

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

1.1 Generalidades

La Cerámica COBOCE Ltda. es una unidad productiva de la Cooperativa Boliviana de Cemento, Industrias y Servicios, COBOCE LTDA. con más de 25 años de presencia en el mercado nacional e internacional.

Inició sus actividades como una planta piloto de experimentación de arcillas dependientes de la Unidad COBOCE Irpa-Irpa en mayo de 1988. En la actualidad es reconocida como una industria de primer nivel gracias a la calidad de sus productos: pisos y revestimientos cerámicos en una gran variedad de colores, texturas, diseños que van desde estilos rústicos hasta estilos sobrios y elegantes con variadas aplicaciones para uso en áreas internas como baños, cocinas, salas de estar, hasta locales de medio y alto tráfico como tiendas, restaurantes, oficinas y galerías comerciales.

1.1.1 Misión y visión

Misión

- Ser una empresa líder en el mercado nacional con la fabricación de productos cerámicos de alta calidad a través de la innovación de diseños y procesos con la implementación de nuevas tecnologías, basados en buenas prácticas de gestión empresarial.

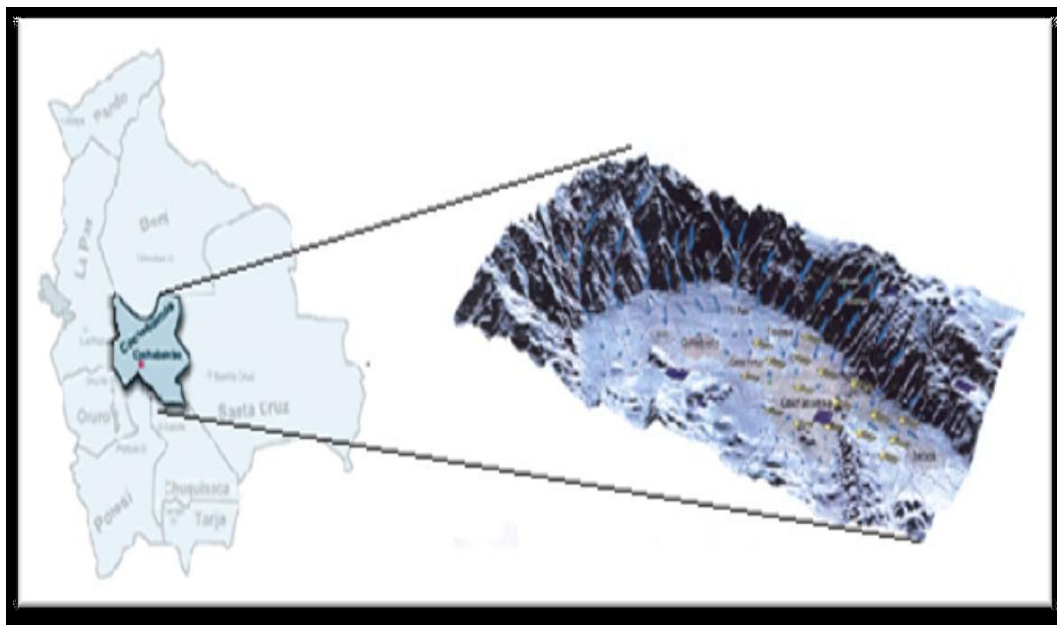
Visión

- Cerámica COBOCE diseña, desarrolla, produce y comercializa productos cerámicos de alta calidad para satisfacer las necesidades de nuestros clientes, basada en principios cooperativos y con responsabilidad social empresarial.

1.2 Ubicación

Las oficinas centrales y la planta industrial de Cerámica COBOCE se encuentra ubicadas en el departamento de Cochabamba, provincia Chapare, en la ciudad de Sacaba; en el km 11 de la Av. Villazón.

Figura 1-1 Ubicación del área de estudio, departamento Cochabamba, Municipios de Cercado y Sacaba



Fuente: Google

1.3 Definición de cerámica

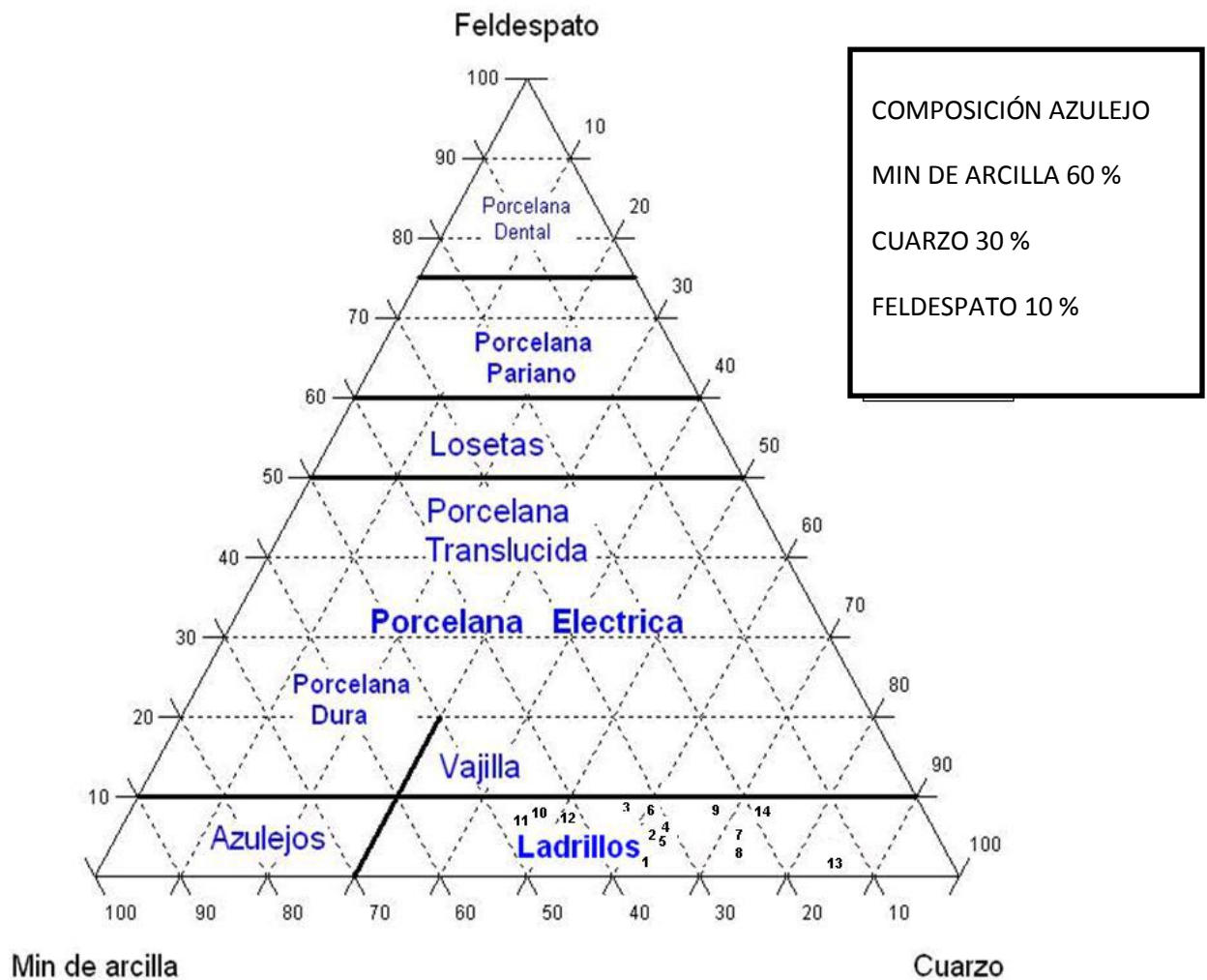
El término "cerámica" proviene de la palabra griega "Kerameicos", que significa "de barro". La cerámica se puede definir como una mezcla de materiales inorgánicos no metálicos. Es una técnica el modelar la arcilla y cocerla en un horno como mínimo a 500 °C para que adquiera dureza.

En la industria de piso y revestimiento son piezas planas de diferentes tamaños dependiendo del tipo de formato, fabricadas con arcilla, sílice, distintos fundentes y pigmentos que se someten a un tratamiento industrial de atomizado, prensado,

secado, decorado y cocción para obtener el producto final de una pieza cerámica. Son utilizados como revestimientos para paredes, suelos o fachadas, la cerámica de piso y revestimiento tiene un soporte arcilloso y un recubrimiento vítreo denominado esmalte cerámico, que le da al producto la propiedad de impermeabilidad.

Las arcillas utilizadas en la composición del soporte, pueden ser de cocción roja, cocción blanca o de distintos colores. La cerámica puede denominarse como: azulejo de pasta blanca, azulejo de pasta roja gres esmaltado, siendo cada uno de ellos un producto distinto con características técnicas diferentes.

Figura 1-2 Diagrama de aplicación cerámica, según componentes



1.4 Materias primas e insumos

Arcilla

La arcilla es un suelo o roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito.

Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:



La arcilla es un material natural que está constituido por minerales en forma de granos. Puede ser un material muy moldeable, se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, aumenta su dureza al calentarla a temperaturas mayores de 800 °C, su combinación con agua produce una sustancia consistente, más bien viscosa que se endurece al secar. Por esas propiedades, la arcilla es ampliamente utilizada para realizar objetos cerámicos.

Compuestos que conforman la arcilla:

Cuarzo

Es el mineral más común, compuesto por dióxido de silicio, o sílice, SiO_2 . El cuarzo, igual que una materia prima no plástica, disminuye la plasticidad y su contracción por secado. Al mismo tiempo, ejerce un control sobre la porosidad y aumenta la velocidad de secado de las piezas moldeadas. La disminución de la contracción de secado reduce el riesgo de agrietamiento y deformación de las piezas, las cuales pueden ser secadas sin peligro a velocidades mayores.

Feldespato

Es un mineral formado por silicatos, KAlSi_3O_8 . En cerámica se emplea como fundente y para el control de la vitrificación por la acción de los óxidos alcalinos.

El uso de feldespato en esmaltes para cerámica es de gran importancia en la formulación de esmaltes vítreos porque baja la temperatura de fundición, incrementa la velocidad de la operación de fundición e influencia en la viscosidad del esmalte.

Caolín

Caolinita es el nombre que recibe un mineral del grupo de la arcilla, silicato aluminico hidratado. El término caolín es aplicado a productos principalmente compuestos por caolinita ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

La caolinita es la arcilla mineral más utilizada en las aplicaciones cerámicas debido a sus propiedades físicas y químicas que son impartidas al procesamiento de los cerámicos y a los productos finales. Las propiedades más importantes que ofrece el caolín a los cerámicos es la plasticidad, resistencia en seco, resistencia a la cocción, color, baja la absorción de agua y control en el encogimiento o contracción.

1.4.1 Preparación de la masa

En la cerámica Coboce la receta de la masa roja gres está compuesta por diferentes tipos de arcillas, siendo su composición actual de:

Tabla I-1 Composición de la receta de la masa roja gres

| Tipo de arcilla | Arcilla | Porcentaje (%) |
|------------------------|----------------|-----------------------|
| Arcilla Plástica | 1 | 48 |
| Arcilla Arenosa | 2 | 27 |
| Arcilla Semi plástica | 3 | 25 |

Fuente: Cerámica Coboce Ltda.

Características de las arcillas empleadas en la Cerámica COBOCE

▪ Arcilla plástica

Por sus propiedades, se contraponen al caolín, dado que posee un mayor contenido en hierro, son más fundentes, más plásticas y su grano es más fino, cociéndose a un color gris claro debido a la presencia de material carbonoso.

Posee un elevado grado de contracción, que puede llegar hasta a un 20 %. En la fabricación de cerámica blanca, este tipo de arcilla se hace indispensable para aumentar la falta de plasticidad del caolín, aunque no puede añadirse más del 15 %.

