es limitada y los productos no cuentan con estándares de calidad. También es importante conocer que a los pequeños artesanos se les complica conseguir materia prima de calidad debido a que requieren cantidades mínimas y no se encuentran en la capacidad de competir con el sector industrial.

El sector cerámico nacional es el de mayor importancia debido a que representa aproximadamente el 32% de la producción de manufactura en el país, sin embargo, se debe tomar en cuenta que el país posee un mayor porcentaje de importación que de exportación de productos cerámicos, generando un saldo en contra que afecta la economía del país según estadísticas del Banco Central del Ecuador. Es importante aclarar que la mayoría de productos cerámicos exportados consisten en productos artesanales.

Por lo mencionado anteriormente, el personal del laboratorio de Cerámica se ha visto en la necesidad de recuperar la Planta Piloto, debido a que dicha planta permitiría la elaboración de barbotinas aprovechando la abundancia de yacimientos de arcillas del país para la posterior obtención de pastas plásticas de una manera eficiente, aportando así al sector cerámico artesanal del Ecuador con materia prima para la elaboración de artesanías que cumplan con estándares de calidad.

## **Objetivo general**

Obtener por filtroprensado pasta cerámicas a partir de barbotinas nacionales empleando la planta piloto de cerámica de la EPN.

## **Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual de los equipos y componentes de la planta piloto de cerámica de la EPN.
- Poner en marcha los equipos utilizados en el proceso de obtención de pastas cerámicas.
- Obtener bajo especificaciones técnicas pastas plásticas artesanales a partir del uso de minerales arcillosos.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Minerales arcillosos

Los minerales arcillosos o arcillas naturales forman la mayor parte de la superficie de la corteza terrestre, estas se clasifican en plásticos y no plásticos. En la industria cerámica o cerámica artesanal es importante conocer sus propiedades y características para su posterior formulación y preparación (Gueto, 2005).

### 1.1.1. Minerales arcillosos plásticos

Los minerales plásticos están principalmente constituidos por caolines y arcillas. Las arcillas poseen una estructura en forma laminar y un diámetro de partícula promedio de 2  $\mu\text{m}$  o inferior. Están distribuidos en fuentes minerales y se los encuentran en forma de roca mineral (Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002).

#### 1.1.1.1. Composición química de las arcillas

La composición química de las arcillas varía de acuerdo al tipo de roca sedimentada o tipo de suelo, de manera general su composición se presenta en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1. Composición química general de la arcilla.

Compuesto	Proporción [%]
$\text{Al}_2\text{O}_3$	24 - 38
$\text{SiO}_2$	38 - 65
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0 - 11
$\text{CaO}$	0 - 15
$\text{MgO}$	0 - 7
$\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$	0 - 4
$\text{TiO}_2$	0 - 2

(Fuente: Lema, 2018)

Las diferentes composiciones químicas de las arcillas producen características y propiedades distintas en cada mineral de arcilla. Estas características se las pueden obtener mediante ensayos como pérdidas al fuego, índice de plasticidad, color de quema y rotura a la flexión.

Es por esta razón que su campo de aplicación es amplio como: producción de ladrillos, sector alfarero, sector cerámico, entre otras.

### 1.1.1.2. Estructura de las arcillas

Para conocer las propiedades de las arcillas es importante conocer la estructura de los filosilicatos. Los filosilicatos son silicatos hidratados de Al, Mg o Fe ordenados de forma apilada en planos de iones oxígeno e hidroxilos. Se presentan en una estructura en forma de tetraedro u octaedro, formando láminas planas combinadas entre sí como se muestra en la Figura 1.1 (García & Suárez, 2011).

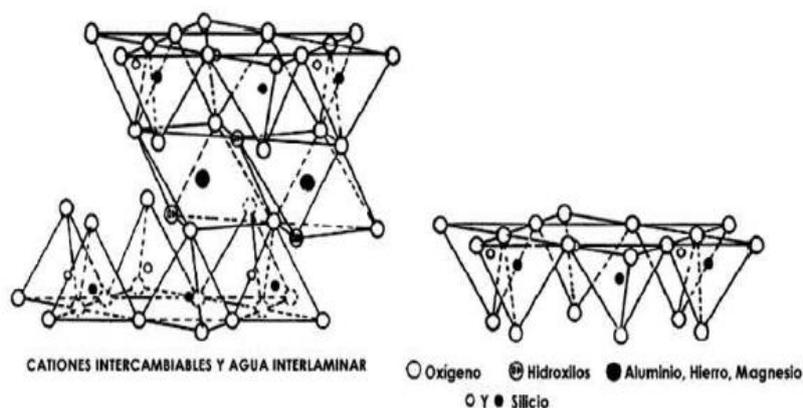


Figura 1.1. Estructura de la arcilla.  
(Galán & Aparicio, 2006)

### 1.1.1.3. Tipos de arcillas

Existen diferentes tipos de arcilla, estas dependen de su origen mineralógico, condiciones ambientales, erosión, sedimentación y yacimiento. De manera general se clasifican en: arcillas comunes, especiales y caolines. El punto de fusión de las arcillas se encuentra entre temperaturas de 100 °C y 1500 °C.

- **Arcillas Comunes**

Se entiende como arcilla común a la materia prima de arcilla que se encuentra distribuida en afloramientos minerales, que a causa de su distinto tamaño de grano y presencia de desengrasantes en su composición hacen que la arcilla común llegue a vitrificar a temperaturas menores a 1100 °C y presenten baja plasticidad. La aplicación de la arcilla común se encuentra en el sector cerámico industrial y artesanal, como la

fabricación de ladrillos, tejas, cemento, baldosas. Debido a su alto contenido de hierro, superior 2% - 2.5%, el producto final presenta un color característico rojo (Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002).

- **Arcillas Especiales**

Estas arcillas no presentan gran aplicación en la industria cerámica. Como propiedades principales presenta alta absorción y alta superficie específica (Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002)

- **Caolines**

Los caolines están compuestos principalmente por minerales de arcilla con bajo contenido de hierro y de color blanco, los minerales de arcilla del caolín son silicatos de aluminio hidratados con una composición aproximada  $2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ , la caolinita corresponde al mineral principal de los caolines (Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002).

#### 1.1.1.4. Propiedades de las arcillas

En el sector cerámico industrial o artesanal es necesario conocer las propiedades de las arcillas. Las propiedades más importantes de las arcillas son el tamaño de grano, plasticidad, color de quema y contracción durante el secado.

- **Granulometría**

Granulometría corresponde a la medición y clasificación del tamaño de granos de un mineral. Para hacer un estudio granulométrico se utilizan tamices normalizados, dispuestos uno sobre otro. La arcilla al tener tamaño de partículas inferiores a  $2\mu m$  adquiere una excelente plasticidad, son impermeables, presentan alta resistencia en seco. La Tabla 1.2 muestra la clasificación de los minerales de acuerdo al tamaño de partícula.

Tabla 1.2. Granulometría del mineral.

Tipo	Tamaño de partícula
Arena	> 0.06 mm ( $> 60 \mu m$ )
Limo	0.002 a 0.06 mm ( $2 < \phi < 60 \mu m$ )
Arcilla	< 0.002 mm ( $< 2 \mu m$ )

(Fuente: Lambe & Whitman, 2004)

### 1.1.2. Minerales arcillosos no plásticos

Los minerales no plásticos aportan con ventajas en las propiedades de la pasta cerámica como reducir la plasticidad, facilitar la defloculación, mejoran la permeabilidad. Los minerales no plásticos están conformados principalmente por feldespatos, cuarzo y sílice, estos actúan fundamentalmente como desengrasantes al ser añadidos a la barbotina (Galán & Aparicio, 2006).

#### 1.1.2.1. Feldespato

Los feldespatos pertenecen a un gran grupo de minerales formados por silicatos de aluminio combinados en potásicos, sódicos y cálcicos como se indica en la Tabla 1.3. El feldespato potásico y sódico son los más utilizados dentro del sector cerámico. En este sector el tamaño de partícula del feldespato potásico se encuentra entre 20,7 y 10,6  $\mu\text{m}$ , y para el feldespato sódico el tamaño varía entre 12,16 y 14,67  $\mu\text{m}$  (Perfil del mercado del Feldespato, 2014).

Tabla 1.3. Composición química del feldespato.

Feldespato	Composición
Potásico	16,9 % $K_2O$ 18,4 % $Al_2O_3$ 64,7 % $SiO_2$
Sódico	11,8 % $K_2O$ 19,4 % $Al_2O_3$ 68,8 % $SiO_2$
Cálcico	20,16 % $K_2O$ 36,65 % $Al_2O_3$ 43,19 % $SiO_2$

(Fuente: Lema, 2018)

#### 1.1.2.2. Sílice

El cuarzo constituye el principal componente de las arenas de sílice y proviene de rocas ricas en sílice, es un material abundante en la corteza terrestre. El tamaño fino de las partículas de cuarzo contribuye a la formación de vidrio debido a su facilidad de fusión, en cambio un tamaño de partícula grueso disminuye la contracción de la pasta cerámica en el proceso de secado. Los puntos de fusión

varían en un rango entre 1610°C y 1763°C (González Linares, 1983). La Tabla 1.4 se muestran las estructuras alotrópicas de la sílice.

Tabla 1.4. Estructuras alotrópicas de la sílice.

<b>Forma</b>	<b>Estructura</b>
Cuarzo $\alpha$	Romboédrico
Cuarzo $\beta$	Hexagonal
Tridimita $\alpha$ y $\beta$	Ortorrómico
Cristobalita $\alpha$ y $\beta$	Tetragonal
Sílice amorfa	Amorfo

(Fuente: Lema, 2018)

### 1.1.2.3. Aditivo

El uso de aditivos permite modificar las propiedades de las sustancias, en el sector cerámico es usual el uso de Silicato de Sodio como aditivo en la elaboración de barbotinas. El Silicato de Sodio es una sustancia orgánica que se agrega a la barbotina, con el objetivo de mejorar la homogenización y dispersión de los sólidos, reduciendo así su viscosidad y posibilitando trabajar con densidades de hasta 1.8 [ $g/cm^3$ ] (Melendez, 2002).

## 1.2. Pastas Cerámicas

Se define a una pasta cerámica como una mezcla homogénea que contiene: minerales arcillosos, minerales no arcillosos, agua y aditivos. Considerando el porcentaje de humedad se puede encontrar 3 tipos de pasta cerámica, mismas que se muestran en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Pastas cerámicas.

<b>Tipo de Pasta Cerámica</b>	<b>% Humedad</b>	<b>Método de Obtención</b>	<b>Conformado</b>
Pasta seca	<10	Atomizado	Prensado
Pasta Líquida (Barbotina)	60 -70	Mezclado Molienda - Molino de bolas	Colado
Pasta Plástica	20 - 25	Filtroprensado Amasado	Extrusión Torneado Moldeado

(Fuente: Martínez, 2013)

### 1.2.1. Composición

Es importante determinar la composición de una pasta cerámica para conocer las características y el comportamiento de la misma durante el proceso de producción, así como también obtener un producto final con buenas propiedades considerando su campo de aplicación (Vásquez , 2005).

Para determinar la composición de las pastas cerámicas se emplea el diagrama triaxial de la Figura 1.2.

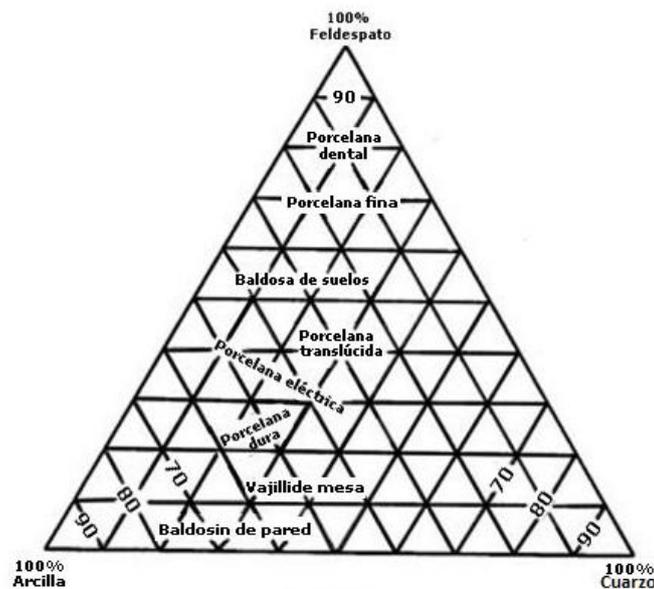


Figura 1.2. Diagrama triaxial según productos cerámicos comerciales.  
(Fuente: Singer & Singer, 1971)

#### 1.2.1.1. Formulación

Para formular una barbotina cerámica se parte de los resultados obtenidos del diagrama triaxial. La formulación consiste en la determinación de masa seca y masa de agua ( $m_a$ ) que se necesitan para preparar 1 litro de barbotina (Amoros, 2004).

Para el cálculo de la masa seca se emplea la ecuación 1.1:

$$m_s = K(P - 1) \quad [1.1]$$

Donde:

$m_s = \text{masa seca total [kg/l]}$

$K = \text{constante de densidad}$

$P = \text{peso por litro de barbotina [kg/l]}$

El peso por litro ( $P$ ) se encuentra comprendido entre 1.5 – 1.8 [kg/l] (Portillo, 2011)

Ahora, se procede al cálculo de la constante de densidad mediante la ecuación 1.2:

$$K = \frac{\rho}{\rho - 1} \quad [1.2]$$

Donde:

$\rho = \text{densidad absoluta total [g/cm}^3\text{]}$

El cálculo de la densidad absoluta total se lo realiza mediante la ecuación 1.3:

$$\rho = \sum_{i=1}^n (\rho_i)(V_i) \quad [1.3]$$

Donde:

$\rho_i = \text{densidad de los minerales arcillosos componentes de la masa seca [g/cm}^3\text{]}$

$V_i = \text{proporción de los minerales arcillosos componentes de la masa seca (\%)}$

$\rho = \text{densidad absoluta total [g/cm}^3\text{]}$

Finalmente, cálculo de la masa de agua por litro de barbotina empleando la ecuación 1.4:

$$m_a = (P - m_s) \quad [1.4]$$

Donde:

$m_a = \text{masa de agua por litro de barbotina [kg/l]}$

## 1.2.2. Proceso de elaboración de pastas plásticas a partir de barbotinas

En la figura 1.3, se muestran las etapas para la obtención de pastas cerámicas por el método de filtroprensado, partiendo de las materias primas provenientes de minas o canteras.