Al emplear este tipo de arcilla para la elaboración de un producto cerámico dentro de sus propiedades y características se obtiene mayor contracción, pérdida al fuego, resistencia mecánica en cocido, materia orgánica y baja absorción de agua.

Foto N° 1 Representación de arcilla cantera 1 perteneciente a cerámica COBOCE



▪ Arcilla arenosa

Este tipo de arcilla puede tener una función de desengrasante (material que reduce la plasticidad permitiendo un mejor manejo de trabajo de la arcilla y facilitando el

secado), o también elementos fundentes (que facilitan una cocción a menor temperatura).

Al ser una arcilla no plástica reduce la plasticidad, facilita la defloculación, mejora la permeabilidad, empaquetamiento de la pasta y aporta óxidos para la formación de fases líquidas.

Foto N° 2 Representación de arcilla cantera 2 perteneciente a cerámica COBOCE



■ **Arcilla semi plástica**

Son arcillas semi refractarias con una óptima plasticidad, resistencia al calor, su cocción puede alcanzar temperaturas mayores de 1200 °C y están libres de hierro.

Contiene óxido de hierro en muy baja proporción, puede tener materia orgánica en pequeña cantidad, que le confiere un color gris a negro, después de la cocción la pieza obtiene un color anaranjado. Al emplear este tipo de arcilla para la elaboración de un producto cerámico entre sus propiedades y características se obtiene mayor resistencia en crudo, absorción de agua y menor corazón negro.

Foto N° 3 Representación de arcilla cantera 3 perteneciente a cerámica COBOCE



Defloculante

El proceso de defloculación con arcillas consiste en obtener una barbotina o suspensión de arcilla en agua con un contenido en sólidos alto, baja la viscosidad, eliminando el comportamiento plástico característico de las arcillas; para conseguir este objetivo se aprovecha la físico-química del sistema arcilla-agua. Su objetivo es que la barbotina adquiera un estado de viscosidad adecuada con la menor cantidad de agua. El defloculante en el proceso de molienda para la producción de pisos y revestimientos en la industria de la cerámica es un factor de gran importancia, debido a que permite obtener barbotina con densidad y viscosidad apropiada, que coadyuvan a disminuir el consumo energético en el tiempo de trabajo del atomizador y obtener la granulometría requerida.

Tabla I-2 Composición química del defloculante

| Compuesto | Formulación química | Cantidad % |
|---|----------------------------|--|
| Silicato sódico.- Cristal líquido o vidrio soluble. | Na_2SiO_3 | Hay que emplear entre un 0,1 -0,3 % en peso. |
| Carbonato de sodio.- Es conocido como soda solvay | Na_2CO_3 | 0,05 a 0,1 con respecto a los sólidos secos |

Fuente: Google (wikipedia-defloculante)

Foto N° 4 Muestra de defloculante utilizado en la cerámica COBOCE, bolsa de 40 kilos



1.5 Proceso productivo de cerámica Coboce

En el proceso productivo se tiene como objetivo producir pisos y revestimientos cerámicos que cumplan con las exigencias de los clientes mediante la realización de controles y seguimientos del producto.

El proceso productivo de la Cerámica Coboce comienza con la selección de materia prima, es decir la incorporación de las arcillas que son obtenidas de las canteras ubicadas al exterior de la planta y son explotadas a cielo abierto, transportadas por los proveedores de diferentes lugares del departamento de Cochabamba. Para la receta de la masa roja gres se utiliza 3 tipos de arcillas, las cuales son:

- Arcilla 1.- Arcilla plástica
- Arcilla 2.- Arcilla arenosa
- Arcilla 3.- Arcilla semi plástica

1.5.1 Molienda de barbotina

Posteriormente en la preparación de la masa se realiza la dosificación de las diferentes arcillas para la elaboración de la receta de la masa roja gres, esta mezcla de arcillas se realiza para asegurar las propiedades físico mecánicas requeridas.

Se inicia con la dosificación por peso de cada arcilla, para luego ser transportadas por unas cintas hasta los molinos giratorios con esferas de alúmina de diferente tamaño (diámetros de 20 cm, 40 cm y 60 cm) para su mezcla con agua, esta operación permitirá aparte de un molido de las arcillas, una homogenización de las mismas generando una solución acuosa denominada barbotina. En el mismo se hace controles de calidad respecto a sus características físicas de viscosidad, densidad y porcentaje de residuos; para dar conformidad a cada molino, se depositan en fosas de maceración en las cuales se homogeniza la masa obtenida de las moliendas

Foto N° 5 Molienda de barbotina



Tabla I-3 Rango de trabajo de la humedad para los tres tipos de arcillas usadas en el área de barbotina

| Parámetro | Rango de trabajo |
|---------------------|------------------|
| Humedad - Arcilla 1 | < 20 % |
| Humedad- Arcilla 2 | < 15 % |
| Humedad-Arcilla 3 | < 10 % |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

1.5.2 Proceso de atomizado

El atomizado es el proceso en el cual se remueve el agua que se tiene en barbotina para generar el polvo de arcilla atomizado, el proceso se realiza a través de bombas hidráulicas de alta presión, la barbotina es introducida desde las fosas de maceración hasta el atomizador donde se realiza una dispersión de la solución acuosa que tendrá un contacto térmico con el aire caliente que remueve la mayor cantidad de agua que tiene la solución; para generar el polvo de arcilla atomizado, las bombas envían barbotina a presión constante a través de los filtros en una serie de boquillas con orificio calibrado. Se produce la atomización de la barbotina, calentando adecuadamente con aire caliente, para producir un producto sólido de bajo contenido en agua. El contenido de humedad presente en la suspensión, se encuentra entre 30 % a 40 % de agua, este contenido de agua después del proceso de atomización reduce valores de 6,5 – 7,5 %.

Funcionamiento del atomizador

El electroventilador de presurización (1) empuja el aire a través del quemador (2) que lo calienta. A lo largo de una tubería (3) de acero aislada térmicamente el aire viene en el distribuidor anular (4) que lo pone en rotación dentro de la torre de secado (5). Aquí encuentra la barbotina que las bombas (A) han enviado a presión constante, a través de los filtros (B), en una serie de boquillas con orificio calibrado (C). Las boquillas ubicadas en el anillo distribuidor, pulverizan la mezcla de agua y arcilla. El producto secado de esta forma cae en el fondo de la torre donde se descarga (6) en una cinta que lo transporta a los silos de almacenado. Los ciclones separadores (7) capturan el aire húmedo y gran parte del polvo fino en suspensión. El ventilador principal (8) introduce el aire húmedo en el abatidor (9) que acaba el tratamiento de filtrado del polvo. El aire limpio se expulsa hacia el exterior a través de la chimenea (10).

Foto N° 6 Diseño esquemático del atomizador y corona de boquillas

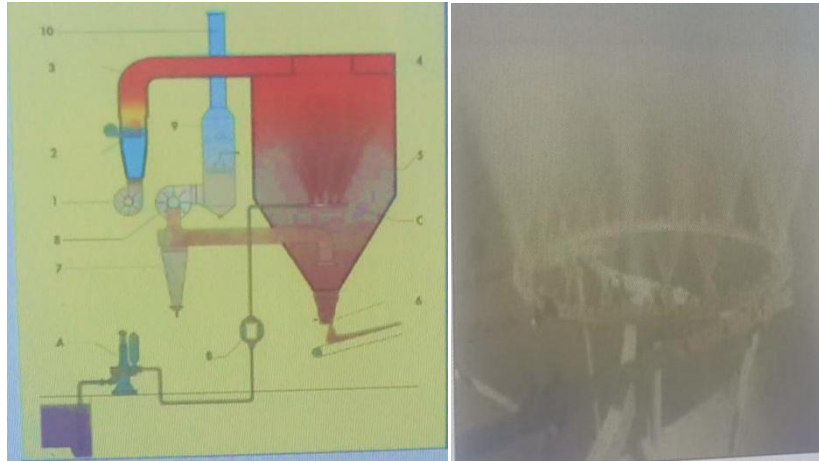


Foto N° 7 Atomizador



El producto secado de esta forma cae en el fondo de la torre donde se descarga en una cinta que lo transporta a los silos de almacenado, una vez obtenido esto se realizan controles de sus propiedades físicas como ser la cantidad de humedad que aún se halla presente en el polvo y granulometría, estas propiedades son importantes en la formación de baldosas cerámicas en el prensado.

Tabla I-4 Ventajas y desventajas del proceso por vía húmeda

| |
|---|
| <p>Ventajas del proceso vía húmeda</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor homogeneización de los componentes. • Mayor finura de molienda: <p>Ausencia de impureza gruesa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejores propiedades reológicas del polvo: <p>Mejor distribución de la carga en el molde.</p> <p>Mayor velocidad de llenado del molde.</p> <p>Mayor uniformidad de la pieza prensada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejor control de las variables del proceso. • Posibilidad de automatización del proceso. |
| <p>Desventajas del proceso vía húmeda</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor inversión. • Mayor coste de producción. |

Fuente: Google

1.5.3 Proceso de prensado

En una prensa hidráulica de 21 kg/cm² se da la formación de la pieza de baldosa cerámica en el prensado en seco (6,5 % de humedad), en su interior el polvo se tamiza a los moldes dando forma a las piezas cara abajo, la prensa oprime la parte posterior de la pieza y lo moldea, el tamaño del moldeo depende del formato que se esté produciendo, un dispositivo giratorio los voltea para que su cara lisa este hacia

arriba para luego ser transportada hacia el secadero donde se reduce al máximo el porcentaje de humedad que todavía pueda tener la pieza en bizcocho crudo.

Foto N° 8 Prensado de piezas cerámicas



El prensado es la conformación de la baldosa cerámica donde se da la forma y dimensión de la pieza deseada, Cerámica Coboce trabaja con siete formatos, los cuales son:

Tabla I-5 Formato de piezas cerámicas, producidas en cerámica COBOCE

| N° | Formato (cm) |
|----|--------------|
| 1 | 20 x 30 |
| 2 | 32 x 32 |
| 3 | 30 x 45 |
| 4 | 41 x 41 |
| 5 | 51 x 51 |
| 6 | 30 x 60 |
| 7 | 60 x 60 |

Fuente: Elaboración propia

- Parámetros de control de calidad de los formatos más producidos en Coboce Cerámica.

Tabla I-6 Parámetros de calidad en el proceso del prensado

| Formato (cm) | 20x30 | 32x32 | 30x45 | 41x41 | 51x51 |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Masa (g) | 0,83-0,89 | 1,69-1,75 | 2,35-2,50 | 2,85-2,95 | 5,20-5,50 |
| Humedad (%) | 6,60 -7,00 | 6,60-7,00 | 6,60-7,00 | 6,60-7,00 | 6,60-7,00 |
| Espesor (cm) | 7,10-7,30 | 7,60-7,90 | 8,40-8,50 | 8,40-8,70 | 8,80-8,90 |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

1.5.4 Proceso de secado

La pieza cerámica, una vez conformada, se somete a una etapa de secado con el fin de reducir el contenido de humedad hasta niveles lo suficientemente bajos (0,2-0,5 %) para que las fases de cocción y, en su caso, esmaltado se desarrollen adecuadamente.

En la cerámica se utiliza secaderos, donde el calor que se transmite por convección va desde los gases calientes a la superficie de la pieza. El aire que se utiliza debe ser lo suficientemente seco y caliente, ya que se utiliza para eliminar el agua procedente del sólido.

Foto N° 9 Secadero



1.5.5 Proceso de la aplicación de engobe y esmalte en la línea

Las aplicaciones de engobe y esmaltado se realizan mediante campanas a las baldosas.

Sus principales funciones son: aportar una serie de propiedades superficiales como resistencia química, impermeabilidad, resistencia a la abrasión y conseguir las características estéticas y decorativas de la pieza.

El engobe sirve para tapar el color de masa y obtener un fondo blanco antes de realizar la serigrafía y decorado, colaborando en la compatibilidad de dilataciones entre el esmalte y arcilla.

Tiene como principales funciones:

- ✓ Ocultar el color del bizcocho crudo.
- ✓ Eliminar o disminuir cualquier defecto o imperfección de la baldosa cerámica.
- ✓ Favorecer la fijación del esmalte.
- ✓ Favorecer la interrelación esmalte-bizcocho crudo (humedad, coeficiente de dilatación para evitar curvaturas no deseadas). Si el coeficiente de dilatación

del vidriado es superior al del bizcocho, la pieza se curvará hacia arriba por las fuerzas en tensión y viceversa.

- ✓ Protege al esmalte de la humedad final.

El esmalte es un material vitrificado, el cual ayuda a cerrar los poros para darle la impermeabilidad a la pieza y un mejor aspecto del producto terminado. En planta se utilizan tres tipos de esmaltes los mismos que son brillantes, satinado y alto Brillo. Para los esmaltes brillantes y alto brillo se trabaja en una razón de 3-4 % de residuo y una temperatura de fusión de cerca a los 1080 – 1100 grados centígrados y la dilatación térmica o estirado se da a los 1150 grados centígrados; el esmalte satinado tiene una temperatura de fusión de 1100 – 1120 grados centígrados y su dilatación térmica o estirado es igual que los otros a 1150 grados centígrados.

Foto N° 10 Molienda de engobe y esmalte



1.5.6 Proceso de Serigrafía

Es el proceso de decorado de la baldosa esmaltada utilizando dos tipos de tecnología, que serían:

1.5.6.1 Serigrafía rotativa

La serigrafía rotativa se realiza mediante máquinas rotativas con tambores de silicona que transfieren el diseño a la pieza mediante cabezales independientes, cada uno de estos tienen colores independientes que conforman el diseño final. La ventaja de esta técnica es que produce diseños con mayor definición, ya que permiten aumentar la velocidad de producción y que utilizan menos cantidad de tinta serigráfica. Como desventajas, se requiere que al aplicar las piezas estén perfectamente planas y con la superficie en perfectas condiciones.

Foto N° 11 Serigrafía rotativa



1.5.6.2 Serigrafía digital

La serigrafía digital se realiza por medio de una máquina digital parecida a una impresora, siendo que esta tecnología permite una mejor transferencia de color a la baldosa, mejorando el realismo en la impresión y el acabado final.

En esta etapa es importante la calidad del producto donde se transfiere el diseño, los colores y matices requeridos por el mercado, realizándose los controles de la colorimetría en cada una de las pastas serigráficas quedando un color uniforme a cada uno de los lotes de producción o la variación de tonalidad, los pigmentos que se utilizan son minerales que permiten la diversidad de intensidad de colores según su concentración en cada una de las pastas.

1.5.7 Proceso de cocción

La cocción de los productos cerámicos es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación. Depende gran parte de las características del producto cerámico: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a los agentes químicos, resistencia al fuego, corazón negro.

Para la cocción de las piezas, Coboce Cerámica utiliza hornos monoestratos de rodillos donde empieza con el ingreso de las piezas hacia el horno, mediante un plano de rodillos, accionado cada uno por engranajes independientes. Están distribuidos en tramos con motores regulados por variadores de frecuencia.

El sistema de combustión forma quemadores de alta velocidad y baja presión, con amplio rango de ajuste, dispositivos de encendido y control de llama automáticos.

Están distribuidos en grupos de regulación de acuerdo a las diferentes zonas del horno, controladas por válvulas motorizadas.

Foto N° 12 Ingreso de las piezas al horno



El ingreso de las piezas cerámicas al horno monoestrato se realiza mediante una cinta la cual transporta los bizcochos crudos esmaltados y con diseño serigráfico hacia la entrada del horno mediante unos rodillos giratorios, la cocción que se emplea es de monoquema.

Foto N° 13 Horno monoestrato de rodillos



El control de los parámetros del proceso se regula mediante diferentes elementos:

- Controladores de temperatura: con microprocesador de alta precisión con sistema de trabajo en PID para las válvulas motorizadas de gas en las distintas zonas del horno.
- Control automático de la presión, automático o semiautomático de la aspiración de gases.
- Regulación del enfriamiento por un termostato y válvulas motorizadas.
- Sistema de encendido y apagado automático de quemadores frente a variaciones excesivas de temperatura.
- Dispositivo informático asociado al cuadro de control que permite visualizar la curva de cocción de forma analógica y digital, así como la lectura e información de forma directa de alarmas, almacenamiento de curvas de producción de las diferentes líneas.

Foto N° 14 Tablero de control de temperatura del horno



Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son el ciclo térmico (temperatura-tiempo) y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico.

La cocción se realiza en el horno monoestrato su temperatura máxima es de 1150 °C. El interior del horno se divide en tres secciones:

- ❖ La zona de calentamiento: Luego de haber ingresado la baldosa al horno por medio de los rodillos de transporte pasa por una sección en la que la temperatura no está en su máximo punto de calibración, tan solo elimina agua y materia orgánica contenida en su interior, la calienta para evitar fracturas para cuando llegue a la siguiente sección. Entran las piezas al horno a 340 °C y su rango de temperatura es de 1040 °C.
- ❖ La zona de quema: Con un calentamiento previo la baldosa ingresa a la zona de quema donde la temperatura de regulación del horno alcanza su máximo nivel que por medio del mismo adquiere dureza y brillo. El rango de temperatura es de 1140 °C a 1150 °C.
- ❖ La zona de enfriamiento: Es la sección en la que por medio de ventiladores y otras corrientes de aire frío en contra corriente eliminan el calor adquirido por la baldosa en la zona de quema, evitando que al salir al ambiente por la diferencia brusca de temperatura se fracture la baldosa y cuando se realiza la inspección de calidad en la mesa de salida evitar quemaduras al manipular las piezas. El rango de temperatura es de 1135 °C y salen las piezas cerámicas del horno a 510 °C.

1.5.8 Proceso de selección y embalaje

Es la verificación visual de la calidad de las baldosas cerámicas cocidas para separar las piezas que presenten defectos como ser fisuras, manchas o mala cocción.

Además, se cuenta con un proceso de verificación dimensional automatizado, que controla pieza a pieza sus dimensiones, separando las piezas por calibre, con la finalidad de tener la menor variación dimensional posible.

Foto N° 15 Selección y embalaje



1.6 Manejo de materiales

En el laboratorio se realizan los diferentes controles físicos y fisicoquímicos del material cerámico, manejando equipos, instrumentos y materiales.

1.6.1 Equipos

Molienda

La Molienda (molinos con esferas de alúmina) tiene como objetivo triturar la materia, es decir, la mezcla de arcilla, defloculante y agua. En el molino se colocan unas esferas de alúmina de diferentes diámetros para realizar la molturación correcta. La mezcla de las arcillas más el agua en esta molienda resulta la barbotina, que se deposita en un recipiente para ser transportada al secadero, para posteriormente ser prensada.

Se realizan parámetros de control de la densidad, viscosidad y residuos de la muestra.

Foto N° 16 Molino utilizado en laboratorio de cerámica Coboce



Prensa

El procedimiento para la formación de las piezas cerámicas es el prensado en seco (6,5 % de humedad), mediante el uso de prensa hidráulica con una capacidad de 30 kg/cm². Este procedimiento de formación de la pieza opera por acción de una compresión mecánica del polvo atomizado, donde se depositan 145 g de masa al molde, realizando dos presiones: primeramente a una compresión de 5 kg/cm² para el acomodo de la arcilla en el molde y luego a 21 kg/cm² una mayor presión donde se da una mejor compactación, dureza o firmeza de la pieza, que está lista para ser llevada al secadero, luego se hace el control de sus propiedades físicas de cada pieza cruda y cocida, después de su cocción en el horno monoestrato.

Foto N° 17 Prensa utilizada en laboratorio de cerámica Coboce



Foto N° 18 Molde de prensado



Foto N° 19 Piezas moldeadas por la prensa en crudo y cocido



Máquina de ruptura

La resistencia a la rotura de los pisos cerámicos, es determinada por la carga o fuerza que genere la rotura, de las piezas en crudo y cocido de los diferentes formatos producidos.

La resistencia que se aplica en la máquina es la resistencia a la flexión, también conocida como módulo de rotura, representa el máximo esfuerzo desarrollado en una pieza cerámica hasta que ocurre la rotura de la pieza.

Foto N° 20 Máquina de ruptura que se utiliza en el laboratorio de cerámica Coboce



Tabla I-7 Parámetro de control de calidad de la resistencia mecánica a la flexión en cocido de un producto terminado

| Norma ISO 13006 | Norma Cerámica COBOCE (Pieza cerámica de 41x41 cm, 51x51 cm, 30x60 cm, 60x60 cm) | Productos Tradicionales (Pieza cerámica de 32x32 cm) |
|----------------------------|---|---|
| $\geq 220 \text{ kg/cm}^2$ | $\geq 220 \text{ kg/cm}^2$ | 220 kg/cm^2 |

Fuente: Coboce cerámica Ltda. 2015

Horno

La cocción de los productos cerámicos es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación, de la que dependen gran parte de las características del producto cerámico: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a los agentes químicos, facilidad de limpieza, resistencia al fuego, corazón negro.

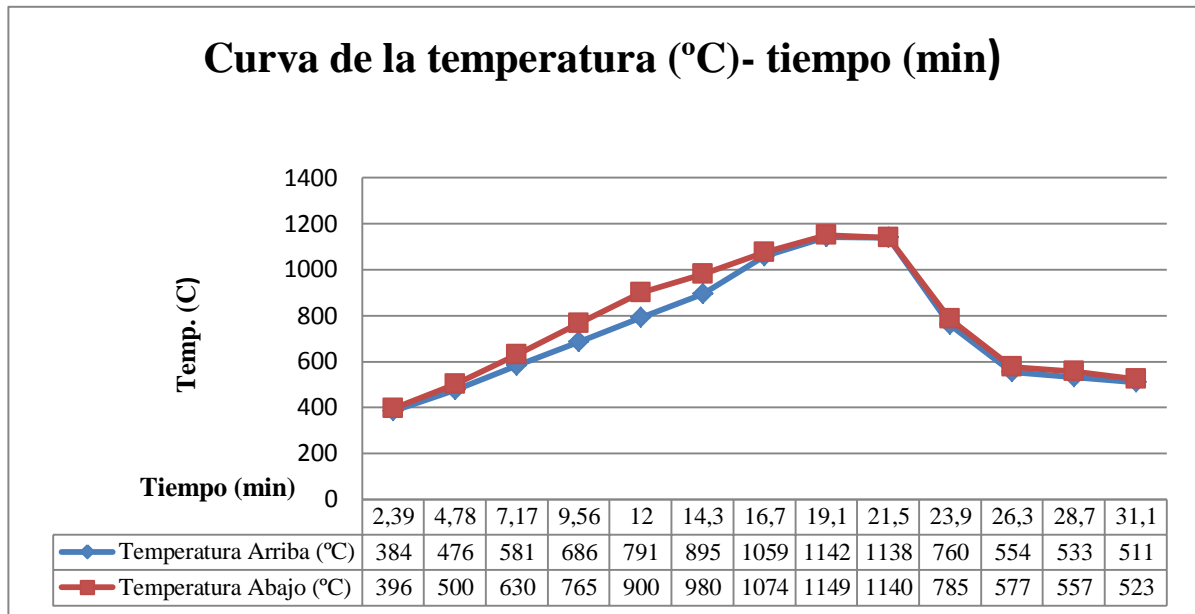
En la etapa de cocción son importantes: el ciclo térmico temperatura-tiempo y la atmósfera del horno.