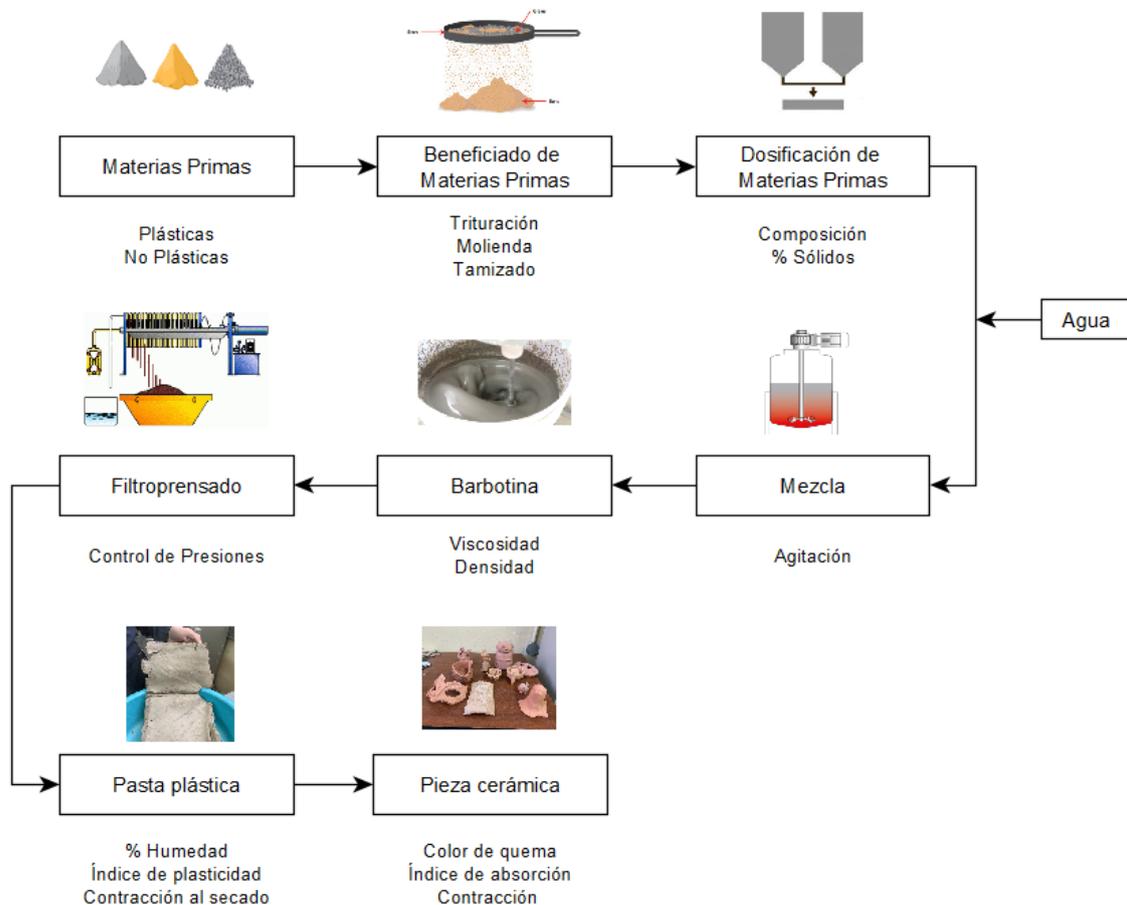


Figura 1.3. Esquema de elaboración de pastas plástica.  
(Fuente: Propia)

Para realizar las operaciones mencionadas en la Figura 1.3 es importante que para cada uno de los procesos se escojan las herramientas adecuadas tomando en cuenta los requerimientos del producto final, así como también la disponibilidad de equipos.

A continuación se detallan cada una de las operaciones:

- **Trituración y Molienda**

Puede considerarse a esta operación como la de mayor importancia dentro del proceso y depende de las características del material a romper y de su granulometría. La materia prima debe poseer una buena resistencia a la compresión, su porcentaje de humedad debe ser de máximo 5%, para evitar plasticidad y adherencia dentro del equipo; así como también presentar uniformidad tanto en forma como en tamaño de grano. Para esta operación existen una gran variedad de molinos, entre los principales tenemos: Molino de muelas, molino de mandíbulas, molino de cilindros, molino de martillos, molino de bolas, etc. (Gueto, 2005).

- **Tamizado**

El proceso de tamizado se lo puede realizar en un tamiz rotativo o en un tamiz plano. El principio de funcionamiento básicamente es el mismo y consiste en dejar caer el material sobre una malla que puede ser metálica o de nylon, el tamiz recibe sacudones o vibraciones y por efectos de la gravedad las partículas finas o de diámetros menores a los de la malla la atraviesan para seguir el proceso de producción, mientras que las partículas que no logran atravesar la malla, pueden ser regresadas a la molienda. El diámetro de los agujeros de los tamices se encuentra regulado por la ASTM, por lo tanto se escogerá la numeración de acuerdo a los requerimientos (Gueto, 2005).

- **Dosificación de materia primas**

Esta operación consiste en realizar la mezcla de las materias primas en las proporciones previamente establecidas. Este proceso se lo lleva a cabo comúnmente empleando alimentadores mecánicos como son: tornillo sin fin, plato rotativo o manualmente (Gueto, 2005).

- **Mezcla**

Operación final para la obtención de barbotina. Este proceso se lo puede realizar en una amasadora o en un tanque de agitación y consiste en dosificar una cantidad determinada de agua sobre las arcillas para obtener una mezcla homogénea y con un cierto porcentaje de humedad (Gueto, 2005).

- **Filtroprensado**

El filtroprensado es un proceso en el que se extrae cierta cantidad de agua de la barbotina, reduciendo así su porcentaje de humedad. Se obtienen pastas plásticas en forma de tortas para su posterior conformado, el proceso se lleva a cabo empleando equipos de filtroprensa.

### **1.2.3. Propiedades de las barbotinas**

Para la obtención de pastas plásticas es necesario llevar un control adecuado de las propiedades de las barbotinas que son: viscosidad, densidad y contenido de sólidos.

#### **1.2.3.1. Viscosidad**

Se define a la viscosidad como la resistencia que presenta un líquido a fluir. La barbotina es una suspensión cerámica, por tal motivo no presenta un comportamiento ideal y su viscosidad depende de la relación velocidad/esfuerzo de cizalla aplicada, además de otras variables como presión, temperatura y tiempo (Melendez, 2002).

Debido a la gran variedad de materias primas existentes, las suspensiones cerámicas no newtonianas pueden presentar los siguientes comportamientos reológicos: dilatante, pseudoplástico y plástico.

Para procesos de conformado como el filtroprensado lo ideal es obtener un comportamiento pseudoplástico-plástico, este comportamiento dificultará que la barbotina sedimente cuando se encuentre en reposo debido a la alta viscosidad, por el contrario, cuando se le aplique un esfuerzo de cizalla se comportará como fluido, facilitando así su transporte y conformado (Melendez, 2002).

#### **1.2.3.2. Densidad**

Relación existente entre la masa y el volumen que ocupa la misma. Considerando que una suspensión cerámica se encuentra constituida por fases, entonces, la densidad de la suspensión dependerá de: densidad de los sólidos, densidad del medio transportador y también de las proporciones en las que estos se encuentran en la mezcla. Los valores de densidad para una barbotina deben encontrarse entre 1,5 y 1,8 [g/cm<sup>3</sup>] (Portillo, 2011).

### 1.2.3.3. Contenido de sólidos

El contenido de sólidos es la relación porcentual existente entre la cantidad de sólidos y el total de la mezcla. En la producción de barbotinas se busca que el contenido de sólidos sea lo más alto posible, aproximadamente 72% de material seco con un 28% de agua. Obtener estos porcentajes de contenido de sólidos no es sencillo, debido a que si la mezcla aumenta el porcentaje de sólidos, su viscosidad también aumenta, en dicho caso es indispensable el uso de defloculante (Portillo, 2011).

### 1.2.4. Propiedades de las pastas cerámicas

Las propiedades de las pasta cerámicas determinan la aceptación de las mismas en la industria y su campo de aplicación, se evalúan propiedades físicas y mecánica de resistencia. Las propiedades físicas corresponden a porcentaje de humedad, plasticidad, color de quema, contracción total y absorción de agua.

#### 1.2.4.1. Porcentaje de humedad

Propiedad que se determina con la relación existente entre la cantidad de agua absorbida por la pasta plástica y la masa seca de la misma (Collado, Nuño, & Gantes, 2006). Se lo expresa en porcentaje y se lo calcula mediante la ecuación 1.5:

$$\%H = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100 \quad [1.5]$$

Donde:

$m_h$  = masa húmeda de la muestra [g]

$m_s$  = masa seca de la muestra [g]

#### 1.2.4.2. Plasticidad

La plasticidad determina la capacidad de una pasta plástica para deformarse por acción de una fuerza, sin presentar agrietamiento ni rotura y mantener la forma proporcionada una vez retirada la fuerza aplicada. Las pastas cerámicas que presentan una alta plasticidad requieren de una fuerza mínima para su deformación, en contraste, las pastas con menor plasticidad requieren una mayor fuerza de deformación y se agrietan fácilmente (Lema, 2018).

### 1.2.4.3. Color de quema

El color de quema de las pastas cerámicas estará determinado por la procedencia de las materias primas. Si existe la presencia de óxido de hierro se tenderá a obtener colores rojos, rojizos, rosas, amarillentos; mientras que si las materias primas son ricas en carbonato de calcio se obtiene un color resultante gris, blanco o marfil. Otro factor que influye en el color de quema son las condiciones a las que se realiza la cocción. El conocer el color de quema de una pasta cerámica determina las aplicaciones que se le dará a la misma. Las pastas de quema roja son empleadas en tejas, ladrillos, alfarería, etc. y las pastas de quema blanca pueden ser empleadas en la producción de vajillas, sanitarios, azulejos, entre otras (Amoros, 2004).

### 1.2.4.4. Contracción

La contracción se produce por la deshidratación del elemento cerámico cuando es llevado a temperaturas de secado o de quema. Existen 3 tipos de contracción que corresponden a: contracción al secado, contracción a la quema y contracción total, como se indica en la Tabla 1.6. La contracción al secado es aquella que al secar el elemento cerámico pierde agua superficial o agua de humedad, por otro lado, la contracción a la quema es aquella que al cocer el elemento cerámico pierde agua superficial y material orgánico (Lema, 2018).

Tabla 1.6. Contracción de arcillas

<b>Contracción</b>	<b>Valores</b>
Contracción al secado	10 – 12%
Contracción a la quema	2 – 8%
Contracción total	5 – 18%

(Fuente: Restrepo, 2011)

### 1.2.4.5. Absorción de agua

Se define a la absorción como la capacidad de retención de agua que posee un elemento cerámico posterior a su cocción. Se determina mediante la relación existente entre la masa seca del elemento y la masa saturada o masa de agua absorbida por el mismo.

### 1.3. Planta Piloto de Cerámica y Mantenimiento

#### 1.3.1. Planta Piloto de Cerámica

Se define como planta piloto a la técnica de diseño, construcción y operación que aparece por la necesidad de adquirir información sobre un determinado proceso, si es económicamente viable y para fijar parámetros de operación del mismo. Una planta piloto de cerámica típica se compone de: zona de almacenamiento de materias primas, zona de procesamiento de materias primas, zona de obtención de pastas y zona de obtención de piezas cerámicas. Las zonas principales que componen una planta de cerámica se muestran en la Figura 1.4.

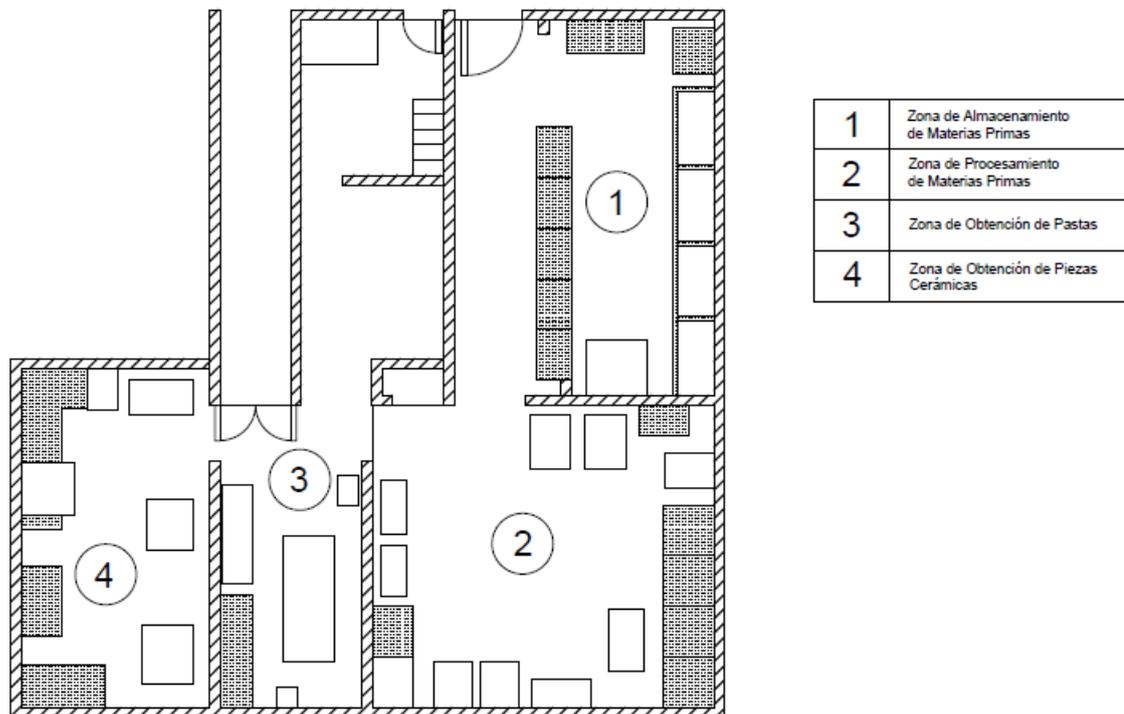


Figura 1.4. Zonas principales de una Planta de Cerámica.  
(Fuente: Laboratorio de Cerámica)

Asimismo, una planta piloto de cerámica debe contar con equipamiento básico que permita el desarrollo de las actividades para las que fue diseñada, los equipos y herramientas se detallan en la Tabla 1.7.:

Tabla 1.7. Equipos de una Planta Piloto de Cerámica.

Zona	Equipos y Herramientas
Almacenamiento de Materias Primas	Balanza al granel
	Contenedores
Procesamiento de Materias Primas	Molino de bolas
	Molino de cono
	Molino de mandíbulas
	Molino centrífugo
	Pulverizador de disco
	Balanza Analítica
	Purificadores de materias primas
Obtención de Pasta	Monoblock Filtroprensa
	Filtro de vacío
	Batidora
	Extrusora
Obtención de piezas cerámicas	Torno
	Moldes de yeso
	Mufla programable
	Estufa programable
	Mufla eléctrica

(Fuente: Laboratorio de Cerámica)

El purificador de arcilla, molino de bolas y monoblock filtroprensa son equipos de gran importancia en el proceso de obtención de pastas plásticas. La Figura 1.5 muestra la secuencia de los equipos dentro del proceso del filtroprensado.

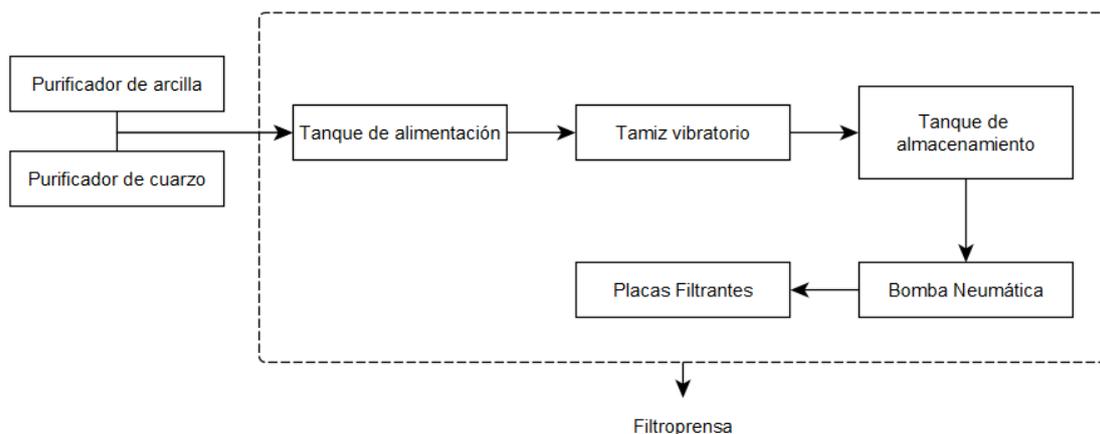


Figura 1.5. Flujo de equipos.  
(Fuente: Propia)

**Purificador de Cuarzo:** El purificador de cuarzo es un equipo que permite la molienda y clasificación de materias primas, está compuesto por un molino de bolas y tamiz rotatorio.

**Purificador de Arcilla:** El purificador de arcilla es un equipo que permite realizar actividades de mezclado de materias primas y eliminación de sólidos extraños, está compuesto por el tanque agitador y tanque sedimentador.

**Monoblock Filtroprensa:** El Monoblock Filtroprensa permite obtener pastas cerámicas a partir de barbotinas de manera eficaz, el equipo está compuesto por: tanque de alimentación, tamiz vibratorio, tanque de almacenamiento, bomba neumática y placas filtrantes. Para el funcionamiento del filtroprensa es importante conocer las presiones que intervienen en el proceso.