TablaI-8 Curva temperatura- tiempo del horno para todos los formatos

| Arriba | 1012 | 1022 | 1032 | 1042 | 1052 | 1062 | 1072 | 1082 | 1092 | 1102 | 1112 | 1122 | 1132 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura Arriba (°C) | 384 | 476 | 581 | 686 | 791 | 895 | 1059 | 1142 | 1138 | 760 | 554 | 533 | 511 |
| Abajo | 1114 | | | 1041 | 1051 | 1061 | 1071 | 1081 | 1091 | 1101 | 1121 | | 1131 |
| Temperatura Abajo (°C) | 396 | 500 | 630 | 765 | 900 | 980 | 1074 | 1149 | 1140 | 785 | 577 | 557 | 523 |
| Tiempo (min) | 2,39 | 4,78 | 7,17 | 9,56 | 12 | 14,3 | 16,7 | 19,1 | 21,5 | 23,9 | 26,3 | 28,7 | 31,1 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-3 Curva de temperatura –tiempo del horno industrial



Fuente: Elaboración Propia

1.6.2 Instrumentos

Balanza

La balanza es un aparato utilizado para medir el peso de un elemento. En el proceso cerámico se utiliza para poder pesar las materias primas como ser arcillas, defloculante para la preparación de la receta, como también para pesar las piezas en crudo y cocido dependiendo del formato en el que se esté trabajando o realizando las pruebas de control de calidad del producto.

Cocina

La cocina se utiliza para realizar pruebas de absorción de agua de las piezas mediante el método por ebullición; su procedimiento es el siguiente: hervir las piezas durante un tiempo determinado, posteriormente se deja enfriar, luego se secan las piezas para poder pesar en una balanza, obteniendo así el dato del peso en húmedo, teniendo los datos del peso seco y húmedo de la pieza se puede obtener el valor de absorción de agua.

Tabla I-9 Instrumentos de laboratorio que se emplea para el control de la liberación de arcilla

| Instrumento | Material | Capacidad | Cantidad |
|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| Probeta | Plástico | 100 ml, 50 ml | 2 |
| Densímetro | Metal | 3,0 g/ml | 1 |
| Viscosímetro | Metal | 3,0 g/ml | 1 |
| Vaso | Plástico | 500 ml | 6 |
| Vaso | Plástico | 100 ml | 2 |
| Tamiz | | Número de malla de 230 y 325 | 2 |

Fuente: Elaboración Propia

1.7 Controles del proceso cerámico en Coboce pisos y revestimientos

1.7.1 Control de las características de la materia prima, liberación de arcilla

■ Contracción

Es la disminución de longitud que se da en el piso cerámico durante su cocción en el horno monoestrato, es decir, la diferencia de dimensiones de la pieza. Se utiliza un vernier o pie de rey para medir la longitud de la pieza cerámica. Su ecuación es la siguiente:

$$\% \text{ Contracción} = \frac{\text{Longitud inicial} - \text{Longitud final}}{\text{Longitud final}} * 100 \%$$

■ Pérdida al fuego

Es la pérdida de peso que sufre la pieza durante su cocción en el horno monoestrato, es decir, la diferencia de peso crudo y peso cocido del piso cerámico. Su ecuación es la siguiente:

$$\% \text{ Pérdida al fuego} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \%$$

■ Resistencia mecánica en crudo

Es la ruptura o resistencia que se ejecuta a una pieza de bizcocho crudo en una máquina llamada flexímetro; después que la pieza se rompe aproximadamente por la mitad se lee el valor analítico obtenido del flexímetro y luego mediante la siguiente ecuación se obtiene el dato exacto de la rotura en seco. Se expresa en kg/cm^2 .

$$\text{Rotura en seco} = \frac{1,5 * (\text{Fuerza de rotura cruda} * 13)}{(\text{ancho pieza cruda} * \text{espesor pieza cruda}^2)}$$

■ Resistencia mecánica en cocido

Es la ruptura que se ejecuta a una pieza cocida en una máquina llamada flexímetro, después que la pieza se rompe aproximadamente por la mitad, se lee el valor analítico obtenido del flexímetro y luego mediante la siguiente ecuación se obtiene el dato exacto de la resistencia mecánica. Se expresa en kg/cm^2 .

$$\text{Resistencia cocido} = \frac{1,5 * (\text{Fuerza de rotura cocido} * 13)}{(\text{ancho pieza cocido} * \text{espesor pieza cocida}^2)}$$

■ Absorción de agua

La absorción de agua es la principal prueba realizada en los productos cerámicos, con el objeto de averiguar la mayor o menor porosidad del mismo. Estas pruebas se realizan con productos terminados, es la cantidad de agua que puede ser absorbida a través de los poros de la baldosa cerámica, recibe el nombre de absorción específica

al % en peso de agua absorbida respecto de una pieza seca. Con ella está relacionada la permeabilidad por lo que:

↓ Abs. Agua \approx Características Físicas ↑

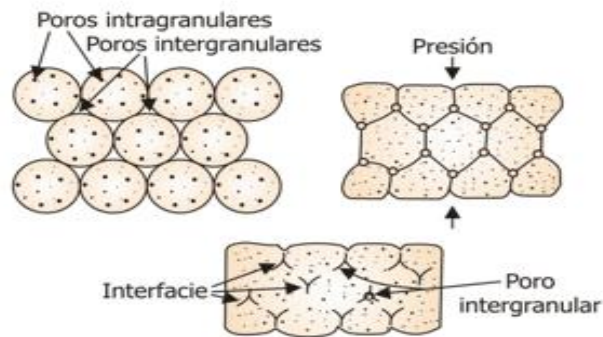
Mayor:

- Resistencia a la congelación
- Resistencia contra rajaduras
- Resistencia a la rotura

Menor:

- Descascarada del esmalte
- Agrietamientos
- Tendencia a despegarse

Figura 1-4 Porosidad de una pieza cerámica



Fuente: Google earth

El método que se emplea en la cerámica Coboce para determinar la absorción de agua está basado en la Norma Boliviana ISO-NB 10545:3 esta norma presenta dos tipos de métodos: el método del vacío y método de ebullición, pero el utilizado en la cerámica es el método de ebullición; según la norma se utiliza para la clasificación y la caracterización de las baldosas, que permite la impregnación de los poros abiertos que se pueden llenar fácilmente, en cambio el método del vacío permite el llenado de casi todos los poros abiertos.

Método de ebullición.- Colocar las piezas verticalmente en el calentador lleno de agua sin que se toquen, de forma que el nivel de agua por encima y por debajo de las piezas sea de 5 cm.

Mantener el nivel de agua a 5 cm por encima de las piezas durante toda la prueba. Llevar el agua a ebullición y mantenerla durante 2 h. Retirar a continuación la fuente de calor y dejar enfriar la fuente hasta que alcance la temperatura ambiente, manteniéndolas completamente sumergidas durante 4 h. Para enfriar las piezas se puede emplear agua a temperatura ambiente. Humedecer la pieza y escurrir las piezas a mano. Colocarlas sobre una superficie plana y secar ligeramente cada una de las piezas. Inmediatamente después de esta operación, pesar cada pieza y anotar con la misma precisión que para las piezas en seco.

■ Corazón negro

Cuando la materia orgánica contenida en el piso cerámico no se elimina correctamente (mediante su combustión) durante el ciclo de cocción de la pieza, aparece como una línea negra o gris en el interior de la pieza ya cocida y en una zona intermedia que se denomina corazón negro. Esta mala combustión de la materia orgánica contenida en el azulejo puede ser debido principalmente a: un excesivo contenido en materia orgánica del piso, una atmósfera poco oxidante en el interior del horno o al excesivo prensado en la pieza que imposibilita la difusión del oxígeno hacia el interior de la pieza.

La materia orgánica va íntimamente ligada a los grados de plasticidad de la materia arcillosa, siendo importante este parámetro para conocer además, la pérdida de masa de las arcillas después de su cocción.

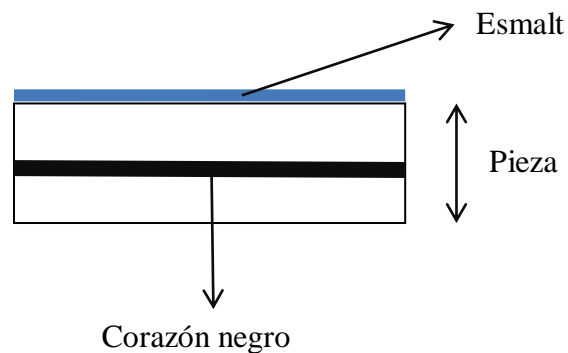
Para obtener el valor o cantidad de materia orgánica que presenta una pieza cerámica se realiza primeramente bañando un bizcocho crudo con una capa de engobe y dos capas de esmalte, después se lo lleva al horno para ser cocida la pieza, luego que sale del horno se rompe la pieza por la mitad para ver si hay corazón negro o no, si se observa la presencia del corazón negro se mide con un vernier el espesor de la pieza cerámica y el espesor de la línea negra o gris que representa el corazón negro, luego se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Corazón negro} = \text{Intesidad del corazón negro} * \left(\frac{\text{Espesor de corazón negro}}{\text{Espesor de la pieza}} \right) * 100$$

Tabla I-10 Intensidad del corazón negro

| Intensidad | % |
|---------------|------|
| Negro intenso | 1 |
| Negro | 0,75 |
| Gris oscuro | 0,50 |
| Gris | 0,25 |
| Gris claro | 0,05 |
| Ninguno | 0 |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

Figura 1-5 Identificación de materia orgánica presente en una pieza cerámica

Fuente: Elaboración propia

1.7.2 Control de proceso

1.7.2.1 Control de calidad en el sector de barbotina

➤ Densidad

Es una medida utilizada para determinar la cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Se puede mencionar dos tipos de densidad siendo: la densidad

absoluta, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen y la densidad relativa o aparente expresa la relación entre la densidad de una sustancia y una densidad de referencia, resultando una magnitud adimensional, por tanto, sin unidades.

La fórmula de la densidad por definición es la siguiente:

$$\rho = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen (ml)}}$$

En la barbotina si la densidad sobrepasa de su parámetro, éste se corrige con adición de agua y si éste estuviese bajo se descargará otro molino con mayor densidad para equilibrar la misma efectuando un proceso de mezcla.

Los materiales que nos facilitan y utilizamos para la medición de las densidades son: balanza y picnómetro (un método simple para medir la densidad de líquidos, que determina el peso del agua con que se llena).

Foto N° 21 Picnómetro



➤ Viscosidad

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debido a las fuerzas de cohesión moleculares. Un fluido que no tiene viscosidad se

llama fluido ideal. Los fluidos de alta viscosidad presentan cierta resistencia a fluir y los de baja viscosidad fluyen con facilidad.

En la barbotina para determinar la viscosidad de los fluidos, las pruebas son realizadas por medio del viscosímetro, Copa Ford.

Si la viscosidad es muy alta se la puede bajar aumentando una pequeña cantidad de defloculante o de reúman sin afectar al valor de su densidad.

Si la viscosidad es muy baja no tiene influencia alguna ya que la reología es inestable y esta volverá a subir, si es muy alta esta se corrige con un 0,2 % de reúman sobre la masa total.

Foto N° 22 Viscosímetro Copa Ford



➤ Residuo

El Residuo es la cantidad de sólidos que no se molieron en su totalidad de la barbotina, que una vez tamizado en una malla de 230 se lleva a una probeta y se hace una relación porcentual.

Si el residuo está por debajo de su parámetro nos indica que la arcilla o la receta que fue molida se descargará otro molino con mayor residuo para equilibrar el mismo y si este residuo sobrepasa el parámetro se seguirá moliendo para alcanzar el valor ideal.