- Presión de alimentación: Presión de operación de la bomba neumática.
- Presión de filtración: Presión propia del proceso de filtración generada por el llenado de las placas filtrantes.
- Presión de cierre: Presión de la bomba hidráulica ejercida sobre las placas filtrantes.

### **1.3.2. Mantenimiento de instalaciones y/o equipos**

Se define generalmente al mantenimiento como al conjunto de técnicas de reparación y revisión que se realizan para conservar y alargar la vida útil de instalaciones y/o equipos. La mayoría de máquinas disponibles en la industria están constituidas por diferentes sistemas, mismos que les permiten cumplir con las actividades para las cuales fueron diseñadas. Los sistemas más frecuentes son: sistema mecánico y sistema eléctrico.

La ejecución adecuada de mantenimiento permite:

- Alargar el tiempo de servicio.
- Reducir costos de reparación.
- Evitar tiempos muertos.
- Evitar pérdidas económicas.
- Evitar accidentes del personal.
- Aumentar la seguridad.
- Optimizar la producción.

La Figura 1.6 muestra los tipos de mantenimiento de uso frecuente en la industria

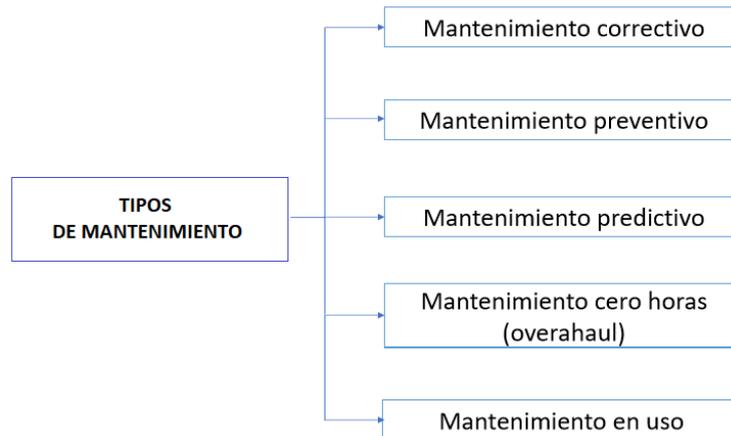


Figura 1.6. Tipos de mantenimiento.  
(Fuente: Rodríguez, 2018)

### Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se lo considera como un tipo de mantenimiento de rutina, necesario para que el equipo opere correctamente. Este tipo de mantenimiento se realiza de manera programada, tomando en cuenta los puntos más vulnerables de las instalaciones y/o equipos (Rodríguez, 2018).

Las actividades más comunes que se realizan en el mantenimiento preventivo se detallan en la Tabla 1.8.

Tabla 1.8. Actividades frecuentes de mantenimiento preventivo.

Sistemas	Actividades
Eléctrico	Revisar interruptores
	Revisar tomacorrientes
	Revisar tableros
	Revisar conexiones
	Revisar sistema de medición
Mecánico	Limpieza general
	Revisar niveles de aceite
	Realizar cambios de aceite
	Verificar funcionamiento de manómetros
	Revisar estado de las mangueras
	Lubricar zonas críticas
	Revisar estado de válvulas
	Limpiar filtros
	Revisar acoples
	Revisar tensión en bandas

(Fuente: Propia)

Las actividades de mantenimiento pueden ser realizadas por técnicos, o en su defecto, por el operario del equipo.

### **Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es aquel que se realiza a un equipo cuando este ha detenido su producción. El mantenimiento correctivo se encarga de corregir las averías o fallas que han ocasionado la detención de funcionamiento del equipo (Rodríguez, 2018).

Las actividades que se realizan en el mantenimiento correctivo son: reparación o sustitución de elementos y modificación de partes, este mantenimiento puede ser llevado a cabo únicamente por técnicos calificados.

### **Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo se puede definir como un mantenimiento preventivo programado basado en datos de variables físicas que informan del estado operacional del equipo. El control de estas variables permite identificar la presencia de algún tipo de inconveniente en el equipo (Rodríguez, 2018).

### **Mantenimiento cero horas**

El mantenimiento cero horas consiste en la sustitución o reparación de elementos que presenten desgaste o deterioro con la finalidad de garantizar el funcionamiento del equipo, dejándolo como nuevo (Rodríguez, 2018).

### **Mantenimiento en uso**

Mantenimiento realizado por el operario del equipo, consiste en la realización de tareas básicas como: inspección visual, limpieza, lubricación, ajuste de tornillos, etc. Para la realización de este tipo de mantenimiento no se requiere detener la producción del equipo (Rodríguez, 2018).

## 2. METODOLOGÍA

En este apartado se describe el procedimiento metodológico utilizado para alcanzar los objetivos de este proyecto. Se realizó el diagnóstico de la situación inicial de los purificadores y monoblock filtroprensa de la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, posteriormente los equipos fueron sometidos a un proceso de mantenimiento. Con los equipos operativos se lleva a cabo el proceso de filtroprensado para la obtención de pastas plásticas cerámicas.

### 2.1. Diagnóstico inicial de los equipos y componentes de la planta piloto de cerámica.

#### 2.1.1. Pruebas de diagnóstico

El diagnóstico del estado inicial de los equipos se realiza a partir del ensayo no destructivo de inspección visual y pruebas de comprobación de funcionamiento. Para realizar un diagnóstico válido de operatividad y funcionamiento, es necesario identificar y clasificar los sistemas y componentes de los equipos purificadores y el monoblock filtroprensa como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Sistemas y componentes de los equipos.

Equipo	Sistemas	Componente
Purificador de Arcilla	Mecánico	Tanque Agitador
		Sedimentador
		Bomba Centrífuga
		Estructura
		Cadenas
	Eléctrico	Motores de Inducción
		Cable de poder
Purificador de Cuarzo	Mecánico	Molino de Bolas
		Tamiz Giratorio
		Brazo Articulado
		Cadenas
	Eléctrico	Motores de Inducción
		Cable de Poder
Monoblock Filtroprensa	Mecánico	Estructura
		Paletas del Agitador
	Eléctrico	Motores
		Cable de Poder
	Neumático	Compresor
		Bomba de Diafragma
	Hidráulico	Bomba Hidráulica
		Cierre Hidráulico

(Fuente: Propia)

## **Inspección Visual**

Ensayo no destructivo que permite a la persona encargada conocer la situación de un equipo de manera global y rápida, dentro del desarrollo de este método es permitido el uso de ciertas herramientas (reglas, calibrador, galgas, etc.) que facilitan la inspección.

Para la realización de inspección visual de equipos y componentes se procede a:

- Verificar la tensión de las bandas de transmisión.
- Verificar la lubricación en brazos articulados.
- Verificar la lubricación de cadenas de los equipos.
- Verificar el estado superficial de los equipos.
- Verificar ajuste y posición de tanques.
- Verificar ajustes de pernos y tuercas.
- Verificar conexiones eléctricas y neumáticas.
- Verificar niveles de aceite.

## **Pruebas de comprobación de funcionamiento**

Las pruebas de funcionamiento de los sistemas eléctrico, mecánico, neumático e hidráulico realizadas se detallan a continuación:

**Sistema eléctrico:** Sistema formado por la fuente de poder y cableado, que en conjunto proveen de energía eléctrica a los motores de los equipos para su funcionamiento.

- **Equipos de Purificación de arcilla, cuarzo y monoblock filtroprensa**

- Verificar el voltaje en las fuentes de poder.
- Verificar el paso de corriente en cables eléctricos.

**Sistema mecánico:** Es el sistema formado por la parte estructural y los elementos de transmisión de movimiento, permiten a los equipos el desarrollo de las actividades para las que fueron diseñados.

- **Purificador de Arcilla**

- Encender el motor del tanque agitador y observar el giro de las paletas.

- Encender el motor de la bomba centrífuga y verificar el paso del fluido.
- Encender el motor del tanque sedimentador y observar el comportamiento del tornillo sin fin.

- **Purificador de Cuarzo**

- Encender el motor del purificador.
- Observar el funcionamiento de las cadenas.
- Verificar el giro del molino de bolas.
- Verificar el funcionamiento de rodamientos.
- Verificar el funcionamiento del brazo articulado.

- **Monoblock Filtroprensa**

- Encender el motor del tamiz vibratorio y tanque de alimentación.
- Verificar el giro de las paletas de agitación.
- Verificar la vibración del tamiz.
- Verificar la tensión de la banda de transmisión.

**Sistema neumático:** El sistema neumático utiliza aire proveniente del compresor como fuente de energía para el funcionamiento de la bomba de diafragma.

- **Monoblock Filtroprensa**

- Encender el compresor.
- Comprobar la carga y descarga.
- Verificar el funcionamiento de las válvulas.
- Verificar el funcionamiento de la bomba de diafragma.
- Verificar el funcionamiento de los manómetros.

**Sistema hidráulico:** Sistema formado por una bomba que permite la compresión de aceite dentro de un cilindro por acción de un pistón, generando de esta manera la presión necesaria para compactar el paquete de placas del filtroprensa.

- **Monoblock Filtroprensa**

- Verificar el funcionamiento del manómetro.

## 2.2. Puesta en marcha de los equipos utilizados en el proceso de obtención de pastas cerámicas.

Realizado el diagnóstico inicial de los equipos, se procede con las actividades de mantenimiento.

### 2.2.1. Mantenimiento de equipos

En la Tabla 2.2 se detallan las actividades de mantenimiento realizadas para la puesta en marcha de los equipos.

Tabla 2.2. Actividades de mantenimiento.

Equipo	Sistemas	Actividad
Purificador de Arcilla	Mecánico	Remoción de óxido del tanque agitador
		Ajuste de pernos y tuercas de la estructura
		Limpieza bomba centrífuga
		Lubricación de cadenas
		Lijado y pintado de estructura
	Eléctrico	Limpieza terminales eléctricos
		Recubrimiento de cables
Purificador de Cuarzo	Mecánico	Limpieza del tamiz
		Ajuste de pernos y tuercas de la estructura
		Limpieza y lubricación de brazo articulado
		Lubricación de cadenas
	Eléctrico	Limpieza recubrimiento interior del molino
		Limpieza terminales eléctricos
Filtroprensa	Mecánico	Limpieza motor y banda del tamiz vibratorio
		Ajuste de perno y tuerca del tamiz vibratorio
		Limpieza general de válvulas
	Eléctrico	Limpieza del tomacorriente y cable de poder
	Neumático	Desmontaje de la bomba de diafragma
		Limpieza de válvulas de bola de succión y descarga
		Limpieza del diafragma
		Remoción de óxido y limpieza de tubería
		Limpieza válvula de clapeta
		Limpieza de filtro de aire del compresor
		Instalación juego de acople rápido
	Hidráulico	Lubricación bastidor del sistema de cierre
		Ajuste tela filtrante de placas

(Fuente: Propia)

### **2.2.2. Pruebas de puesta en marcha**

Realizado el mantenimiento a los equipos, se llevan a cabo pruebas de comprobación de operación y se determinan las condiciones de trabajo del monoblock filtroprensa para la obtención de pastas plásticas. A continuación se describen las actividades realizadas:

#### **Purificadores de arcilla**

1. Energizar el equipo.
2. Encender los motores y verificar el correcto funcionamiento de los elementos que componen el equipo, proceso realizado sin carga de material.
3. Cargar la suspensión arcillosa en el tanque agitador.
4. Encender el motor del tanque agitador.
5. Abrir la válvula ubicada en la parte inferior del tanque agitador para permitir el paso de la suspensión arcillosa hacia el tanque sedimentador.
6. Regular el caudal con el uso de las válvulas.
7. Esperar la sedimentación de lodos y extraer el material procesado.

#### **Purificadores de cuarzo**

1. Energizar el equipo.
2. Encender el motor y verificar el funcionamiento de los elementos que componen el equipo, proceso realizado sin carga de material.
3. Detener la marcha del equipo.
4. Introducir la materia prima y bolas en el cilindro del equipo.
5. Verificar el funcionamiento del equipo.

#### **Monoblock Filtroprensa**

1. Energizar el monoblock filtroprensa.
2. Comprobar el funcionamiento del tamiz vibratorio y tanque de alimentación.
3. Comprobar el funcionamiento de la bomba neumática utilizando agua como fluido de trabajo.
4. Filtroprensar barbotinas con diferentes densidades y presiones de alimentación para determinar el valor óptimo de presión de la bomba neumática.
5. Observar el manómetro de presión de filtración y tomar datos a diferentes tiempos durante el proceso de filtroprensado.
6. Determinar la presión máxima de cierre para las placas filtrantes.

## 2.3. Obtención de pastas plásticas cerámicas

Se elaboran dos tipos de pasta, quema roja y quema blanca, mismas que posteriormente serán sometidas a pruebas para determinar propiedades tecnológicas: porcentaje de humedad, índice de plasticidad, contracción al secado, contracción a la quema, contracción total, color de quema y absorción de agua.

### 2.3.1. Beneficiado de materias primas

Las materias primas son sometidas a un proceso de acondicionamiento previo a ser utilizadas en la preparación de la barbotina, ya que los materiales son extraídos directamente de minas o canteras y presentan tamaños y formas irregulares. Se debe considerar que el porcentaje de humedad de las materia primas antes de ser añadidas en los molinos debe ser inferior a 5% (Gueto, 2005).

El proceso de acondicionamiento constó de las siguientes etapas:

- **Trituración:** Reducción del grano o aglomerado a un tamaño promedio de 10 [mm] empleando el trituradora de mandíbulas.
- **Molienda:** Reducción del grano a un tamaño promedio de 2,5 [mm] empleando el molino de cono.
- **Tamizado:** Proceso realizado para uniformizar y homogenizar la materia prima, empleando tamices normalizados ASTM.

### Determinación de la densidad real de los sólidos

La densidad real de los sólidos arcillosos se determina con base en la norma *ASTM C329-88: Standard Test Method for Specific Gravity of Fired Ceramic Whiteware Materials*. La norma cubre la determinación de la gravedad específica de cerámicos cocidos bajo condiciones preestablecidas. En el Anexo I se muestra un ejemplo de cálculo para la determinación de la densidad real de los sólidos.

## 2.3.2. Desarrollo de las barbotinas cerámicas

### 2.3.2.1. Composiciones

Se tomaron dos composiciones porcentuales de arcilla, feldespato y sílice para obtener dos tipos de pasta correspondiente a pasta blanca y roja, de acuerdo a composiciones previamente desarrolladas por Lema, 2018. En la Tabla 2.3 se muestran las composiciones porcentuales de arcilla, feldespato y sílice para obtener dos tipos de pastas plásticas correspondiente a pasta blanca y pasta roja.

Tabla 2.3. Composiciones de las barbotinas.

Tipo de Pasta	% Arcilla	% Feldespato	% Sílice
Blanca	70	20	10
Roja	45	20	35

(Fuente:Lema, 2018)

### 2.3.2.2. Formulación

Con los datos de densidad real determinados y las composiciones porcentuales de la Tabla 2.3 se calcula la cantidad de masa seca de materias primas y masa de agua requeridos para la elaboración de un litro de barbotina, empleando las ecuaciones mencionadas en el apartado 1.2.1.1. En el Anexo II se muestra un ejemplo de cálculo para determinar la masa de agua y masa seca requeridas.

### 2.3.2.3. Dosificación y mezclado

Se introducen en el tanque de alimentación las cantidades de masa seca y masa de agua previamente determinadas. Para dar inicio a la mezcla se añade primero la masa de agua requerida, luego las materias primas no plásticas y finalmente las materias primas plásticas. La barbotina elaborada se deja reposar en el tanque de alimentación por un tiempo mínimo de 24 horas.

#### **2.3.2.4. Propiedades de las barbotinas**

Para la caracterización de las propiedades de las barbotinas se toman en consideración la densidad y viscosidad.

La densidad de las barbotinas se determina empleando el picnómetro de acero inoxidable disponible en el laboratorio y con base en la norma *ASTM: D1475 Standard Test Method For Density of Liquid Coatings, Inks, and Related Products*. La norma cubre la determinación de la densidad de tintes, barnices, pinturas, lacas y otros pigmentos cuando se encuentren en forma fluida.