Foto N° 23 Medición de residuo



Tabla I-11 Parámetros del control de calidad de barbotina

| Parámetro | Rango de trabajo (piso/revestimiento) |
|------------------|--|
| Densidad | 1,63 a 1,70 g/ml |
| Viscosidad | 35 a 60 Pa*s |
| Residuo | 7 a 10 % |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

1.7.2.2 Control en el atomizado

Los controles que se realizan en el polvo atomizado, son los siguientes:

Granulometría

La granulometría es el tamaño de grano que está presente en el polvo atomizado, su procedimiento se lleva a cabo pesando 100 g del polvo atomizado tomado de uno de

los silos, luego se coloca en la máquina vibratoria granulométrica para obtener la cantidad de grano que queda presente en cada uno de los tamices, la máquina está conformada por 7 tamices Tyler de diferentes números de mallas, luego se pesa cada tamiz en la balanza para ver la cantidad de gramos en cada tamiz. Uno de los puntos por el cual puede variar la granulometría es:

- **Porcentaje de agua:** El porcentaje de agua es de 30 a 40 % en barbotina, nos determina la mayor o menor facilidad de pulverización de la misma en la salida de la boquilla. En general, el aumento de porcentaje de agua favorece la pulverización de la barbotina, pues provoca la formación de gotitas muy pequeñas, lo que hace que el polvo atomizado se desplace hacia las fracciones granulométricas más finas.

Foto N° 24 Máquina vibratoria granulométrica



Humedad

La humedad es la cantidad de agua que aún se halla presente en el polvo atomizado.

El contenido de humedad o de agua de la arcilla que permanece en el atomizado después de ser transportada desde los molinos nos proporciona datos relevantes para conocer el grado de humectación o la cantidad de agua que debe ser introducida una

vez que se comienza con la preparación de la masa arcillosa para el modelado de las distintas piezas cerámicas.

Para este proceso se toma 10 g de arcilla de polvo atomizado, luego mediante una máquina que calcula la humedad se coloca la muestra durante 5 min y posteriormente se realiza la lectura del porcentaje de humedad de la muestra.

Tabla I-12 Parámetro de control de calidad en el proceso de atomizado

| Parámetro | Rango de trabajo (piso y revestimiento) |
|-----------------------------------|--|
| Humedad del polvo atomizado | 6,5 – 7,0 % |
| Granulometría del polvo atomizado | 22 a 30 % (Malla 35) |
| | 15 a 20 % (Malla 40) |
| | 25 a 30 % (Malla 50) |
| | 15 a 20 % (Malla 70) |
| | 6 a 9 % (Malla 100) |
| | Menor a 5 % (Malla 120) |
| | Menor a 5 % (Fondo) |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

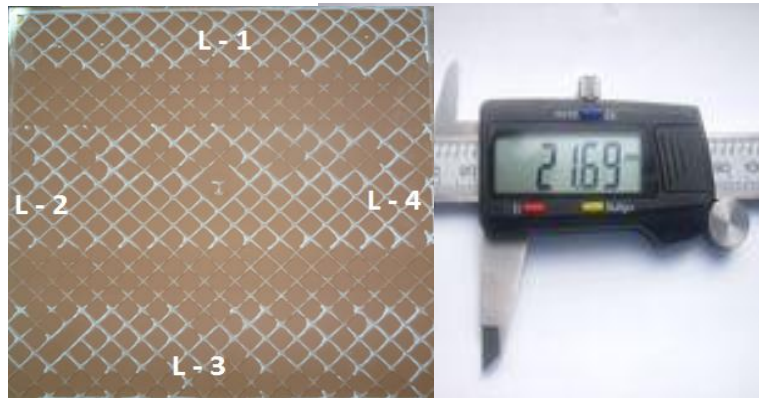
1.7.3 Control del producto terminado

■ Contracción

Los pisos cerámicos sufren contracciones importantes durante el proceso de cocción. Debido a que están elaborados con materias primas naturales, estas contracciones no son constantes y se obtienen piezas con distintas dimensiones.

Se mide con un vernier o pie de rey la longitud y ancho de la pieza, es decir, sus dimensiones.

Foto N° 25 Pieza cerámica e instrumento de medición de las longitudes de pieza



■ Planalidad

Es la desviación de la planitud de la superficie en la baldosa cerámica.

Foto N° 26 Pieza cerámica que presenta desviación



El control de la planalidad se lo realiza midiendo cada lado de la pieza con lanas, se toma el valor más alto de la desviación de cada extremo, posteriormente se lee el número de lana y se mide con un vernier o reloj de vernier. Este ensayo se lo realiza sobre una superficie plana para identificar cuan curva se encuentra la pieza y al mismo tiempo identificar su tolerancia.

Foto N° 27 Método de la medición de la planalidad

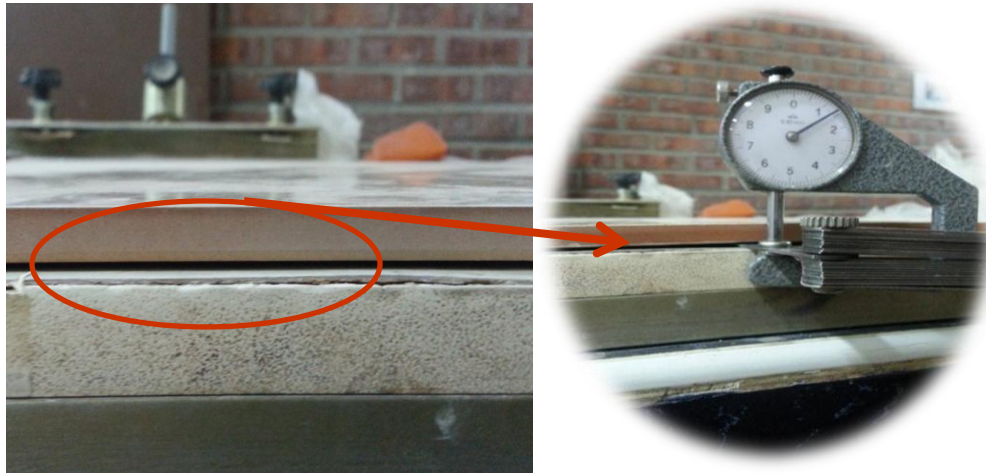


Tabla I -13 Parámetros de control de calidad de planalidad

| Norma ISO 13006 Semi Gres | Norma Cerámica COBOCE (Pieza cerámica de 41x41cm, 51x51 cm, 30x60 cm, 60x60 cm) | Producto tradicional (Pieza cerámica de 32x32 cm) |
|------------------------------|---|---|
| Menor a 0,5 % =2.5 mm | Menor a 0,4 % =2,0 mm | 0,5 % = 2,5 mm |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

■ Absorción de agua.

La absorción de agua es la cantidad de agua que puede ser absorbida a través de los poros de la baldosa cerámica.

Tabla I- 14 Parámetro de control de calidad de absorción de agua producto terminado

| Norma ISO 13006 | Norma Cerámica COBOCE | Producto tradicional (Pieza cerámica de 32x32 cm) |
|------------------------|------------------------------|--|
| 3 – 6 % | 4 – 6 % | 6 – 7 % |

Fuente: Coboce cerámica Ltda. 2015

■ **Calidad de superficie**

La calidad de la superficie está conformada por las características del acabado y la presentación de una pieza cerámica. En este control consiste en observar la tonalidad, serigrafía o diseño, fisuras que puede presentar la pieza.

Foto N° 28 Pieza cerámica que presenta una mancha en su diseño



■ **Resistencia a la ruptura**

La resistencia a la rotura de los pisos cerámicos, es determinada por la carga o fuerza para generar la rotura, es la ruptura de una pieza en bizcocho crudo y producto final (pieza cerámica cocida) mediante el método de resistencia a la flexión.

Tabla I-15 Factores de resistencia mecánica a la flexión en crudo y cocido de una pieza cerámica

| FACTORES DE RESISTENCIA MECANICA | | |
|---|-------------------------|---------------------------|
| FORMATO (cm) | F.CRUDO (kg) | F. COCIDO (kg) |
| 20x30 | 3,47 | 4,18 |
| 32x32 | 2,04 | 2,27 |
| 30x45 | 1,818 | 2,068 |
| 41x41 | 1,44 | 1,53 |
| 50x50 | 1,166 | 1,366 |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

Foto N° 29 Flexímetro máquina para la ruptura de las piezas cerámicas



1.8 Reproceso de productos intermedios

Las piezas a la salida de la prensa se las denominan como bizcocho crudo y al ser transportadas por la cinta hacia la esmaltación en cualquiera de sus líneas de producción; si se caen o rompen estas piezas se las recicla con el término rechazo; al ser ya una masa que cuenta con la composición de la receta de la masa roja gres se la vuelve a triturar mezclándolas con agua y defloculante para ser depositadas en los molinos. Esta molturación no demora más de 10 minutos ya que este producto se encuentra con el residuo necesario para el siguiente proceso de atomización siguiendo nuevamente el curso del proceso productivo.

CAPÍTULO II

CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

En Cerámica Coboce se desea mejorar los parámetros de control de calidad optimizando la receta actual de la masa roja gres. Mejorando sus indicadores como ser:

1.- Disminuir el corazón negro en los pisos cerámicos; dicho defecto hace referencia a la presencia de la materia orgánica contenida en la pieza que no se elimina correctamente en la combustión durante el ciclo de cocción de la pieza, genera resistencia y ductilidad pero si en la pieza hay mayor presencia de corazón negro habrá mayor fragilidad o pinchazo en la pieza esmaltada; la cantidad de porosidad en la pieza genera un desgaste mayor en el mismo disminuyendo el PEI (Desgaste por abrasión), al disminuir el corazón negro habrá una mejor superficie de esmalte aplicada, así sinterizarían mejor los cristales.

2.- En la actualidad se trabaja con una absorción de agua del 7 % y se pretende llegar a 4 %, se desea bajar el nivel de absorción de agua en las piezas cerámicas cumpliendo con la Norma Boliviana NB-ISO 10545:3 (baldosas cerámicas- Determinación de la absorción de agua).

3.- Aumentar la resistencia en cocido de las piezas cerámicas con el fin de obtener mayor dureza en los pisos cerámicos que su PEI sea alto, para que pueda ser apto para cualquier ambiente que el cliente desee emplear su uso.

4.- Mejorar la contracción y pérdida al fuego que al ser transportada al horno monoestrato durante la cocción de la pieza cerámica (tiempo-temperatura) genera pérdida de peso y dimensión (longitud) del piso cerámico beneficiando en el ahorro de energía. Mejorando la contracción el material se hace más impermeable, cierra los poros y la pérdida al fuego cierra espacios de aire dentro de la arcillas.

Tabla II-1 Rango de las propiedades de una pieza cerámica producto final

| Aspecto | Rango de trabajo |
|-----------------------|-------------------------------|
| Contracción | Menor a 7 % |
| Pérdida de fuego | 3 a 10 % |
| Absorción de agua | Menor a 6 % |
| Resistencia en crudo | Mayor a 5 kg/cm ² |
| Resistencia en cocido | Mayor a 40 kg/cm ² |

Fuente: Coboce Cerámica Ltda. 2015

Se realizó un estudio independiente de cada arcilla utilizada en la receta actual de la masa roja gres; mediante las liberaciones de arcillas se pudo obtener las características físicas y fisicoquímicas del comportamiento de cada una de las arcillas, analizando sus propiedades como ser la pérdida al fuego, absorción de agua, contracción, resistencia en crudo, resistencia en cocido y corazón negro dando como resultados de las pruebas una variación de los datos de las liberaciones de arcillas, en la incorporación y consumo donde algunas semanas sus valores estaban fuera de su rango ,es decir, L.I.C. (límite inferior de confianza) y L.S.C (límite superior de confianza). Los datos y gráficas de las liberaciones de cada una de las arcilla con relación a sus L.S.C y L.I.C (**Anexo A**). Datos de las liberaciones de consumo de cada una de las arcillas (**Anexo B**).

La siguiente tabla representa los promedios de los indicadores de cada una de las arcillas que componen la receta de la masa roja gres actual, porque tienen comportamientos individuales realizando un estudio para cada una de ellas, datos de las liberaciones de consumo de arcillas desde el mes de agosto del 2014 hasta abril del 2015:

Tabla II-2 Promedio de los indicadores de cada una de las arcillas

| Promedio | Composición de la receta de la masa roja gres actual | | |
|--|---|------------------------|------------------------------|
| | Arcilla plástica | Arcilla arenosa | Arcilla semi plástica |
| Contracción (%) | 1,44 | 0,31 | 0,52 |
| Absorción de agua (%) | 15,89 | 15,79 | 16,56 |
| Pérdida al fuego (%) | 7,00 | 6,77 | 4,32 |
| Resistencia en crudo kg/cm ² (ensayo de flexión) | 9,42 | 8,91 | 13,17 |
| Resistencia en cocido kg/cm ² (ensayo de flexión) | 139,41 | 41,92 | 33,23 |
| Corazón negro (%) | 2,07 | 2,50 | 0,35 |

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Descripción de alternativas técnicas de solución

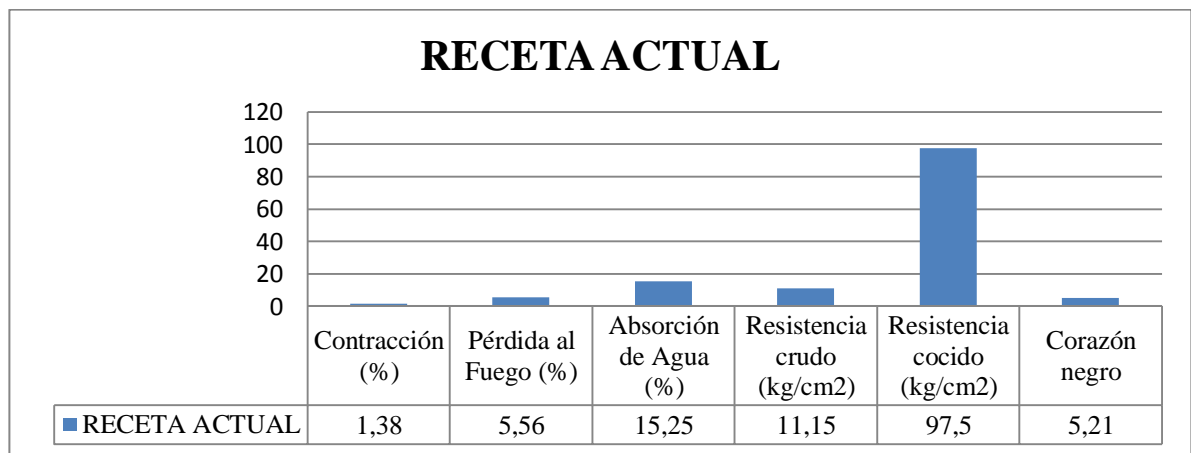
La solución para la optimización de la receta de la masa roja gres es realizando primeramente muestreos de la liberación de arcillas, es decir, del consumo de las arcillas, luego efectuar pruebas en laboratorio hasta obtener la nueva receta de la masa roja gres.

Se realizó el estudio independiente de cada arcilla utilizada en la receta actual para ver su comportamiento individual (arcilla plástica, arcilla arenosa, arcilla semi plástica),

obteniendo los valores de sus indicadores que en ocasiones no cumplen con los valores estándar establecidos por la Cerámica Coboce.

Conociendo la formulación de la receta actual de la masa roja gres se realizó su elaboración para obtener los datos de sus indicadores, los cuales nos servirán como valores estándar para poder formular la nueva receta.

Figura 2-1 Diagrama de los indicadores de la receta actual



Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Pasos a seguir para la realización de la liberación de arcillas



La liberación de la arcilla es un procedimiento a través del cual se garantiza que la arcilla es apta para el consumo dentro de proceso de producción.

De acuerdo a políticas de la empresa se predefine un rango de tolerancias de las características que se exigen como parámetros de calidad de materia prima; estos rangos conforman un estándar que está muy relacionado con la Norma Boliviana.

La liberación de la arcilla comienza en la cantera donde de acuerdo a procedimientos estándar se realiza el muestreo para verificar si las propiedades o características del yacimiento entran dentro del rango de tolerancias que persigue la empresa y a partir de estos criterios se define la aceptación o rechazo de la arcilla como materia prima para la producción.

Si el yacimiento es aceptado, ingresa a la planta transportada por los proveedores y es depositado a cielo abierto. Una vez en planta, se realizan controles de calidad a la materia prima en el laboratorio de la empresa Coboce Cerámica, donde se analizan las propiedades fisicoquímicas de cada una de las arcillas y el control de sus indicadores; corazón negro, absorción de agua, resistencia mecánica por flexión en cocido y crudo, contracción y pérdida al fuego; estas pruebas son llevadas a cabo semanalmente, la primera semana se realiza la liberación de la incorporación de arcilla y la segunda semana consumo de arcilla (arcillas que conforman la receta de la masa roja gres actual, que se encuentra en boxers o depósitos en el sector de barbotina, que está lista para la dosificación de la receta por peso de cada una de ellas, para luego ser transportadas por unas cintas hacia los molinos de bolas).

2.2.1.1 Muestreo de la incorporación y consumo de arcillas

Primeramente para la incorporación de arcilla se consulta al encargado del sector de barbotina qué arcilla se está incorporando, luego se toma muestras individuales de las arcillas aproximadamente de 1300 g mediante un método llamado cuarteo, el cual consiste en dividir la arcilla en cuatro partes en forma de cruz que están expuestas en canteras a cielo abierto y se toma del centro de cuarteo una cantidad de arcilla, este procedimiento se repite con el fin de obtener arcilla de diferentes zonas de la cantera

que se está muestreando. Este método de cuarteo se realiza para cada una de las arcillas que se están incorporando y para el consumo de arcillas se realiza el mismo procedimiento de muestreo, son todas las arcillas que se utilizan en la receta de la masa roja gres que se encuentra en los depósitos del sector de barbotina, posteriormente se lleva la arcilla adquirida al laboratorio para su control de calidad.

Control de calidad de la liberación de arcillas en laboratorio

Para la liberación de cada una de las arcillas se realiza pruebas tanto de patrón como prueba, siendo:

Arcilla patrón.- Arcilla plástica, arcilla arenosa y arcilla semi plástica cuyas muestras se toman en el galpón que se encuentra en el sector de barbotina de composición conocida que se guarda en el laboratorio, esta arcilla nos sirve para poder comparar con la arcilla de prueba.

Arcilla de prueba.- Arcilla de incorporación o consumo cuyo control se está realizando en esa semana.

Teniendo la arcilla de incorporación o consumo se efectuarán los siguientes pasos:

1. Se pesa en un recipiente 600 g de arcilla patrón y prueba del muestreo aleatorio que se realizó a cada una de las ellas, luego se pesa defloculante y se mide en una probeta una cantidad de agua; la cantidad de defloculante y agua varía para cada una de las arcillas porque cuentan con rangos independientes:

Tabla II-3 Cantidad de materia prima e insumos en cada una de las arcillas

| Tipo de arcilla | Cantidad de arcilla (g) | Defloculante (g) | Agua (ml) |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|
| Arcilla plástica | 600 | 6 | 500 |
| Arcilla arenosa | 600 | 4,5 | 300 |
| Arcilla semi plástica | 600 | 4,5 | 300 |

Fuente: Laboratorio Coboce Cerámica Ltda.

2. Luego de pesar la materia prima e insumo se realiza el proceso de molienda por vía húmeda, la cual cuenta con 980 g de esferas de alúmina de diferentes diámetros en el interior del molino; se coloca la arcilla, agua y defloculante que se pesó anteriormente, se deja moler durante 5 min en el molino. El proceso de molienda se repite dos veces para cada una de las arcillas con las mismas cantidades ya mencionadas anteriormente.
3. Después de moler se deposita en una charola o recipiente, simulando el proceso del atomizado, esto se deja cerca de la chimenea de un horno para la realización del secado de la misma. Una vez seco se retira de la charola la arcilla para luego moler durante 2 min en el molino, después se tamiza con una malla de N° 325 y el polvo tamizado se pesa para poder calcular la cantidad de agua que se incorporará, la cual tiene que tener el 6,5 % de humedad sobre el peso total, por ejemplo: arcilla plástica 1150 g y la cantidad de agua sería 74,75 ml. Se mezcla el polvo tamizado con la cantidad de agua, para poder tener una sustancia homogénea y se vuelve a tamizar con una malla N° 325.
4. Se pesa 145 g del polvo tamizado en 6 vasos diferentes para la realización del prensado manual, se deposita en un molde de 15 cm x 7 cm el polvo tamizado para ejercer primero una presión de 5 kg/cm^2 para el acomodo de la arcilla al molde y luego una presión de 21 kg/cm^2 para poder obtener dureza y resistencia en la pieza; como se pesó en 6 vasos se obtiene 6 piezas de cada arcilla liberada, en cada pieza se escribe la fecha que se realizó la molienda, el nombre de la arcilla y el número de pieza que se prensó.
5. Se coloca en un piso cerámico las 6 piezas prensadas para ser llevadas al secadero o estufa a unos $200 \text{ }^\circ\text{C}$ para el secado de las mismas, 3 piezas se pesan en una balanza, se mide con un vernier o pie de rey el largo de cada pieza, las otras 3 piezas se mide con un vernier el ancho, espesor y en una máquina de flexión se toma la resistencia mecánica en crudo de cada pieza.
6. Después las otras 3 piezas se colocan en un pieza refractaria para ser llevadas al horno para su cocción, el proceso de cocción es de 31 min. Al salir las

piezas del horno se toman las medidas de cada pieza, es decir, ancho, espesor y largo, se pesa cada una y se realiza la ruptura de las piezas con una máquina de flexión.

7. Teniendo todos estos datos tanto en crudo como cocida de las piezas se podrá calcular sus indicadores, los cuales son: corazón negro, absorción de agua, resistencia mecánica por flexión en cocido y crudo, contracción y pérdida al fuego. Para el análisis de corazón negro se baña una pieza con un baño de engobe y 2 de esmaltes, después en el refractario se lleva al horno para su cocción.

2.3 Diseño factorial

Para encontrar las condiciones óptimas de la receta de la masa roja gres se utilizará un diseño factorial, para seleccionar las variables que más influyen en el proceso y posteriormente elaborar propuestas de recetas hasta obtener una receta óptima de la masa.

El diseño factorial de experimentos es una planificación previa a la experimentación a desarrollarse, es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio de las variables que influyen en la receta actual de la masa roja gres, del intervalo permitido para la misma y de las respuestas que debe medir para referir el estudio de la receta actual.

2.3.1 Pasos para realizar el diseño factorial

El diseño factorial comprende los siguientes pasos:

- Identificar las variables que influyen en el proceso.
- Identificar el intervalo de valores para dichas variables.
- Planificar experimentos.

- Elaborar experimentos y recolectar de datos.
- Analizar los datos experimentales.

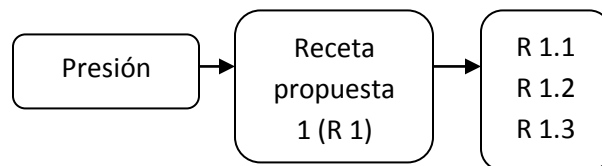
El diseño factorial que se utilizará es:

2.4 Diseño factorial por bloques

En este diseño se agrupa las unidades experimentales en bloques, se determina la distribución de los tratamientos en cada bloque y, por último, se asigna las unidades experimentales dentro de los bloques. El modelo matemático de este diseño es:

$$\text{Respuesta} = \text{Constante} + \text{Efecto bloque} + \text{Efecto de tratamiento} + \text{Error}$$

En este caso sería:



Las combinaciones del porcentaje de las recetas propuestas en cada bloque fueron elegidas mediante un diseño factorial 2^k .

$$2^k = 2^4 = 16$$

Donde:

2 = Niveles del diseño.

K = Factores en estudio.

Se realizará 16 recetas propuestas, con una repetición de 3 ensayos por receta, siendo un total de 48 ensayos. Con las mejores 4 recetas propuestas se realizará los ensayos modificando la presión, es decir, a una presión de 18 kg/cm^2 y 23 kg/cm^2 , cada una con una repetición de 3 ensayos, siendo 24 ensayos, con un total de 72 piezas cerámicas.