La viscosidad de las barbotinas se determina empleando la Copa Ford No 4 y con base en la norma *ASTM: D1200 Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup*. La norma cubre la determinación de la viscosidad de suspensiones. En el Anexo III se muestra la tabla de conversión de viscosidad para la copa Ford.

#### **2.3.3. Filtroprensado de pastas plásticas**

Preparada la mezcla y establecidos los valores de densidad y viscosidad requeridos para la barbotina, se procede a tamizarla sobre el tamiz del monoblock filtroprensa malla ASTM 100 (0,150 [mm] de abertura).

El proceso de filtroprensado permite la obtención de pastas cerámicas. En el Anexo IV se muestra la Guía de Práctica donde se detalla el procedimiento a seguir para el filtroprensado.

Procedimiento general:

1. Encender el compresor y esperar su carga (tiempo aproximado de carga 12 minutos).
2. Verificar la ubicación correcta de las placas filtrantes.
3. Bombear el cierre hidráulico que compacta el juego de placas hasta alcanzar la presión de cierre requerida, misma que se observa en el manómetro del sistema.
4. Realizar la conexión compresor-bomba de diafragma mediante la manguera de alta presión y juego de acople rápido.

5. Permitir el paso del flujo de aire, el mismo da inicio al funcionamiento de la bomba de diafragma. Observar los manómetros de la bomba que indican la presión de alimentación mientras dura el proceso (Presión máxima 6 [bar]).
6. Observar que la mezcla bombeada desde el reservorio atraviese correctamente las placas filtrantes.
7. Llenas completamente las placas filtrantes, se inicia el proceso de filtración.
8. Mantener la bomba operativa hasta que las placas terminen de filtrar.
9. Activar el sistema de aire comprimido mediante la válvula ubicada en la placa de empuje para limpiar el canal central y separar las tortas de las placas.
10. Abrir el paquete de placas.
11. Extraer cada una de las tortas de pasta cerámica obtenida.

La Figura 2.1 muestra el esquema de la ubicación de las válvulas del monoblock filtroprensa: válvula de entrada de barbotina, válvula de suministro de aire y válvula de retorno al tanque de almacenamiento, V1, V2 y V3 respectivamente.

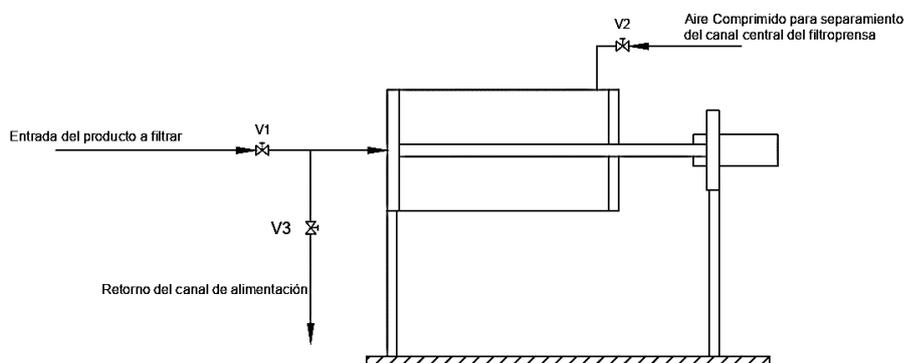


Figura 2.1. Esquema de las válvulas del filtroprensa.  
(Fuente: Manual de operación Netzsch)

En la Figura 2.2 se observa una de las placas filtrantes empleadas en el monoblock filtroprensa.



Figura 2.2. Placa Filtrante.  
(Fuente: Propia)

La Tabla 2.4 muestra las características de las placas filtrantes.

Tabla 2.4. Características de la placa filtrante.

Modelo	Placas Netzsch	
Dimensiones	Ancho	360 mm
	Alto	360 mm
	Largo	15mm
Área filtrante	2,35 m <sup>2</sup>	
Volumen cámara 2 placas	3,4 litros	
Material de las lonas	Polipropileno	

(Fuente: Netzsch)

## 2.3.4. Estudio de propiedades

### 2.3.4.1. Propiedades de la pasta plástica

De las pastas obtenidas se extraen muestras aleatorias para evaluar el porcentaje de humedad e índice de plasticidad.

El porcentaje de humedad de las pastas plásticas obtenidas se determina empleando la ecuación del apartado 1.2.1.4 del marco teórico. En el Anexo V se muestra un ejemplo de cálculo.

El índice de plasticidad se determina con base en la norma *ASTM: D4318: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. La norma cubre la determinación del índice líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos. Los resultados obtenidos se ubican en el diagrama Casagrande de la Figura 2.3. En el Anexo VI se muestra un ejemplo de cálculo para determinar el índice de plasticidad.

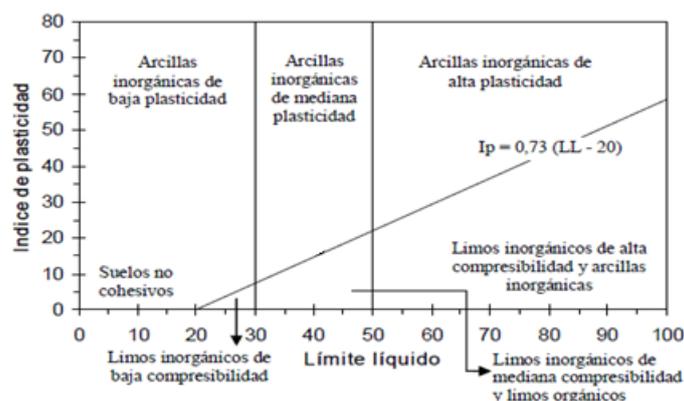


Figura 2.3. Diagrama Índice de Plasticidad.  
(Fuente: Santos, 2011)

### 2.3.4.2. Propiedades evaluadas en piezas cerámicas

A partir de las pastas plásticas obtenidas se elaboran al menos 35 probetas, mismas que se utilizan para evaluar propiedades de: color de quema, contracción al secado, contracción a la quema, contracción total y absorción de agua. Las probetas elaboradas se distribuyeron como se muestra en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5. Distribución de probetas elaboradas.

Tipo de pasta	Cantidad	Dimensiones	Observaciones
Roja	15	12 x 4 x 0,6 cm	5 probetas para 100 °C 5 probetas para 1000 °C 5 probetas para 1150 °C
Blanca	20	12 x 4 x 0,6 cm	5 probetas para 100 °C 5 probetas para 1000 °C 5 probetas para 1150 °C 5 probetas para 1250 °C

(Fuente: Propia)

La Figura 2.4 muestra un esquema de las probetas preparadas para la evaluación de propiedades.

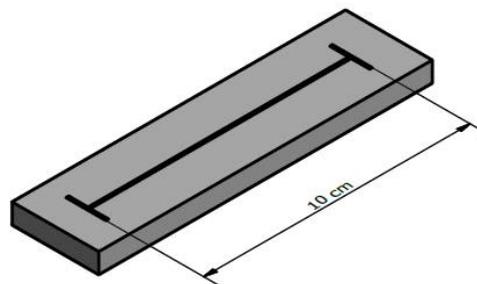


Figura 2.4. Probeta para ensayo de contracción.  
(Fuente: Propia)

El proceso de secado se realiza para todas las probetas empleando una estufa eléctrica, a incrementos de temperatura de 20 °C por hora hasta alcanzar la temperatura de 100 °C, una tasa baja de incremento de temperatura evita la formación brusca de poros y grietas (Gueto, 2005) . El proceso de cocción se lleva a cabo en un horno eléctrico programable en incrementos de 200 °C por hora, hasta llegar a las temperaturas mostradas en la Tabla 2.5.

El color de quema se determina posterior al proceso de cocción y consiste en la observación de la tonalidad adoptada por las probetas.

La contracción al secado y a la cocción de las probetas se determinó con base en la norma *ASTM C326-09: Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays*. La norma cubre la contracción lineal de los materiales cerámicos. En el Anexo VII se muestra un ejemplo de cálculo para determinar la contracción al secado, contracción a la quema y contracción total.

La absorción de agua se determinó con base en la norma *ASTM C373-18: Determination of Water Absorption and Associated Properties by Vacuum Method for Pressed Ceramic Tiles and Glass Tiles and Boil Method for Extruded Ceramic Tiles and Non-tile Fired Ceramic Whiteware Products*. La norma determina la capacidad de absorción de agua del material cerámico. En el Anexo VIII se muestra un ejemplo de cálculo para determinar la absorción de agua.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Diagnóstico Inicial

##### 3.1.1. Inspección visual

El ensayo de inspección visual determinó que los equipos requerían de:

- Limpieza general
- Lavado de partes y componentes
- Remoción de óxido
- Lijado y pintado superficial
- Ajuste de pernos y tuercas
- Lubricación de cadenas y rodamientos
- Lubricación de brazo articulado
- Limpieza y recubrimiento de cableado eléctrico
- Conexión compresor - bomba de diafragma
- Cambio de aceite bomba neumática
- Limpieza del filtro de aire del compresor.

La Figura 3.1 y Figura 3.2 muestran el estado inicial de los equipos purificador de arcilla, purificador de cuarzo y monoblock filtroprensa.



Figura 3.1. Estado inicial purificadores.  
(Fuente: Propia)



Figura 3.2. Estado inicial Monoblock Filtración.  
(Fuente: Propia)

### 3.1.2. Pruebas de funcionamiento

Para realizar las pruebas de funcionamiento, se arrancaron los equipos sin carga para comprobar su estado operacional, obteniéndose la información que se presenta en las Tabla 3.1, Tabla 3.2 y Tabla 3.3

Tabla 3.1. Estado funcional Purificador de arcilla.

Sistemas	Componente	Operativo	No operativo
Mecánico	Tanque Agitador	x	
	Sedimentador	x	
	Bomba Centrífuga		x
	Estructura	x	
	Cadenas	x	
Eléctrico	Motores de Inducción	x	
	Cable de poder	x	

(Fuente: Propia)

Tabla 3.2. Estado funcional Purificador de cuarzo.

Sistemas	Componente	Operativo	No operativo
Mecánico	Molino de Bolas	x	
	Tamiz Giratorio	x	
	Brazo Articulado	x	
	Cadenas	x	
Eléctrico	Motores de Inducción	x	
	Cable de Poder	x	

(Fuente: Propia)

Tabla 3.3. Estado funcional Monoblock Filtroprensa.

<b>Sistemas</b>	<b>Componente</b>	<b>Operativo</b>	<b>No operativo</b>
Mecánico	Estructura	x	
	Paletas del agitador	x	
Eléctrico	Motores	x	
	Cable de Poder	x	
Neumático	Compresor		x
	Bomba de Diafragma		x
Hidráulico	Bomba Hidráulica	x	
	Cierre Semihidraulico	x	

(Fuente: Propia)

Los resultados de la inspección visual realizada evidenciaron que los equipos que componen la planta piloto requerían de mantenimiento preventivo en todos sus sistemas, debido al tiempo que los mismos estuvieron fuera de servicio. En contraste, al desarrollar las pruebas de funcionamiento, los equipos arrancaron correctamente; el mayor inconveniente se encontró en la bomba neumática del monoblock filtroprensa, misma que no succionaba ningún tipo de fluido, por tal motivo fue necesario desarmar la cámara externa, para observar sus partes y determinar el origen del inconveniente.

La bomba neumática está formada de manera general por la cámara de bombeo, cuerpo y tuberías de succión y descarga. Al abrir la carcasa de la cámara de bombeo se observó que el diafragma se encontraba en buenas condiciones y que necesitaba de limpieza, por otra parte, se observó que la válvula de bola ubicada a la entrada de la tubería de succión se encontraba fuertemente adherida a su asiento, asimismo, la válvula de clapeta ubicada en la tubería de descarga de la bomba presentaba barbotina pegada en su compuerta.

Se evidenció que el filtroprensa no recibió un mantenimiento adecuado después de su último uso, lo que conllevó a la obstrucción de válvulas, por tanto, es fundamental que se lleven correctamente los procedimientos de uso y mantenimiento de los equipos para garantizar su funcionalidad y alargar su vida útil.

### 3.2. Puesta en marcha de los equipos

#### 3.2.1. Mantenimiento

En la Tabla 3.4 se ilustran los componentes de los equipos que conforman la Planta Piloto antes y después de realizado el mantenimiento.

Tabla 3.4. Componentes de la Planta Piloto.

Componente	Antes	Después
Tanque agitador		
Bomba hidráulica		
Tamiz rotatorio		

<p>Brazo articulado</p>		
<p>Molino de bolas</p>		
<p>Cadenas</p>		

<p>Válvula de clapeta</p>		
<p>Válvula de bola</p>		
<p>Tuberías</p>		

Diafragma		
Acople rápido		

(Fuente: Propia)

Los resultados del mantenimiento evidenciaron que los equipos siempre estuvieron en condiciones operativas, sin embargo, el deterioro observado fue ocasionado por falta de uso. Es por esta razón, que no se necesitó realizar algún cambio de parte o componente en los purificadores, los equipos requirieron de mantenimiento general como remoción de óxido, lijado de superficies, ajuste de tuercas y pernos en su estructura, lubricación y pintado superficial.

También se constató que los purificadores son equipos diseñados específicamente para la planta piloto, mientras que el monoblock filtroprensa es de fabricación industrial por lo que físicamente se encontraba en excelentes condiciones, sin embargo, la bomba neumática requirió de una limpieza general para corregir los inconvenientes previamente diagnosticados.

El mantenimiento realizado a los purificadores y monoblock filtroprensa fue en su totalidad preventivo, requirió de ajustes simples. En las actividades de mantenimiento realizadas bastó el uso de herramientas ligeras para poner en marcha los equipos, mejorar su apariencia y alargar su vida útil.

### 3.2.2. Operación de Equipos

Realizado el mantenimiento al purificador de arcilla, purificador de cuarzo y monoblock filtroprensa de la planta piloto, se ejecutan pruebas de operación para verificar su correcto funcionamiento.

#### 3.2.2.1. Operación Purificador de arcilla

Con el procedimiento de puesta en marcha detallado en el apartado 2.2.2 se verificó el correcto funcionamiento del equipo purificador de arcilla. El tanque de agitación genera la turbulencia necesaria que permite la obtención de una suspensión homogénea para el posterior proceso de sedimentación. El transporte de la suspensión arcillosa se realizó con la bomba centrífuga a un caudal de trabajo de  $14 \text{ [cm}^3/\text{s]}$ , caudal regulado mecánicamente con las válvulas ubicadas en las tuberías de succión y descarga con el cual no se produjeron bloqueos en la línea. El tanque sedimentador opera normalmente dando lugar al sedimentado de impurezas presentes en el mineral arcilloso.

#### 3.2.2.2. Operación Purificador de cuarzo

La Figura 3.3 muestra el porcentaje de retenido sobre la malla ASTM 100 de la materia prima en función del tiempo para el purificador de cuarzo de la planta piloto.

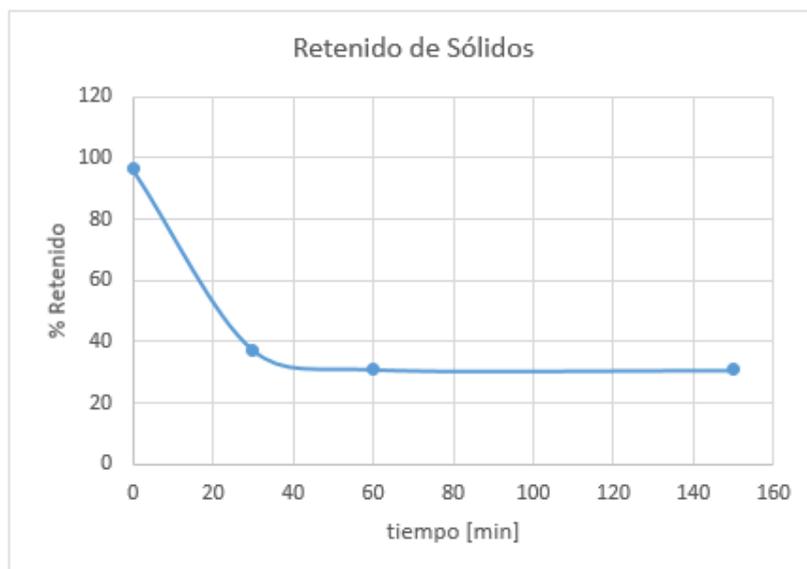


Figura 3.3. Porcentaje de retenido malla ASTM 100.  
(Fuente: Propia)

La Figura 3.3 muestra que el porcentaje de retención inicial sobre la Malla ASTM 100 es 97%, al transcurrir 30 minutos del proceso de molienda se evidencia una reducción de 59% en el retenido, luego de 1 hora de proceso se refleja una reducción de 7%. Considerando que la reducción es pequeña, se deja continuar el proceso por 1 hora y 30 minutos adicionales, tiempo que representa un 0,3% de reducción, es decir, no existe una diferencia considerable y se establece que el proceso ha terminado. Al final del proceso se obtiene un 31 % de retenido en 2 horas y 30 minutos de molienda, lo que nos indica una eficacia de molienda del 66 %

El desarrollo de esta prueba permitió verificar el correcto funcionamiento y cumplimiento de la operatividad para las que fue diseñado el purificador de cuarzo.