2.4.1 Elección de las variables a medir: respuesta

Las variables respuestas para la realización de la receta de la masa roja gres son todos sus indicadores resolviendo el problema de absorción de agua (%), disminución del corazón negro (%), mayor contracción (%), pérdida al fuego (%), resistencia en crudo (kg/cm^2) y resistencia mecánica en cocido (kg/cm^2).

2.4.2 Identificación de las variables que influyen en el proceso: factores

Las variables identificadas y seleccionadas para este proceso son las siguientes:

- Presión.
- Porcentaje de la composición de la receta de la masa roja gres (arcilla plástica, arcilla arenosa, arcilla semi plástica) o incorporación de arcilla a la receta.
- Temperatura (No se toma en cuenta ya que el tipo de masa, si sobrepasa los 1150 grados centígrados; existe un deformación; por tanto ese es el valor ideal para la cocción).

2.4.3 Identificación de los intervalos de operación para cada una de las variables de operación: niveles

Las variables que influyen en el proceso son el porcentaje de la composición de la receta de la masa roja gres y la presión, donde se han determinado estos intervalos de operación, los mismos que fueron seleccionados teniendo en cuenta la información recopilada y pruebas realizadas en el laboratorio de control de calidad.

Los intervalos de operación propuestos son los que se menciona a continuación:

2.4.3.1 Presión

El límite superior se ha determinado en 23 kg/cm^2 porque a una presión mayor puede presentar la fisura o rajadura de la pieza durante su proceso de cocción en el horno monoestrato de rodillos y salir la pieza rota del horno.

La presión estándar de trabajo en la Cerámica Coboce es de 21 kg/cm^2 con la cual se realizarán las 16 recetas propuestas por el diseño factorial porque es una presión ideal dentro el proceso productivo.

El límite inferior se ha determinado en 18 kg/cm^2 , presión donde la pieza se puede pegar en el molde de la prensa causando la ruptura del bizcocho crudo, después puede causar una baja resistencia en la pieza del bizcocho crudo o en el producto terminado.

2.4.3.2 Composición de la receta de la masa roja gres

Para la composición de la receta de la masa roja gres se ha fijado un límite superior de los porcentajes de la receta de 45 % de arcilla plástica, 20 % arcilla arenosa, 40 % arcilla semi plástica y un límite inferior del porcentaje de la receta de 30 % de arcilla plástica, 10 % de arcilla arenosa y 20 % de arcilla semi plástica datos que pueden variar por la experimentación, obteniendo la nueva composición de la receta de la masa roja gres con el fin de optimizar la masa y lograr tener un producto estable de alta calidad.

Tomando en cuenta los valores de las liberaciones de las arcillas de consumo, éstas nos ayudarán a identificar los parámetros a mejorar; para ello usaremos los promedios y los límites superiores e inferiores de cada una de ellas para que en su conjunción se obtenga una mejor receta para Coboce Cerámica la misma que será comparada con la actual.

La nueva receta debería mejorar los siguientes indicadores:

- Arcilla Plástica

Tabla II-4 Arcilla 1 con datos de sus L.S.C y L.I.C de cada indicador

| Indicadores | Límite superior | Límite Inferior |
|---|------------------------|------------------------|
| Contracción (%) | 2,28 | 0,61 |
| Absorción de agua (%) | 17,35 | 14,43 |
| Pérdida de fuego (%) | 7,59 | 6,41 |
| Resistencia en crudo (kg/cm^2) | 12,2 | 6,65 |
| Resistencia mecánica en cocido (kg/cm^2) | 158,5 | 102,99 |
| Corazón negro (%) | 3,75 | 0,40 |

Fuente: Elaboración propia

- Arcilla Arenosa

Tabla II-5 Arcilla 2 con datos de sus L.S.C y L.I.C de cada indicador

| Indicadores | Límite superior | Límite Inferior |
|--|------------------------|------------------------|
| Contracción (%) | 0,48 | 0,14 |
| Absorción de agua (%) | 17,36 | 14,21 |
| Pérdida de fuego (%) | 6,77 | 1,99 |
| Resistencia en crudo (kg/cm ²) | 12,00 | 5,82 |
| Resistencia mecánica en cocido (kg/cm ²) | 56,57 | 27,27 |
| Corazón negro (%) | 4,93 | 0,06 |

Fuente: Elaboración propia

- Arcilla Semi plástica

Tabla II-6 Arcilla 3 con datos de sus L.S.C y L.I.C de cada indicador

| Indicadores | Límite superior | Límite Inferior |
|--|------------------------|------------------------|
| Contracción (%) | 0,73 | 0,31 |
| Absorción de agua (%) | 18,14 | 14,97 |
| Pérdida de fuego (%) | 4,71 | 3,92 |
| Resistencia en crudo (kg/cm ²) | 13,06 | 7,57 |
| Resistencia mecánica en cocido (kg/cm ²) | 41,07 | 25,4 |
| Corazón negro (%) | 1,21 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

2.4.3.2.1 Incorporación de arcilla a la receta de la masa roja gres

La nueva receta de la masa roja gres tiene como propósito mejorar sus indicadores, por lo cual se planteó la posibilidad de la incorporación de una nueva arcilla a la receta, que cumpla con los parámetros de control de calidad y pueda llegar a reemplazar o disminuir el consumo de la arcilla plástica porque no se cuenta con mucha cantidad de este tipo de arcilla en las canteras, tomando en cuenta que la nueva arcilla cumpla con características similares a este tipo arcilla.

Por lo cual, se realizaron las siguientes pruebas con diferentes tipos de arcillas fundentes y arcillas plásticas a la presión estándar que se trabaja en Coboce Cerámica de 21 kg/cm²:

Tabla II-7 Características de las propiedades de arcilla 1 (arcilla plástica) y otras arcillas fundentes

| FÓRMULA | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia crudo (kg/cm²) | Resistencia cocido (kg/cm²) | Materia orgánica (%) |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|---|-----------------------------|
| Arcilla plástica | 2,96 | 7,28 | 13,96 | 11,29 | 109,67 | 1,507 |
| Arcilla puzolana | 2,92 | 5,4 | 13,25 | 10,85 | 80,02 | 0 |
| Arcilla paria | 1,53 | 6,7 | 13,61 | 12,71 | 40,1 | 0 |
| Arcilla Jaqueline | 1,25 | 5,24 | 20,52 | 11,51 | 28,91 | 0 |
| Arcilla Jaqueline puro | | | | 23,88 | | 0 |

Fuente: Elaboración Propia

La arcilla que presentó características similares a la arcilla plástica fue la arcilla fundente de puzolana, por este motivo se decidió realizar pruebas incorporando en la receta de la masa actual. (**Anexo C**, datos de las pruebas realizadas de las arcillas).

2.4.4 Planificación de experimentos

Para la realización de los experimentos se llevará a cabo las siguientes propuestas de receta de la masa, tomando en cuenta los niveles y subniveles de cada uno de los factores.

La temperatura de cocción de las piezas cerámicas es a una temperatura de 1150 °C, siendo su valor estándar por el cual no se puede tomar como una variable.

Tabla II-8 Niveles y subniveles de los factores del diseño

| Factores | Nivel - subniveles | | | |
|--|-----------------------|----------------|----------|---------|
| | Bajo (-) | Valor estándar | Alto (+) | |
| A: Presión (kg/cm ²) | 18 | 21 | 23 | |
| B: Composición de la receta (%).- Arcilla Plástica | 30 - 37 | - | 38 - 45 | |
| | Arcilla Arenosa | 10 - 15 | - | 16 - 20 |
| | Arcilla Semi plástica | 20 - 30 | - | 31 - 40 |
| Incorporación de la arcilla (%).- Arcilla Puzolana | 0 - 13 | - | 14 - 25 | |

Fuente: Elaboración Propia

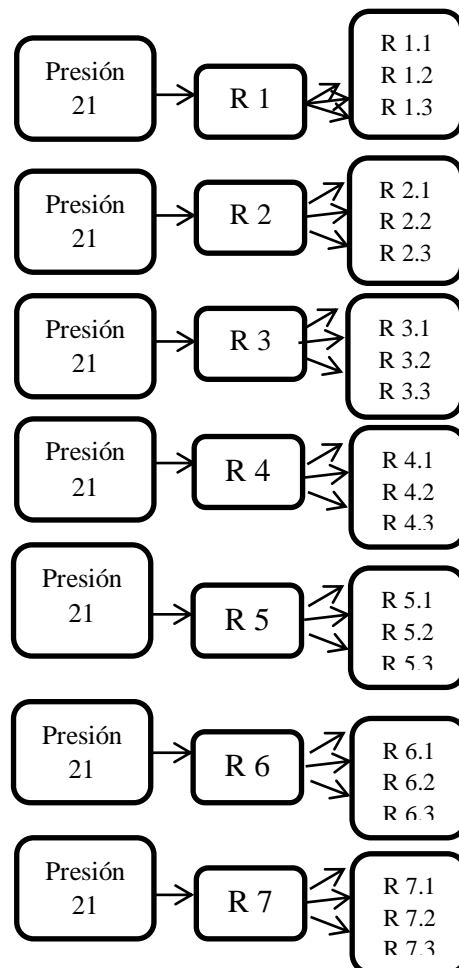
Tabla II-9 Matriz de diseño

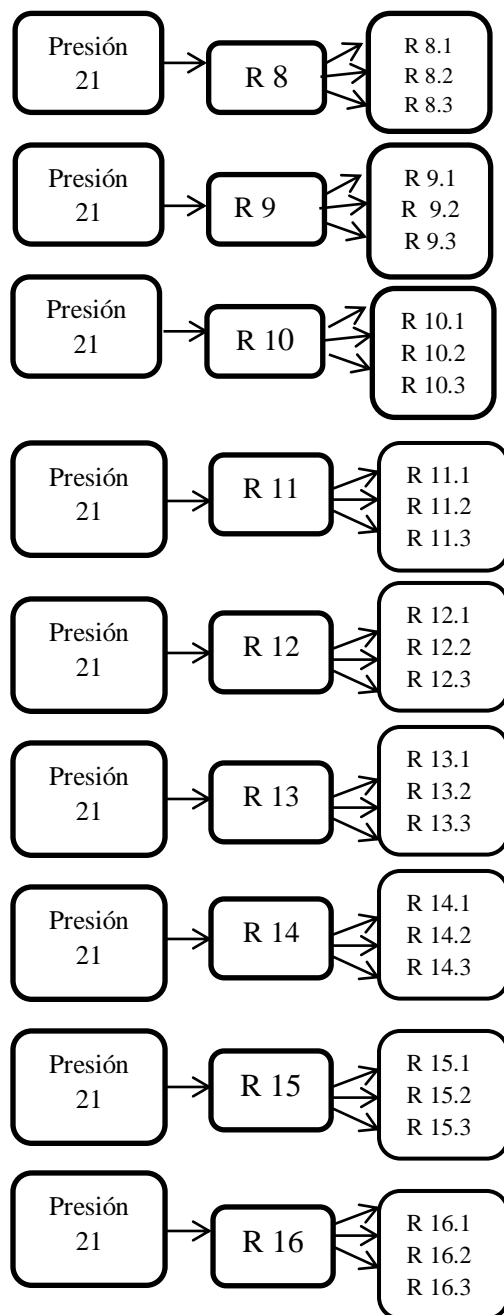
| N° | Factor A (Presión kg/cm ²) | Factor B (Composición porcentual de la recetas propuestas %) | | | |
|----|--|--|--|---|--|
| | | Composición de la receta de la masa roja gres | | | Incorporación de arcilla |
| | | Arcilla plástica (30 %-37 %) – (38 %- 45 %) | Arcilla arenosa (10 %-15 %) - (16 %-20 %) | Arcilla semi plástica (20 %-30 %)- (31 %-40 %) | Arcilla puzolana (0 %-13 %) – (14 %-25 %) |
| 1 | 21 | - | - | - | - |
| 2 | 21 | - | - | - | + |
| 3 | 21 | - | - | + | - |

| | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|
| 4 | 21 | - | - | + | + |
| 5 | 21 | - | + | - | - |
| 6 | 21 | - | + | - | + |
| 7 | 21 | - | + | + | - |
| 8 | 21 | - | + | + | + |
| 9 | 21 | + | - | - | - |
| 10 | 21 | + | - | - | + |
| 11 | 21 | + | - | + | - |
| 12 | 21 | + | - | + | + |
| 13 | 21 | + | + | - | - |
| 14 | 21 | + | + | - | + |
| 15 | 21 | + | + | + | - |
| 16 | 21 | + | + | + | + |

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3 Diseño factorial por bloque de las recetas propuestas





Fuente: Elaboración Propia

Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de control de calidad de la Cerámica Coboce donde el procedimiento de cada prueba es moler o triturar la materia prima en un molino colocando 600 g de arcilla total (arcilla plástica, arcilla arenosa, arcilla semi plástica, arcilla fundente), 500 ml de agua y 5 g de defloculante durante un tiempo de 5 min. (**Anexo D**, datos de las pruebas realizadas en cada una de las recetas propuestas).