### 3.2.2.3. Operación Monoblock Filtroprensa

En la operación del monoblock filtroprensa se deben considerar las presiones de alimentación de la bomba neumática, presión de filtración del proceso y presión de cierre de las placas filtrantes; que en conjunto permiten el correcto desarrollo del proceso de filtroprensado de pastas plásticas.

#### Presión de Alimentación

El catálogo de especificaciones técnicas del fabricante indica que la bomba neumática puede alcanzar una presión de trabajo máxima de 6 [bar]. Para el desarrollo del proyecto se realizaron pruebas con valores de presión de 3, 4 y 5 [bar], obteniendo los resultados de la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Presión de alimentación.

	3 [bar]	4 [bar]	5 [bar]
$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Caudal [l/min]	Caudal [l/min]	Caudal [l/min]
1,50	14,2	15,9	19,1
1,60	5,1	8,3	12,6
1,70	4,7	7,2	10,1
1,80	2,3	4,3	8,2

(Fuente: Propia)

Al trabajar con una presión de 3 [bar] para densidades entre 1,5 y 1,7 [ $g/cm^3$ ] la bomba no presentó inconvenientes en la succión, pero para valores mayores a 1,7 [ $g/cm^3$ ] se evidencia una disminución en el caudal y para el caso de densidad de 1,8 [ $g/cm^3$ ] la bomba presentó problemas en la succión debido al alto contenido de sólidos en la barbotina. En consecuencia, considerando que se trabaja con un fluido tixotrópico fue necesario mantener en agitación la barbotina para disminuir su viscosidad y contribuir de esta manera con el proceso, sin embargo, al terminar el filtroprensado se observó que las placas finales no se llenaron completamente.

Al trabajar con una presión de 4 [bar] la bomba neumática operó correctamente para todas las densidades experimentales.

Al trabajar con una presión de 5 [bar], la bomba neumática succionó correctamente para todos los valores de densidad, sin embargo, se observa que para densidades bajas el flujo de barbotina es alto lo que podría ocasionar el taponamiento de las telas filtrantes.

Al realizar los ensayos en este rango de presiones, se llegó a determinar que para los procesos de filtroprensado es suficiente trabajar con una presión de alimentación de al menos 4 [bar], de esta manera se verifica el correcto desarrollo del proceso de filtroprensado y se garantiza la integridad de la bomba neumática y el correcto llenado del paquete de placas.

## Presión de Filtración

La Figura 3.4 obtenida experimentalmente muestra el comportamiento de la presión de filtración en función del tiempo para barbotinas de densidades 1,4, 1,6 y 1,8  $[g/cm^3]$  respectivamente.

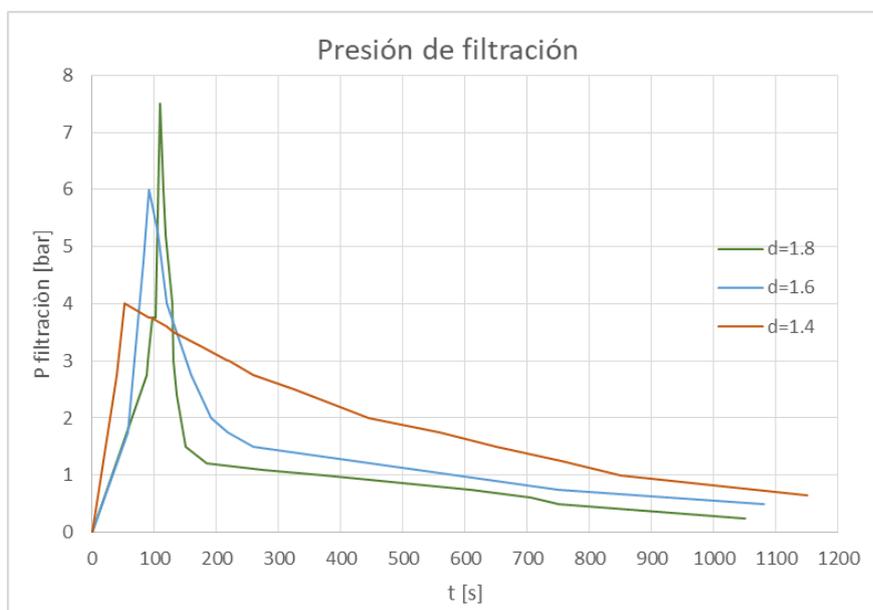


Figura 3.4. Presión de filtración.  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.4 se observa que para una barbotina de densidad 1,4  $[g/cm^3]$  el tiempo de llenado del paquete de placas es 47% menor que para una barbotina de densidad 1,8  $[g/cm^3]$ , es decir, el tiempo de llenado es directamente proporcional a la densidad de la barbotina. Cuando el sistema se encuentra completamente lleno, la presión de filtración alcanza su punto máximo, en este caso se aprecia que para una barbotina de densidad 1,4  $[g/cm^3]$  la presión máxima de filtración es 53% menor comparada con la presión máxima de una barbotina con densidad de 1,8  $[g/cm^3]$ .

Posterior al llenado de las placas, la presión de filtración empieza a descender, lo cual nos indica que el proceso de filtración ha iniciado. En la figura se observa que para una barbotina de densidad 1,8  $[g/cm^3]$  el tiempo de filtración es 90% más rápido que para una de densidad 1,4  $[g/cm^3]$ .

## Presión de cierre

La Figura 3.5 obtenida del catálogo de especificaciones técnicas del fabricante muestra la presión de cierre en función de la presión de filtración.

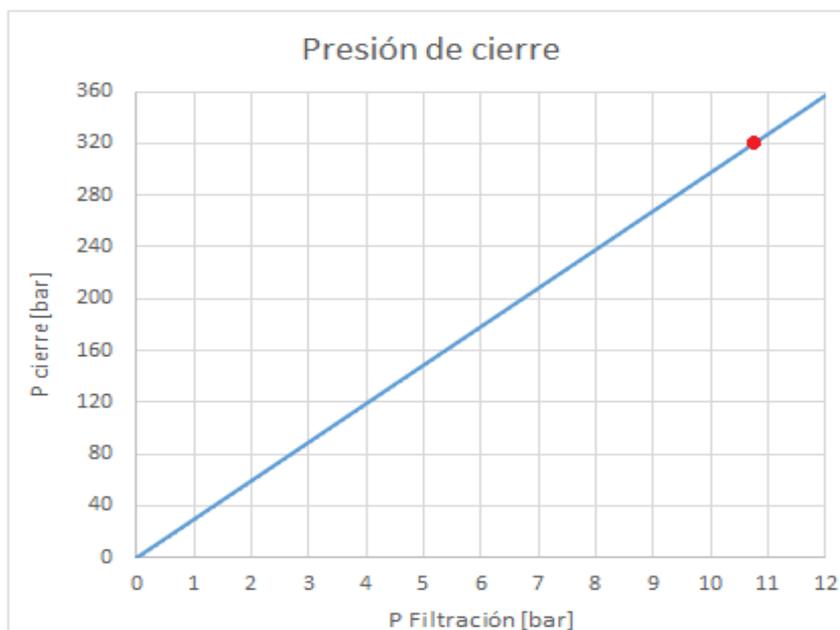


Figura 3.5. Presión de cierre.  
(Fuente: Catálogo Netzsch)

Para el análisis respectivo se debe considerar que la presión máxima de cierre que soporta el paquete de placas es 320 [bar] (Manual Netzsch).

En la Figura 3.5 se evidencia que a la presión de cierre recomendada de 320 [bar], le corresponde una presión de filtración máxima de 10,75 [bar]. Para los ensayos realizados, la presión máxima de filtración alcanzada fue de 7,5 [bar] para una densidad de 1,8 [g/cm<sup>3</sup>]. Observando la gráfica se determinó que para esta presión de filtración, se requiere de una presión de cierre de 220 [bar].

Considerando que el rango de densidades de trabajo está entre 1,5 a 1,8 [g/cm<sup>3</sup>], se determina que una presión de cierre de 250 [bar] es suficiente para llevar a cabo el proceso de filtroprensado.

En el Anexo IX muestra el manual de mantenimiento desarrollado para los equipos considerados en el presente proyecto.

### 3.3. Obtención de pastas plásticas cerámicas

La Figura 3.6 muestra el registro fotográfico del proceso seguido para la obtención de pastas plásticas.

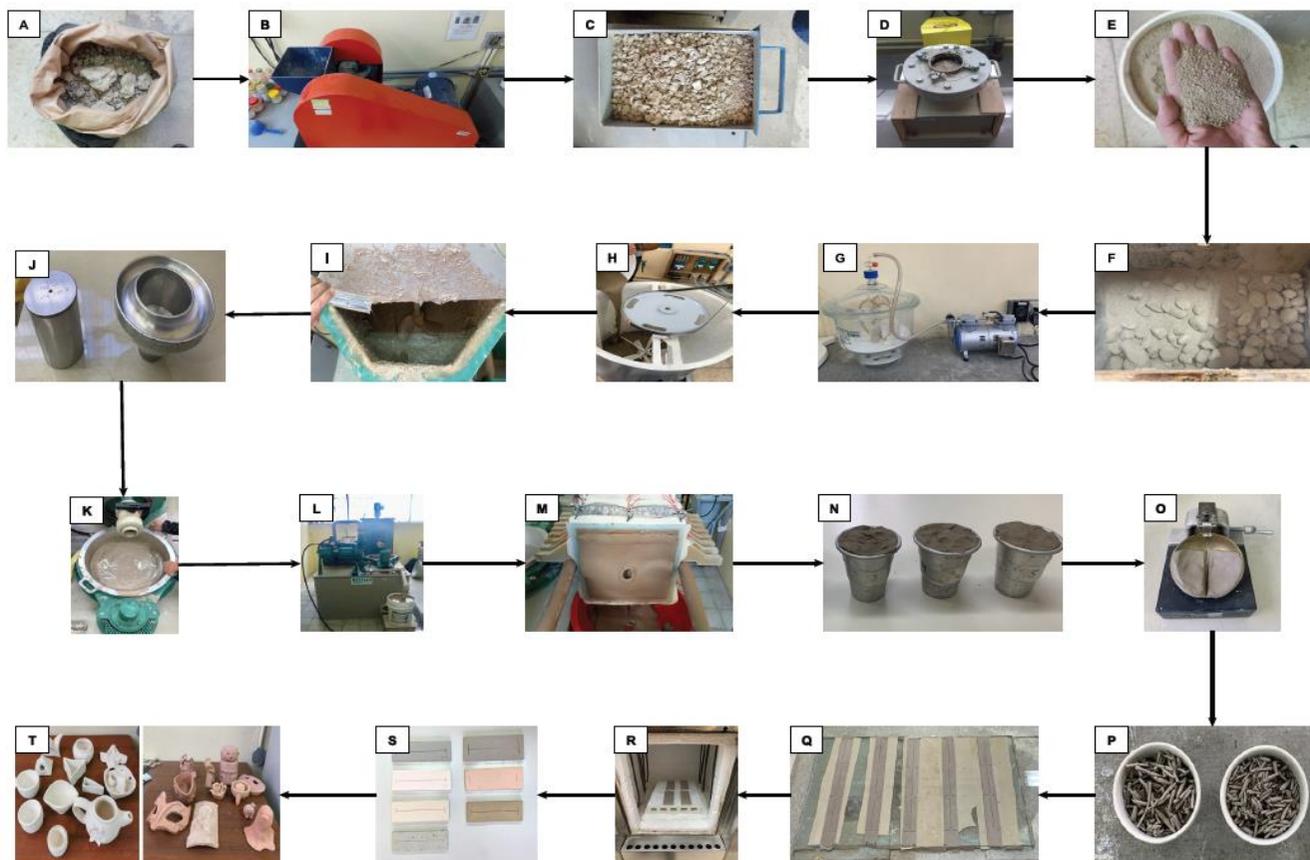


Figura 3.6. Proceso de obtención de pastas plásticas. A) Materia prima, B) Trituración, C) MP triturada, D) Molienda, E) MP molida, F) Molino de bolas, G) Determinación real de sólidos, H) Mezcla, I) Adición defloculante, J) Densidad y viscosidad, K) Tamizado, L) Filtroprensado, M) Obtención de tortas, N) Humedad, O) Límite líquido, P) Límite plástico, Q) Placas de control, R) Secado y cocción, S) Placas finales, T) Productos cerámicos (Fuente: Propia)

### 3.3.1. Beneficiado de materias primas

Los resultados de la determinación de la densidad real de sólidos para las pastas roja y blanca se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Propiedades físicas materias primas.

<b>Propiedad</b>	<b>Roja</b>	<b>Blanca</b>
Densidad [ $g/cm^3$ ]	2,55	2,53
Humedad [%]	1,92	2,03

(Fuente: Propia)

Las materias primas empleadas presentaron porcentajes de humedad de 1,92 y 2,03%, respectivamente, valor inferior al porcentaje recomendado de 5% lo que garantiza la uniformidad del tamaño y forma de los granos; además evita la adherencia del material en los equipos empleados para el acondicionamiento de las materias primas.

En la Tabla 3.6 se observa que los valores de densidad real de las materias primas son comparables a 2,70 [ $g/cm^3$ ], valor correspondiente a la densidad de materiales arcillosos. (Osipov, 2012) .

### 3.3.2. Caracterización de barbotinas

Las formulaciones de las barbotinas se obtuvieron mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.3.2, las cantidades de masa seca y masa de agua requerida se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Cantidad de masa seca y agua requerida.

<b>Tipo de Pasta</b>	<b>Masa seca [kg]</b>	<b>Volumen de agua [l]</b>	<b>Cantidad de barbotina [l]</b>
Roja	33	27	40
Blanca	40	24,5	40

(Fuente: Propia)

Las barbotinas elaboradas se dejaron reposar durante 24 horas, tiempo conocido como tiempo de maduración. Es aconsejable que el tiempo de maduración sea lo más prolongado posible, puesto que esto ayuda a mejorar las propiedades de la materia prima (Portillo, 2011). Para este caso en particular se evaluaron propiedades físicas de densidad y viscosidad.

Tabla 3.8. Propiedades de las barbotinas.

<b>Tipo de Pasta</b>	<b>Densidad [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiempo [s]</b>	<b>Viscosidad [cSt]</b>	<b>Defloculante [ml]</b>
Roja	1,5	20	60	20
Blanca	1,6	22	67	30

(Fuente: Propia)

La Tabla 3.8 muestra que las densidades de las barbotinas empleadas en la experimentación se encontraban dentro del rango recomendado. Para obtener los valores de viscosidad reflejados en los resultados, fue necesario el uso de silicato de sodio como defloculante, con lo que no existieron inconvenientes en el desempeño de la bomba neumática para el proceso de filtroprensado.

### 3.3.3. Caracterización de pastas plásticas

En la Tabla 3.9 se observan los resultados obtenidos del proceso de filtroprensado a partir de 34 litros de barbotina para cada tipo de pasta.

Tabla 3.9. Cantidad de pasta plástica obtenida.

<b>Torta No.</b>	<b>Pasta Roja</b>	<b>Pasta Blanca</b>
	<b>Masa [g]</b>	<b>Masa [g]</b>
1	2850	3940
2	2983	4050
3	3090	4306
4	3040	4220
5	2940	4153
6	3122	3986
7	2893	4051
8	2858	3891
9	2950	3960
10	3154	4276
Promedio	3003	4083
Total	27 030	40 833

(Fuente: Propia)

Las tortas de pasta roja obtenidas a partir de una barbotina con una concentración de sólidos del 55% y densidad 1,5 [g/cm<sup>3</sup>] presentan un peso promedio de 3003 [g], considerando que el monoblock filtroprensa posee una capacidad de producción de 10 tortas, se obtuvieron aproximadamente 27 [kg] de pasta roja.

Las tortas de pasta blanca obtenidas a partir de una barbotina con una concentración de sólidos del 62% y densidad 1,6 [ $g/cm^3$ ] presentan un peso promedio de 4000 [g] , así mismo, considerando la capacidad de producción del monoblock filtroprensa se obtuvieron aproximadamente 40 [kg] de pasta blanca.

La concentración de sólidos de las barbotinas, genera una diferencia de 32,5% entre las masas totales de pasta roja y pasta blanca. Con las pastas obtenidas se realizan las probetas para su respectiva caracterización.

## Humedad

En la Tabla 3.10 se muestran los porcentajes de humedad obtenidos de las pastas plásticas experimentales.

Tabla 3.10. Porcentaje de humedad de las pastas plásticas.

Tipo de Pasta	Humedad [%]
Roja	23
Blanca	25

(Fuente: Propia)

Los resultados muestran que las pastas obtenidas se encuentran dentro del rango establecido correspondiente a 20 - 25% y pueden ser llevadas a procesos de amasado, moldeado a mano y extrusión (Martinez, 2013).

## Índice de Plasticidad

En la Tabla 3.11 se muestra el índice de plasticidad de las pastas plásticas obtenidas experimentalmente.

Tabla 3.11. Índice de Plasticidad.

Pasta	Límite Líquido [%]	Límite Plástico [%]	Índice de Plasticidad [%]
Roja	45	28	17
Blanca	34	20	14

(Fuente: Propia)

La Figura 3.7 corresponde al diagrama Casagrande, permite determinar la plasticidad de las pastas plásticas.

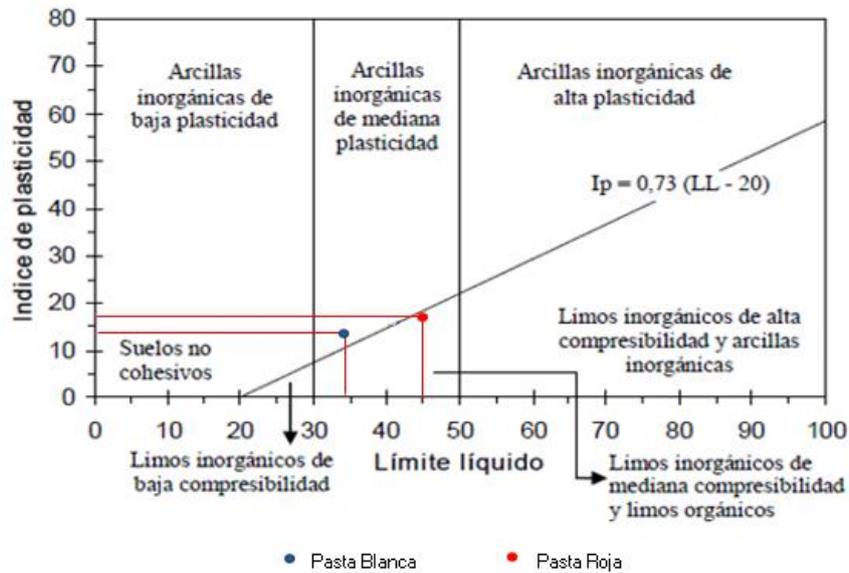


Figura 3.7. Diagrama Casagrande.  
(Fuente: Diagrama Casagrande)

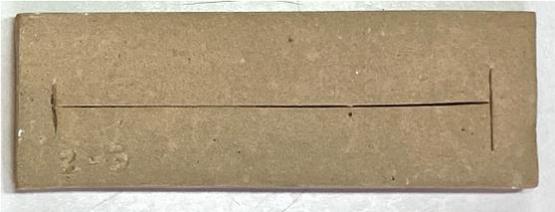
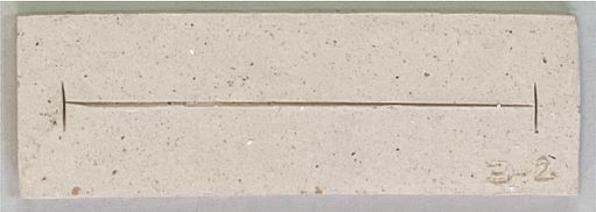
La pasta blanca posee un límite líquido de 34 e índice de plasticidad de 14, ubicándose de esta manera en la zona de mediana plasticidad. Asimismo, la pasta roja posee un límite líquido de 45 e índice de plasticidad de 17, correspondiente también a una pasta de mediana plasticidad. Con base en estos resultados se determina que las dos pastas poseen la plasticidad adecuada para un posterior conformado por extrusión, moldeado y torneado.

### 3.3.4. Caracterización de piezas cerámicas

#### Color de Quema

En la Tabla 3.12 se muestra el registro fotográfico de las placas de control posterior al proceso de cocción.

Tabla 3.12. Color de quema de las pastas plásticas obtenidas.

Temperatura [°C]	ROJA	BLANCA
1000		
Observaciones	No presenta fisuras ni agrietamientos. Color: Rosado claro	No presenta fisuras ni agrietamientos. Color: Blanco hueso
1150		
Observaciones	No presenta fisuras ni agrietamientos. Color: Marrón tenue	No presenta fisuras ni agrietamientos. Color: Blanco grisáceo

1250	NA	
Observaciones	NA	No presenta fisuras ni agrietamientos. Muestra señales de gresificación Color: Gris tenue

(Fuente: Propia)

En la Tabla 3.12 se observan las tonalidades adoptadas por las placas de control a las temperaturas establecidas. La pasta de quema roja es comúnmente utilizada en el sector artesanal para la fabricación de ladrillos, tejas, alfarería y la pasta de quema blanca es ampliamente utilizada en el sector industrial para la producción de lozas, sanitarios, azulejos, decoración de interiores, entre otras.

## Contracción

La Tabla 3.13, Tabla 3.14 y Tabla 3.15 muestran los resultados de contracción al secado, contracción a la quema y contracción total a las respectivas temperaturas de cocción

Tabla 3.13. Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1000 °C.

<b>Pasta</b>	<b>Contracción al secado [%]</b>	<b>Contracción a la quema a 1000 °C [%]</b>	<b>Contracción Total [%]</b>
Roja	4,37	5,35	9,72
Blanca	4,53	0,83	5,36

(Fuente: Propia)

Tabla 3.14. Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1150 °C.

<b>Pasta</b>	<b>Contracción al secado [%]</b>	<b>Contracción a la quema a 1150 °C [%]</b>	<b>Contracción Total [%]</b>
Roja	4,37	7,09	11,46
Blanca	4,53	4,45	8,98

(Fuente: Propia)

Tabla 3.15. Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1250 °C.

<b>Pasta</b>	<b>Contracción al secado [%]</b>	<b>Contracción a la quema a 1250 °C [%]</b>	<b>Contracción Total [%]</b>
Roja	4,37	-	-
Blanca	4,53	7,11	11,64

(Fuente: Propia)

La pasta roja presenta una contracción al secado de 4,37% que corresponde a una contracción baja, una contracción de 5,35 % a 1000 °C y una contracción de 7,09 % a 1150 °C; la contracción total es 11,46% a 1150 °C, en consecuencia, se puede usar esta pasta para gres, cerámica estructural y alfarería (Amoros, 2004).

Asimismo, la pasta blanca presenta una contracción al secado de 4,53% que corresponde a una contracción baja, una contracción de 0,83% a 1000 °C, una contracción de 4,45 % a 1150 °C y una contracción de 7,11% a 1250 °C; la contracción total de la pasta blanca es 11,64% a 1250 °C, valores que se encuentran dentro del rango para la fabricación de loza (Amoros, 2004).

## Absorción de agua

La Tabla 3.16 muestra los resultados del ensayo de absorción de agua efectuado en las placas de control.

Tabla 3.16. Absorción de agua.

<b>Pasta</b>	<b>Absorción a 1000 °C [%]</b>	<b>Absorción a 1150 °C [%]</b>	<b>Absorción a 1250 °C [%]</b>
Roja	22,11	2,41	-
Blanca	13,69	6,51	2,48

(Fuente: Propia)

En la Tabla 3.16 se observa que al aumentar la temperatura de cocción para las dos pastas plásticas el porcentaje de absorción de agua disminuye. Para la pasta roja el porcentaje de absorción a una temperatura de 1150°C corresponde a 2,41%, lo que nos indica que el material se encuentra cerca de su temperatura de vitrificación. Asimismo, para la pasta blanca el porcentaje de absorción es de 2,48% a una temperatura de 1250 °C, encontrándose de igual manera cerca de su temperatura de gresificación.

Los resultados obtenidos determinan que la pasta plástica roja, debido a su plasticidad, color de quema, contracción y absorción es apta para la fabricación de ladrillos, tejas, pavimento de gres rojo y alfarería. De igual manera con los resultados de las propiedades de la pasta blanca se determina que puede emplearse en la fabricación de loza, ladrillos blancos y alfarería.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

- Se cumplieron los objetivos planteados satisfactoriamente enfocados en: la puesta en marcha de la planta piloto del laboratorio de cerámica y la obtención de pastas cerámicas por filtroprensado.
- El diagnóstico de situación inicial determinó que el desconocimiento en la operación y la falta de uso de los equipos involucrados en el proceso de filtroprensado fueron las causas principales del deterioro presentado.
- El buen estado y la correcta operatividad de los equipos garantiza la calidad de los productos, por lo tanto, el presente proyecto permitió la puesta en marcha del purificador de cuarzo, purificador de arcilla y monoblock filtroprensa con la realización de actividades de mantenimiento preventivo en los sistemas componentes de cada uno de los equipos.
- Finalmente, el proyecto permitió determinar que por el proceso de filtroprensado empleando la planta piloto de cerámica de la EPN, se obtienen pastas cerámicas con porcentajes de humedad que oscilan entre 20-25%, con índices de plasticidad de 17 y 14%, aptas para la elaboración de productos cerámicos. Asimismo, valores de contracción de 11,46 y 8,98% e índices de absorción de 2,41 y 2,48%, característicos de productos cerámicos de loza y gres.

### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar adecuaciones o modificaciones en el tanque de almacenamiento del monoblock filtroprensa, debido a que no permite el control del volumen de suspensión arcillosa disponible, asimismo no posee un sistema de agitación lo que ocasiona que en la mezcla arcillosa no se mantenga sus propiedades reológicas, ocasionando inconvenientes en el proceso de succión de barbotina.
- Se recomienda establecer un plan de mantenimiento que permita que el personal de laboratorio mantenga los equipos operativos y evitar que entren en desuso.

## Referencias Bibliográficas

- Amoros, J. (2004). *Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas*. España: Instituto de tecnología cerámica.
- ASTM. (2000). *ASTM C20: Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. Norma, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM. (2000). *ASTM C329: Standard Test Method for Specific Gravity of Fired Ceramic Whiteware Materials*. Norma, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM. (2018). *ASTM C326: Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays*. Norma, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D1475: Standard Test Method For Density of Liquid Coatings, Inks, and Related Products*. (2013). Norma, ASTM International, West Conshohocken.
- Collado, P., Nuño, D., & Gantes, I. (2006). *Supervisión de ejecución de acabados, revestimientos y cubiertas*. España: LexNova.
- Díaz Rodríguez, & Torrecillas. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Cerámica y Vidrio*.
- Domínguez, J., & Schifter, I. (1995). *Las arcillas: El barro noble*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Elías, X. (2001). *Optimización de Procesos Cerámicos Industriales*. Medellín.
- Galán, E., & Aparicio, P. (2006). *Materias primas para la industria cerámica*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- García, E., & Suárez, M. (2011). *Las Arcillas: Propiedades y Usos*. Madrid, España: Universidad de Salamanca.
- GLOBAL, S. (2017). *Service & Operating EH2-M Manual*. SANDPIPER.
- González Linares. (1983). *La arcilla como material cerámico*. Granada: Universidad de Granada.
- Gueto, J. (2005). *Tecnología de los materiales cerámicos*. Madrid: Dias de Santos.
- Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de suelos*. México DF, México: Limusa.
- Lema, G. (2018). *Estudio del aprovechamiento de minerales arcillosos del Ecuador en la elaboración de barbotinas para uso en el sector cerámico artesanal*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Limited, E. (2019). *Copas de flujo de viscosidad*.
- Martínez, A. (2013). *Optimización de secado en piezas de cerámica fabricadas en talleres semi-artesanales, por medio del diseño de un mecanismo de evaporación a baja presión (EBP)*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

- Melendez, F. (2002). *Desarrollo de una barbotina cerámica para vaciado de alta presión mediante el uso la determinación de la permeabilidad en el filtro prensado*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Osipov. (2012). Density of clay minerals. *Soil ;echanics and Foundation Engineering*.
- Pérez, R. (2015). *Organización y gestión de la fabricación de pastas cerámicas*. España: Elearning.
- Perfil del mercado del Feldespato*. (2014). México D.F.: Coordinación General de Minería.
- Portillo, C. (2011). *Reología de materiales cerámicos: Reología práctica y aplicada*. Valencia: Asociación Española de Científicos.
- Restrepo, O. (2011). *Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, P. (2018). *Introducción a la Ingeniería de Mantenimiento*. Quito, Ecuador.
- Sancho, L. (2013). *El uso de componentes orgánicos en pastas cerámicas: Aserrín, estiercol y comején*. Costa Rica.
- Santos. (2011). *Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barchara*. Santander.
- Singer, F., & Singer, S. (1971). *Cerámica Industrial*. Bilbao: URMO S.A.
- Teijeira, T. (2015). *Fiabilidad y sistemas de control en la fabricación de pastas y de productos cerámicos conformados*. España: Elearning.
- Uribe, R. (2015). Investigaciones de materias primas minerales no metálicas en el Ecuador. *Revista Politécnica*.
- Vásquez , E. (2005). *Materiales cerámicos: propiedades, aplicaciones y elaboración*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

## **ANEXOS**

## Anexo I.

### Cálculo densidad real de sólidos

Para calcular la densidad real del sólido se empleó la Norma ASTM C329 la cual indica que:

$$G = \frac{(W - p)}{(W_1 - p) - (W_2 - W)}$$

G = gravedad específica respecto al agua a temperatura marcada por el termómetro.

$$D = G (d - a) + a$$

D = Densidad real del sólido [ $g/cm^3$ ]

Tabla AI.1. Determinación de densidad arcilla Colombia a 17 °C.

Notación	Descripción	Datos
p [g]	Peso picnómetro vacío + termómetro	46,94
W1 [g]	Peso picnómetro lleno de agua + termómetro	98,42
W [g]	Peso picnómetro con 1/3 de muestra + termómetro	63,75
W2 [g]	Peso picnómetro con 1/3 de muestra + agua + termómetro	108,52
d [g/cm <sup>3</sup> ]	Densidad absoluta de agua @ 17 °C	0,998774
a [g/cm <sup>3</sup> ]	Densidad absoluta de aire @ 17 °C	0,001217

Tabla AI.2. Densidad absoluta del agua.

Temperature, °C	Absolute Density, g/cm <sup>3</sup>									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.999 841	0.999 900	0.999 941	0.999 965	0.999 973	0.999 985	0.999 941	0.999 902	0.999 849	0.999 781
10	0.998 700	0.998 605	0.998 498	0.998 377	0.998 244	0.998 099	0.998 943	0.998 774	0.998 595	0.998 405
20	0.998 203	0.997 992	0.997 770	0.997 538	0.997 296	0.997 044	0.996 783	0.996 512	0.996 232	0.995 944
30	0.995 646	...	...	...	...	...	...	...	...	...

(Fuente: ASTM C329)

Tabla AI.3. Densidad absoluta del aire.

Temperature, °C	Absolute Density, g/cm <sup>3</sup>									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.001 293	0.001 288	0.001 284	0.001 279	0.001 274	0.001 270	0.001 265	0.001 261	0.001 256	0.001 252
10	0.001 247	0.001 243	0.001 239	0.001 234	0.001 230	0.001 226	0.001 221	0.001 217	0.001 213	0.001 209
20	0.001 205	0.001 201	0.001 196	0.001 192	0.001 188	0.001 184	0.001 180	0.001 176	0.001 173	0.001 169
30	0.001 165	...	...	...	...	...	...	...	...	...

(Fuente: ASTM C329)

$$G = \frac{(63,75 - 46,94)}{(98,42 - 46,94) - (108,52 - 63,75)} = 2,5052$$

$$D = 2,51 (0,998774 - 0,001217) + 0,001217$$

$$D = 2,50 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

Se realizó tres veces el procedimiento y se calculó el promedio de los resultados.

$$D = 2,51 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

## Anexo II.

### Ejemplo de cálculo – Formulación de barbotinas

Formulación desarrollada para la elaboración de 1 litro de barbotina.

$$m_s = K(P - 1)$$

Donde:

$$m_s = \text{masa seca tota de arcilla [kg/l]}$$

$$K = \text{constante de densidad}$$

$$P = \text{peso por litro de barbotina [kg/l]}$$

Cálculo de la constante de densidad:

$$K = \frac{\rho}{\rho - 1}$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad absoluta total [g/cm}^3\text{]}$$

Cálculo de la densidad absoluta total:

$$\rho = \sum_{i=1}^n (\rho_i)(V_i)$$

Donde:

$$\rho_i = \text{densidad de los minerales arcillosos componentes de la masa seca [g/cm}^3\text{]}$$

$$V_i = \text{proporción de los minerales arcillosos componentes de la masa seca (\%)}$$

$$\rho = \text{densidad absoluta total [g/cm}^3\text{]}$$

Cálculo de la masa de agua por litro de barbotina:

$$m_a = (P - m_s)$$

Donde:

$$m_a = \text{masa de agua por litro de barbotina [kg/l]}$$

**Datos Iniciales:**

$$P = 1,6 \text{ [kg/l]}$$

Tabla All.1. Composición barbotina para pasta blanca.

Mineral	% Proporción	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]
Arcilla	0,7	2,51
Feldespatos	0,2	2,59
Silice	0,1	2,58

Densidad absoluta:

$$\rho = (0,7 * 2,51) + (0,2 * 2,59) + (0,1 * 2,58)$$

$$\rho = 2,53 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Constante de densidad:

$$K = \frac{2,53}{2,53 - 1}$$

$$K = 1,65$$

Masa seca:

$$m_s = 1,65 (1,6 - 1)$$

$$m_s = 991 \text{ [g/l]}$$

$$m_s \approx 1 \text{ [kg/l]}$$

Masa de agua:

$$m_a = (1,6 - 1)$$

$$m_a = 0,609 \text{ [kg/l]}$$

Considerando que la densidad del agua es de 1 [kg/l], es decir, 1 [l] de agua tiene una masa de 1 [kg].

$$m_a \approx 0,609 \text{ [l]}$$

$$m_a \approx 609 \text{ [ml]}$$

## Anexo III.

### Tabla de viscosidad Copa Ford

En la Figura AIII.1 se muestran los valores de viscosidad correspondientes a los tiempos de flujo.

Tipos de copas de viscosidad

Tiempo (segundos)	DIN					ISO					FORD / ASTM				ZAHN					SHELL								
	4	2	3	4	5	3	4	5	6	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
16	38	6.4		19	40	234				35	66			19	40			4	88	148	322							
16	45	6.8	3	24	48	262				39	75			22	44			7	99	163	345				21	52	98	
17	51	7.3	5	28	56	290				43	84			24	48			11	111	178	368				23	55	104	
18	57	7.7	7	32	64	317				47	93			26	52			14	123	192	391	1.1	7.5	24	59	111	284	
19	63	8.1	9	35	72	343				51	101			1	29	55		18	135	207	414	1.4	8.1	26	62	117	300	
20	69	8.5	11	39	79	369				55	110			3	31	60		21	146	222	437	1.5	8.5	27	66	124	316	
21	74	9.0	13	43	86	396				58	118			4	33	64		26	168	237	460	1.8	9.2	29	69	130	332	
22	80	9.4	15	47	93	420				62	126			6	36	67		28	170	262	483	2.0	9.8	30	72	137	348	
23	85	9.8	17	50	100	445				66	134			7	38	71		32	181	260	506	2.3	10.4	32	76	143	365	
24	91	10.3	18	54	107	470				70	142			9	40	75		36	193	281	529	2.6	10.9	33	79	150	381	
25	96	10.7	20	57	114	494				73	150			10	43	79		39	206	290	562	2.7	11.5	35	83	156	397	
26	101	11.1	22	60	120	519				77	157			12	45	83		42	216	311	576	2.9	12.1	36	86	163	413	
27	107	11.5	23	64	127	543				80	165			13	47	87		46	228	325	608	3.2	12.7	38	90	169	429	
28	112	12.0	25	67	133	567				84	173			14	49	91		49	240	340	621	3.4	13.2	39	93	175	440	
29	117	12.4	25	70	140	591				88	180			16	52	94		63	262	356	644	3.6	13.8	41	97	182	462	
30	122	12.8	28	73	146	614				91	188			17	54	98		1	55	263	370	667	3.8	14.4	42	100	189	478
31	127	13.3	30	77	163	638				95	195			19	56	102		2	50	276	386	690	4.1	15.0	44	104	195	494
32	132	13.7	31	80	169	662				98	203			20	59	106		3	53	287	400	713	4.3	15.6	46	107	202	510
33	137	14.1	33	83	165	685				102	210			22	61	110		4	57	298	414	736	4.5	16.1	47	110	208	527
34	142	14.5	34	85	171	709				105	218			23	63	114		6	70	310	429	759	4.7	16.7	48	114	215	543
35	147	15.0	35	89	177	732				109	225			24	65	117		7	74	322	444	782	5.0	17.3	50	117	221	569
36	152	15.4	37	92	184	756				112	233			25	68	121		8	77	333	459	806	5.2	17.9	51	121	228	575
37	157	15.8	38	95	190	778				116	240			27	70	125		9	81	345	474	828	5.4	18.4	53	124	234	591
38	162	16.3	40	99	196	801				119	247			1	29	73	129	10	84	357	488	851	5.6	19.0	54	128	241	608
39	167	16.7	41	102	202	825				122	254			2	30	75	133	11	88	369	503	874	5.9	19.6	56	131	247	624
40	172	17.1	43	106	208	848				125	262			2	32	77	137	12	91	380	518	897	6.1	20.2	57	135	254	640
41	176	17.5	44	108	214	871				129	269			3	33	80	141	13	96	392	533	920	6.3	20.7	59	138	260	656
42	181	18.0	45	111	220	895				133	276			4	35	82	144	14	98	404	548	945	6.5	21.3	60	141	267	672
43	185	18.4	47	114	226	918				136	283			4	36	84	148	15	102	415	562	966	6.8	21.9	62	145	273	689
44	191	18.8	48	117	232	949				140	291			5	37	86	152	17	106	427	577	989	7.0	22.5	63	148	280	705
45	195	19.2	60	120	238	972				143	298			5	39	89	156	18	109	439	592	1012	7.2	23.0	65	152	285	721
46	200	19.7	51	123	244	995				145	306			5	40	91	160	19	112	450	607	1035	7.5	23.6	66	156	293	737
47	205	20.1	52	125	250	1008				149	312			6	42	93	164	20	115	462	622	1058	7.7	24.2	68	159	299	753
48	210	20.6	54	129	255	1030				153	319			7	43	95	168	21	119	474	636	1081	7.9	24.8	69	162	305	770
49	215	21.0	55	132	261	1053				156	326			7	45	98	171	22	123	486	651	1104	8.1	25.3	71	166	312	785
50	219	21.4	55	135	267	1076				160	334			8	46	100	175	23	125	497	666	1127	8.4	25.9	72	169	319	802
51	224	21.8	58	138	273	1099				163	341			8	48	103	179	24	130	509	681	1150	8.6	26.5	74	173	325	818
52	229	22.2	59	141	279	1121				166	348			8	49	105	183	25	133	521	695	1173	8.8	27.1	75	176	332	834
53	234	22.7	60	144	285	1144				170	355			9	50	107	187	25	137	532	710	1195	9.0	27.6	77	179	338	851
54	238	23.1	62	147	291	1166				173	362			9	52	110	191	26	140	544	725	1219	9.3	28.2	79	183	345	867
55	243	23.5	63	150	297	1189				176	369			10	53	112	194	29	144	556	740	1242	9.5	28.8	80	186	351	883
56	248	24.0	64	153	302	1212				180	376			10	55	114	198	30	147	567	755	1265	9.7	29.4	82	190	358	899
57	253	24.4	65	156	308	1234				183	383			11	56	115	202	31	151	579	770	1288	9.9	30.0	83	193	364	915
58	257	24.8	67	159	314	1257				186	390			11	58	119	205	32	154	591	784	1311	10.2	30.6	85	197	371	932
59	262	25.2	68	162	320	1279				190	397			12	59	121	210	33	158	603	799	1334	10.4	31.1	86	200	377	948
60	267	25.7	70	166	325	1302				193	406			12	60	123	214	34	161	614	814	1357	10.6	31.7	88	204	384	964
66	290	27.8	75	179	354	1414				20	440			16	68	135	233	40	179	673	888	1472	11.8	34.0	96	221	415	1045
70	313	29.9	83	194	383	1525				28	476			17	76	147	252	46	195	731	962	1587	12.9	37.4	103	238	440	1120
76	337	32.1	89	208	412	1638				31	500			20	82	158	271	51	214	790	1036	1702	14.0	40.3	110	256	481	1207
80	359	34.2	95	223	441	1750				33	524			22	89	170	291	56	231	848	1110	1817	15.1	43.2	118	273	514	1288
85	383	35.4	102	237	469	1851				35	548			25	95	181	310	61	249	907	1184	1932	16.3	46.1	125	290	545	1369
90	405	38.5	108	252	498	1973				38	572			27	104	193	329	67	265	965	1258	2047	17.4	49.0	133	307	579	1450
100	452	42.8	121	280	554	2195				42	600			32	118	216	358	78	301	1082	1405	2277	19.7	54.7	148	342	644	1612
110	499	47.0	134	300	611	2418				47	629			37	132	239	405	89	335	1199	1554	2507	21.9	60.5	163	375	709	1774
120	545	51.3	146	338	668	2640				51	652			42	147	262	445	100	371	1316	1702	2737	24.2	66.2	178	411	774	1936
130	601	55.6	159	366	724	2862				56	676			47	161	285	483	111	406	1433	1850	2967	26.4	72.0	193	445	839	2098
140	657	59.9	171	395	781	3084				61	700			51	176	308	522	122	441	1550	1998	3197	28.7	77.8	208	480	904	2260
160	682	64.2	184	424	837	3305																						

## **Anexo IV.**

### **Guía de Práctica Filtroprensado**

**TEMA:** OBTENCIÓN POR FILTROPRESADO DE PASTAS CERÁMICAS

**OBJETIVOS:**

- Familiarizar y guiar a los encargados del laboratorio con el funcionamiento del filtroprensa.
- Obtener pastas cerámicas a través de filtroprensado.
- Analizar las propiedades de las pastas obtenidas.

**EQUIPO:**

- Tanque de alimentación
- Tamiz vibratorio
- Bomba Neumática
- Compresor de aire
- Tanque de almacenamiento
- Filtroprensa

**MARCO TEORICO:**

Se define como filtroprensado o escurrido a la disminución del porcentaje de humedad de una barbotina para la obtención de una pasta cerámica. Proceso que se llevará a cabo en la planta piloto del laboratorio de cerámica.



Figura 1. Planta Piloto

La planta piloto de cerámica es un conjunto de equipos que permiten la mezcla de materias primas para la elaboración de barbotinas y posterior filtroprensado de la misma, dando como resultado la obtención de pastas cerámicas de una manera eficiente.

El tanque de alimentación junto con el tamiz vibratorio permite la elaboración y homogenización de barbotina. Cada uno de estos sistemas cuenta con su propio switch para un funcionamiento independiente. La barbotina preparada es transportada al tanque de almacenamiento situado en la parte inferior de la planta para el siguiente proceso. Finalmente, se pone en marcha la bomba de diafragma con la ayuda del compresor para llevar a cabo el proceso de filtroprensado. El volumen de las cámaras formadas por dos placas es de 3.4 litros, en consecuencia, el filtroprensa tiene la capacidad máxima de procesar 34 litros de barbotina.

Las pastas obtenidas se someten a pruebas para determinar sus principales características.

#### **PROCEDIMIENTO:**

1. Conectar el cable de poder que activa el tanque de alimentación y el tamiz vibratorio a la fuente de 380V.
2. Introducir la materia prima al tanque de alimentación y encender el switch para iniciar su mezcla, verificar la viscosidad de la mezcla y de ser necesario añadir defloculante. Es importante dejar reposar la mezcla por al menos 24 h para que la barbotina mejore su plasticidad.

#### Recomendación:

Para garantizar el correcto funcionamiento de la bomba de diafragma, se recomienda trabajar con barbotinas cuyos valores de densidad varíen entre 1.5 y 1.7 [g/cm<sup>3</sup>]. Si se utilizan barbotinas con densidades mayores a 1.7 es indispensable llevar un control minucioso de su viscosidad con la ayuda de defloculante.



Figura 2. Tanque de alimentación

3. Encender el switch del tamiz vibratorio y abrir la válvula del tanque de alimentación, la barbotina cae sobre el tamiz y se transporta al tanque de almacenamiento.
4. Arreglar las placas paralelamente sobre los bastidores y cerrarlas mediante la bomba hidráulica, la presión de cierre se verifica en la figura 2.

Nota: Las placas pueden soportar una presión máxima de 320 [bar].



Figura 3. Bomba Hidráulica

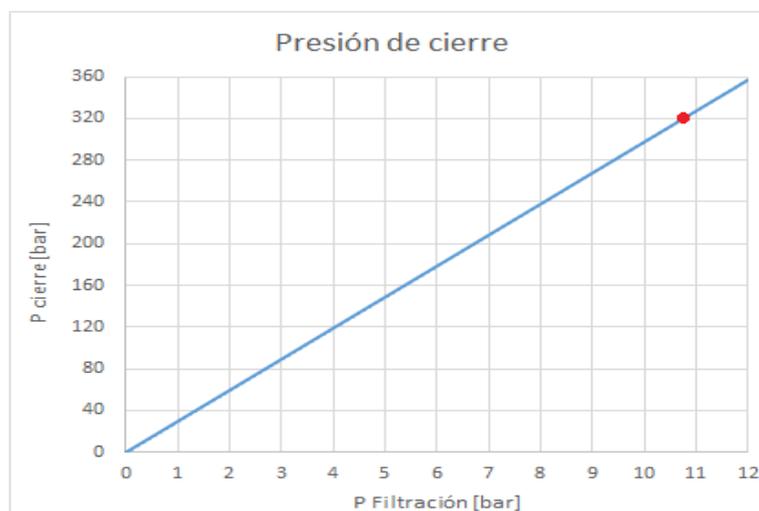


Figura 4. Gráfica Presión de cierre vs Presión filtración.

5. Conectar la manguera de alta presión proveniente del compresor a la bomba de diafragma con el uso del acople rápido instalado. (El compresor debe ser cargado previamente, tiempo de carga aproximado 12 minutos)
6. Poner en marcha la bomba de diafragma y verificar el paso de barbotina a través de las placas compactadas.
7. Verificar el manómetro que nos, muestra la presión de filtración, el mismo que no debe superar los 10 bar.



Figura 5. Manómetro de Presión de filtración

8. El proceso de filtroprensado dura aproximadamente 30 minutos. Durante este proceso se observa la caída de agua por la parte inferior de las placas.
9. Detener la marcha de la bomba, cerrar la válvula del compresor y desconectar la manguera del extremo acoplado al compresor.
10. Conectar la manguera de alta presión de la placa de empuje al compresor, abrir la válvula del compresor y por medio de la válvula ubicada en la placa de empuje permitir el paso de aire a las placas para separar la pasta del filtro.
11. Aflojar la válvula de alivio de la bomba hidráulica para separar las placas. Finalmente, recoger las pastas cerámicas en un recipiente.
12. Tomar muestras de la pasta obtenida para realizar las pruebas requeridas.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Las siguientes tablas deben ser llenadas con los datos de la práctica realizada.

### 1. Datos de barbotina preparada.

<b>Barbotina Filtroprensada</b>	
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	
Viscosidad [s]	
Volumen [l]	
Defloculante [ml]	
No Tortas	

### 2. Porcentaje de humedad de la pasta obtenida.

$$\%H = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100$$

Donde:

$m_s$  = muestra seca

$m_h$  = muestra húmeda

<b>Crisol No.</b>	<b>Crisol vacío [g]</b>	<b>Crisol + Mues. Húmeda [g]</b>	<b>Crisol + Mues. Seca [g]</b>	<b>Muestra Húmeda [g]</b>	<b>Muestra Seca [g]</b>	<b>% Humedad</b>
1						
2						
3						
4						
5						

### 3. Total pasta obtenida en el proceso.

<b>Torta No.</b>	<b>Masa [g]</b>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
<b>Promedio</b>	

## Anexo V.

### Ejemplo de cálculo – Porcentaje de humedad de la pasta cerámica

Para calcular el porcentaje de humedad de la pasta plástica se emplea:

$$\%H = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100$$

Donde:

$m_h$  = masa húmeda de la muestra [g]

$m_s$  = masa seca de la muestra [g]

Tabla AV.1. Contenido de humedad pasta plástica.

Recipiente No.	Vacío [g]	Recipiente + Mues. húmeda [g]	Recipiente + Mues. seca [g]	Muestra húmeda [g]	Muestra seca [g]	% H
1	6,52	125,43	104,44	118,91	97,92	21,44
2	6,88	121,36	98,95	114,48	92,07	24,34
3	6,64	116,51	93,88	109,87	87,24	25,94
4	7,02	132,49	111,31	125,47	104,29	20,31
5	7,55	138,12	115,53	130,57	107,98	20,92

$$\text{Masa muestra húmeda} = 125,43 - 6,52 = 118,91 \text{ [g]}$$

$$\text{Masa muestra seca} = 104,44 - 6,52 = 97,92 \text{ [g]}$$

$$\%H = \frac{118,91 - 97,92}{97,92} * 100$$

$$\%H = 21,44 \%$$

Se realizó cinco veces el procedimiento y se calculó el promedio de los resultados.

$$\%H = 22,59 \%$$

## Anexo VI. Ejemplo de cálculo – Índice de plasticidad

El límite líquido se determina a partir de los datos de la Tabla AVI.1.

Tabla AVI.1. Contenido de humedad pasta plástica blanca.

No Golpes	Vacío [g]	Recipiente + Mues. húmeda [g]	Recipiente + Mues. seca [g]	Muestra húmeda [g]	Muestra seca [g]	% H
70	45,14	65,19	61,45	20,05	16,31	22,9
50	41,44	55,62	52,23	14,18	10,79	31,4
45	41,39	59,07	54,75	17,68	13,36	32,3
30	36,97	50,83	47,43	13,86	10,46	32,5
26	41,25	58,38	54,12	17,13	12,87	33,1
22	40,56	57,87	53,53	17,31	12,97	33,5
18	26,51	40,31	36,82	13,80	10,31	33,9

Con los datos de la Tabla AVI.1 se grafican los puntos correspondientes al porcentaje de humedad y el número de golpes.

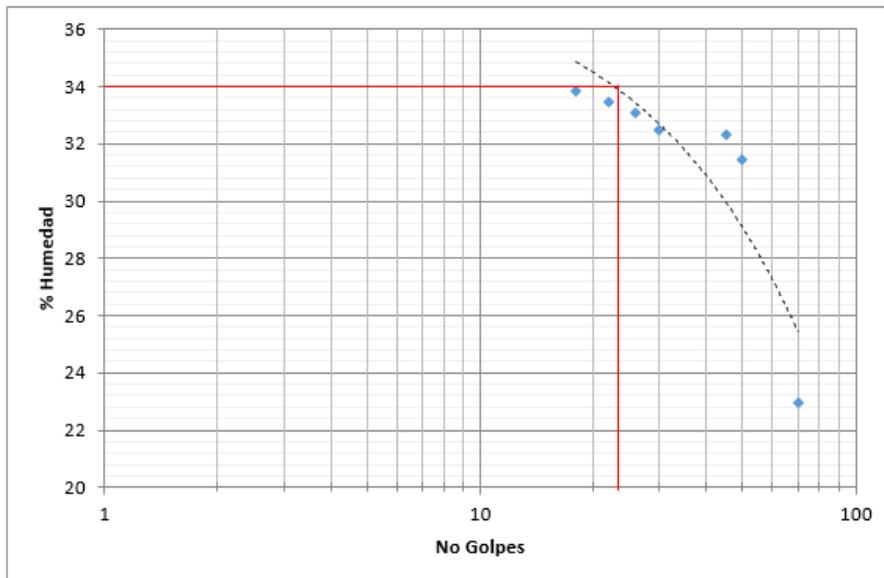


Figura AVI.1. Humedad vs No. de Golpes

La Figura AVI.1 muestra que a 25 golpes se obtiene un límite líquido igual a 34%.

$$LL = 34\%$$

El límite plástico se determina a partir de los datos de la Tabla AVI.2.

Tabla AVI.2. Contenido de humedad pasta plástica blanca.

Masa crisol [g]	Crisol + Mues. húmeda [g]	Crisol + Mues. seca [g]	Muestra húmeda [g]	Muestra seca [g]	% H
28,04	49,70	46,12	21,66	18,08	19,80
28,06	49,26	45,85	21,20	17,79	19,20
28,84	49,19	45,87	20,35	17,03	19,50

El límite plástico corresponde al promedio de porcentaje de humedad de las muestras, obteniendo un valor de 20%.

$$LP = 20\%$$

Índice de plasticidad:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 14\%$$

Los valores de límite líquido e índice de plasticidad se ubican en el diagrama Casagrande para determinar el nivel de plasticidad de la pasta.

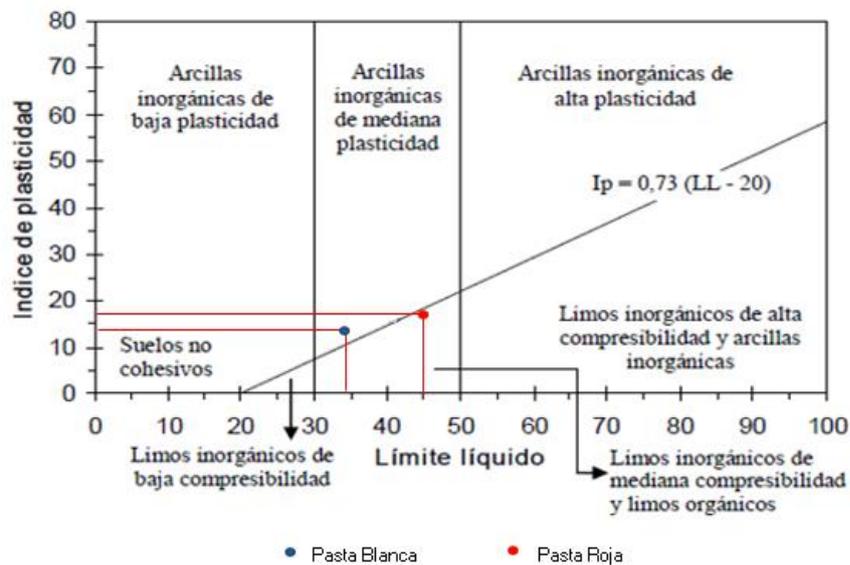


Figura AVI.2. Diagrama Casagrande

## Anexo VII. Ejemplo de cálculo - Contracción

La Tabla VII.1 muestra los datos para determinar la contracción al secado y a la quema de las placas de control.

Tabla VII.1 Contracción al secado a 100 °C y a la quema a 1150 °C pasta blanca.

Placa	l <sub>0</sub> [mm]	l <sub>1</sub> [mm] seca	l <sub>1</sub> [mm] quemada	%C secado	%C quemado
1	100	94,6	90,70	5,40	4,12
2	100	94,8	90,65	5,20	4,38
4	100	94,6	90,65	5,40	4,18
12	100	96,4	92,20	3,60	4,36

$$\% C = \frac{L_0 - L_f}{L_0}$$

Donde:

$L_0$ : Longitud inicial marcada en la placa de control.

$L_f$ : Longitud final marcada en la placa de control.

$$\% C \text{ secado} = \frac{100 - 94,6}{100} * 100$$

$$\% C \text{ secado} = 5,40 [mm]$$

Para el cálculo de la contracción a la que se considera la longitud inicial como la longitud obtenida de secado.

$$\% C \text{ quema} = \frac{94,60 - 90,70}{94,60} * 100$$

$$\% C \text{ quemado} = 4,12 [mm]$$

La contracción total es la suma del porcentaje de secado y quema.

$$\% C \text{ total} = 9,52 [mm]$$

## Anexo VIII.

### Ejemplo de cálculo – Absorción de agua

La Tabla VIII.1 muestra los datos para determinar la absorción de agua de las placas de control.

Tabla VIII.1 Absorción de agua a 1150°C de la pasta blanca

Masa de quema [g]	Masa saturada [g]	Absorción de agua [%]
42,34	45,11	6,54
41,26	43,88	6,35
40,75	43,46	6,65

$$\% A = \frac{M - D}{D}$$

Donde:

M: Masa saturada de agua de la probeta [g]

D: Masa de la probeta quemada [g]

$$\% A = \frac{45,11 - 42,34}{42,34} * 100$$

$$\% A = 6,54 \%$$

## Anexo IX.

### Manual de Mantenimiento

#### MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para la elaboración del manual de mantenimiento es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos.

#### Codificación general

XXX - Y - #

Donde:

*XXX: Iniciales del nombre del equipo*

*Y: Importancia de mantenimiento*

*#: No de equipo*

<b>Mantenimiento</b>	
A	Indispensable
B	Medio
C	Bajo

#### REGISTRO DE EQUIPOS – PLANTA PILOTO

	MANUAL DE MANTENIMIENTO - REGISTRO DE EQUIPOS				
	Realizado por:	Aguirre Pablo - Manzano Ronny	Fecha:	2020	
	Solicitado por:	Ing. Rafael Uribe, PhD	Version:	v1.0	
	Recibido por:		Pagina:	1/1	
No	Equipo	Marca	Codigo		
1	Tanque de almacenamiento	Netzsch	TA - C - 001		
2	Tamiz vibratorio	Netzsch	TM - B - 002		
3	Bomba neumatica	SandPiper	BN - A - 003		
4	Bomba hidraulica	Netzsch	BH - B - 004		
5	Placas Filtrantes	Netzsch	PF - C - 005		
6	Compresor	Schulz	CP - A - 006		
7	Purificador de arcilla		PA - A - 007		
8	Purificador de cuarzo		PC - A - 008		
Nombre y Firma - Responsable		Nombre y Firma - Jefe del Laboratorio			

















## FORMATO HOJA DE REGISTRO HISTORIAL DE REPARACIONES

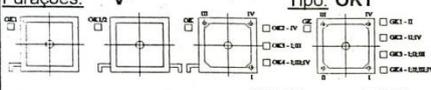
	<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO - HISTORIAL DE REPARACIONES</b>				
	Realizado por:	Aguirre Pablo - Manzano Ronny	Fecha:		2020
	Solicitado por:	Ing. Rafael Uribe, PhD	Versión:		v1.0
	Recibido por:		Página:		1/1
<b>EQUIPO</b>				<b>CODIGO</b>	
<b>ACTIVIDAD REALIZADA</b>				<b>FECHA</b>	
				Inicio:	
				Fin:	
				Inicio:	
				Fin:	
				Inicio:	
				Fin:	
				Inicio:	
				Fin:	
				Inicio:	
				Fin:	

## FORMATO HOJA DE REGISTRO DE ACTIVIDADES

MANUAL DE MANTENIMIENTO - REGISTRO DE EQUIPOS						
						
Realizado por:	Aquirre Pablo - Manzano Ronny	Fecha:	2020			
Solicitado por:	Ing. Rafael Uribe, PhD	Version:	v1.0			
Recibido por:		Página:	43831			
No	Fecha	Equipo	Responsable	Tiempo de uso	Actividades	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

## Anexo X.

### Ficha Técnica Monoblock Filtroprensa

Especificación Técnica		<b>NETZSCH</b>	
FILTRO PRENSA			
Cliente:	SENACYT - FUNDACION BID - FUNDACYTT	Provincia:	Quito - Ecuador
Nr. CP:	K43.0051/00 Fecha CP: 31/03/00	Fecha Entrega:	19/06/00
Cantidad:	01 Equipo Nr.: F-1530	Inspección:	Não
Figura:	KFP 021.14-16/264HP/400/10	Presión de Proyecto:	16 Bar
<b>1 - PAQUETE DE PLACAS</b>		<b>2 - CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:</b>	
Tamaño:	400	Conexiones - NORMA:	DIN - PN16
Esp.torta:	30 mm Material : NEKULIT	Entrada Producto:	DN 40
Lonas:	11 Lonas dobles - PP Cód.253 EMB	Salida Filtrado:	Abierta
Tela de protección:	-	Cahla de Recogimiento:	-
Cant. - Cámaras:	10	Aire Comprimido:	1/2" - Conexión p/manguera
- Placas inteiras:	9	Sistema de Cierre:	264.17
- Medias placas:	2	<b>3 - CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:</b>	
Furações: V	Tipo: OK1	Tensión de trabajo:	220 V
		Tensión de comando:	-
	INICIAL FINAL	Protección:	IP 55 Frecuencia: 60 Hz
Área Filtrante: m <sup>2</sup>	2,34 2,34	Cuadro:	Cuadro eléctrico
Volumen del Filtro: Lts.	34,0 34	<b>4 - PINTURA:</b>	
Obs.: -		Pintura:	Epoxi - I (PLANO Nr.4) Verde RAL 6000
<b>6 - UNIDADE HIDRÁULICA</b>		Pintor Responsable:	Fecha: / /
Fabricante:	NdB Cap.reser.: 1,7 litros	<b>5 - DADOS DO PROD. / BOMBA DE ALIM.</b>	
Modelo:	NT 130	Producto:	Barbotina
P.T.Sistema Cierre:	360 Bar	Temperatura:	- pH: -
Arreglo Válv.de Alivio:	-	TS-Susp.:	- TS-Torta: -
Presión de Seguridad:	-	Presión máx.filtración:	12 Bar
<b>7 - DISPOSITIVOS ADICIONALES</b>		Bomba de Alimentación	
Válv.retención:	01 - DN40 Material: AISI 316	Bomba PNEUMÁTICA:	NHP2M,NNIO3MO
Otros:	- 01 Espátula; - 01 Filtro vibratório - 01 Estanque com agitador - 01 Base	CP:	KL30002
<b>9 - DATOS DE MONTAJE / INSPECCIÓN</b>		<b>8 - INSPECCIÓN FINAL:</b>	
Montador Responsable:		Conforme NdB 142	
Conclusión de la Montaje:		<b>10 - DIMENSIONES CFE.DES.:</b> FP-0530	
Control Interno:	Fecha:	Largo.:	(2100) mm.
Pintura:	Fecha:	Ancho:	(1400) mm.
Fecha de Envío:		Altura:	(2050) mm.
Nota Fiscal Nr.:		Peso Neto.:	850 kgf
		Fecha:	05/05/00
		Firma:	EDIO KREITLOW