Tomando en cuenta los niveles, subniveles máximos y mínimos de cada uno de los factores se combinó realizando la siguiente tabla:

Tabla II-10 Composición porcentual de las recetas propuestas

| N° | Factor A (Presión kg/cm ²) | Factor B (Composición porcentual de la recetas propuestas %) | | | | Indicadores |
|----|--|---|---|---|---|-------------|
| | | Composición de la receta de la masa roja gres | | | Incorporación de arcilla | |
| | | Arcilla plástica (30 %-37 %) – (38 %-45 %) | Arcilla arenosa (10 %-15 %) - (16 %-20 %) | Arcilla semi plástica (20 %-30 %) - (31 %-40 %) | Arcilla puzolana (0 %-13 %) - (14 %-25 %) | |
| 1 | 21 | 37 | 15 | 30 | 18 | R 1 |
| 2 | 21 | 30 | 15 | 30 | 25 | R 2 |
| 3 | 21 | 37 | 15 | 40 | 8 | R 3 |
| 4 | 21 | 30 | 10 | 40 | 20 | R 4 |
| 5 | 21 | 37 | 20 | 30 | 13 | R 5 |
| 6 | 21 | 35 | 20 | 20 | 25 | R 6 |
| 7 | 21 | 37 | 20 | 40 | 3 | R 7 |
| 8 | 21 | 30 | 16 | 31 | 23 | R 8 |
| 9 | 21 | 45 | 15 | 30 | 10 | R 9 |
| 10 | 21 | 45 | 10 | 20 | 25 | R 10 |
| 11 | 21 | 45 | 15 | 40 | 0 | R 11 |
| 12 | 21 | 45 | 10 | 31 | 14 | R 12 |
| 13 | 21 | 45 | 20 | 30 | 5 | R 13 |
| 14 | 21 | 40 | 16 | 20 | 24 | R 14 |
| 15 | 21 | 44 | 16 | 40 | 0 | R 15 |
| 16 | 21 | 38 | 16 | 31 | 15 | R 16 |

Fuente: Elaboración propia

2.4.4.1 Realización de experimentos y recolección de datos

Los experimentos obtenidos de cada combinación porcentual de la composición de la receta de la masa roja gres e incorporación de arcillas a la presión de 21 kg/cm² nos demuestra qué parámetros tienen mayor incidencia en el resultado final (indicadores).

Después de realizar pruebas en cada una de las recetas propuestas en el plan de experimentación, para obtener resultados más confiables, se realizaron las pruebas con los patrones de cada una de las arcillas empleadas en la receta de la masa y con la repetición de 3 piezas por receta propuesta.

2.4.4.2 Resultados obtenidos del diseño de experimentos en laboratorio

Tabla II-11 Indicadores de la receta actual

| | Presión (kg/cm ²) | Composición actual de la receta de la masa roja gres | | | |
|----------------------|----------------------------------|--|---|--|------------------|
| | | % Arcilla Plástica | % Arcilla Arenosa | % Arcilla Semi plástica | |
| Receta Actual | 21 | 48 | 27 | 25 | |
| Indicadores | | | | | |
| Contracción % | Pérdida al fuego % | Absorción de agua % | Resistencia en crudo kg/cm ² | Resistencia mecánica en cocido kg/cm ² | Corazón negro |
| 1,38 | 5,56 | 15,25 | 11,15 | 97,50 | 5,21 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-12 Resultados obtenidos del diseño de experimentos

| N° de recetas propuestas | Indicadores | | | | |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|---|-----------------|----------------------|
| | Corazón negro (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia mecánica cocido (kg/cm ²) | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) |
| R 1.1 | 0 | 13,90 | 100,18 | 3,62 | 5,51 |
| R 1.2 | | 13,60 | 128,36 | 3,98 | 5,51 |
| R 1.3 | | 13,60 | 108,31 | 3,48 | 5,23 |
| R 2.1 | 0 | 12,70 | 38,31 | 5,00 | 5,39 |
| R 2.2 | | 12,10 | 51,04 | 4,06 | 5,37 |
| R 2.3 | | 12,10 | 51,91 | 4,56 | 5,31 |
| R 3.1 | 1,312 | 17,00 | 39,18 | 1,15 | 6,03 |
| R 3.2 | | 17,90 | 36,54 | 0,61 | 5,66 |
| R 3.3 | | 16,80 | 44,40 | 1,29 | 5,91 |
| R 4.1 | 1,18 | 17,10 | 37,83 | 1,43 | 5,74 |
| R 4.2 | | 16,70 | 50,36 | 1,50 | 5,80 |
| R 4.3 | | 17,00 | 38,95 | 1,43 | 5,56 |
| R 5.1 | 0,855 | 13,20 | 129,41 | 3,61 | 5,68 |
| R 5.2 | | 13,70 | 117,09 | 3,77 | 5,53 |
| R 5.3 | | 13,40 | 112,37 | 3,54 | 5,54 |
| R 6.1 | 5,921 | 15,50 | 47,93 | 1,43 | 5,76 |
| R 6.2 | | 17,40 | 56,37 | 1,37 | 5,54 |
| R 6.3 | | 18,70 | 93,26 | 1,29 | 6,02 |
| R 7.1 | 1,533 | 17,30 | 40,98 | 1,16 | 5,67 |
| R 7.2 | | 18,50 | 37,22 | 1,08 | 5,30 |
| R 7.3 | | 16,60 | 41,77 | 1,57 | 5,55 |
| R 8.1 | 0,32 | 12,90 | 71,00 | 3,76 | 5,40 |
| R 8.2 | | 14,10 | 72,74 | 3,34 | 5,31 |

| | | | | | |
|--------|-------|--------|--------|------|------|
| R 8.3 | | 14,20 | 72,33 | 3,69 | 5,39 |
| R 9.1 | 0,588 | 12,80 | 136,31 | 2,62 | 5,71 |
| R 9.2 | | 13,00 | 177,61 | 2,54 | 5,67 |
| R 9.3 | | 12,90 | 153,67 | 2,54 | 5,65 |
| R 10.1 | 0,533 | 12,50 | 109,49 | 4,34 | 6,08 |
| R 10.2 | | 12,70 | 92,77 | 4,27 | 6,06 |
| R 10.3 | | 12,70 | 102,98 | 4,27 | 6,00 |
| R 11.1 | 0,974 | 14,20 | 115,65 | 1,92 | 5,86 |
| R 11.2 | | 13,60 | 124,98 | 2,26 | 6,62 |
| R 11.3 | | 12,50 | 132,84 | 2,33 | 6,84 |
| R 12.1 | 1,282 | 16,60 | 38,89 | 1,23 | 5,67 |
| R 12.2 | | 16,60 | 47,44 | 1,57 | 6,31 |
| R 12.3 | | 16,60 | 40,76 | 1,16 | 5,48 |
| R 13.1 | 1,329 | 15,70 | 93,36 | 2,06 | 6,67 |
| R 13.2 | | 15,70 | 106,77 | 1,43 | 5,35 |
| R 13.3 | | 15,80 | 98,28 | 1,29 | 5,21 |
| R 14.1 | 1,25 | 11,90 | 93,52 | 4,64 | 5,87 |
| R 14.2 | | 11,50 | 47,79 | 4,49 | 5,78 |
| R 14.3 | | 11,50 | 66,85 | 4,49 | 5,57 |
| R 15.1 | 1,506 | 13,20 | 140,96 | 2,48 | 5,56 |
| R 15.2 | | 13,60 | 76,56 | 2,21 | 5,90 |
| R 15.3 | | 130,00 | 80,94 | 2,12 | 5,71 |
| R 16.1 | 1,026 | 13,30 | 142,99 | 3,70 | 5,35 |
| R 16.2 | | 14,00 | 121,39 | 3,76 | 5,43 |
| R 16.3 | | 14,30 | 131,13 | 3,70 | 5,35 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-13 Promedio de los resultados obtenidos en cada receta

| Promedio | Indicadores | | | | |
|---------------------|-------------------|-----------------------|---|-----------------|----------------------|
| | Corazón negro (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia mecánica cocido (kg/cm ²) | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) |
| Receta propuesta 1 | 0 | 13,69 | 112,28 | 3,70 | 5,42 |
| Receta propuesta 2 | 0 | 12,27 | 47,09 | 4,54 | 5,36 |
| Receta propuesta 3 | 1,312 | 17,23 | 40,04 | 1,02 | 5,87 |
| Receta propuesta 4 | 1,18 | 16,92 | 42,38 | 1,46 | 5,70 |
| Receta propuesta 5 | 0,855 | 13,45 | 119,62 | 3,64 | 5,58 |
| Receta propuesta 6 | 5,921 | 17,20 | 65,85 | 1,36 | 5,78 |
| Receta propuesta 7 | 1,533 | 17,45 | 39,99 | 1,27 | 5,50 |
| Receta propuesta 8 | 0,32 | 13,72 | 72,02 | 3,59 | 5,37 |
| Receta propuesta 9 | 0,588 | 12,90 | 155,86 | 2,57 | 5,68 |
| Receta propuesta 10 | 0,533 | 12,61 | 101,75 | 4,30 | 6,05 |
| Receta propuesta 11 | 0,974 | 13,41 | 124,49 | 2,17 | 6,44 |
| Receta propuesta 12 | 1,282 | 16,59 | 42,70 | 1,32 | 5,82 |
| Receta propuesta 13 | 1,329 | 15,70 | 99,47 | 1,59 | 5,74 |
| Receta propuesta 14 | 1,25 | 11,62 | 69,39 | 4,54 | 5,74 |
| Receta propuesta 15 | 1,506 | 13,25 | 99,49 | 2,27 | 5,72 |
| Receta propuesta 16 | 1,026 | 13,85 | 131,84 | 3,72 | 5,38 |

Fuente: Elaboración propia

Después de la realización de las recetas propuestas se le designo a cada indicador un cierto puntaje dependiendo de la importancia que tiene cada uno de ellos, para la elaboración de un piso en Coboce Cerámica, siendo:

1. Corazón negro (%) = 10 puntos
2. Absorción de agua (%) = 10 puntos
3. Resistencia mecánica en cocido (kg/cm²) = 8 puntos
4. Contracción (%) = 5 puntos
5. Pérdida al fuego (%) = 2 puntos

Tabla II-14 Designación de puntaje a cada indicador

| Corazón negro | Absorción de agua | Resistencia mecánica en cocido | Contracción | Pérdida al fuego |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------|
| 1 % = 2 Puntos | 2% = 2, 5 Puntos | 20 kg/cm ² = 1,40 Puntos | 1 % = 1,25 Puntos | 0, 5 % = 0,25 Puntos |
| 0 % = 10 | 11 % = 10 | 60 kg/cm ² = 1 | 1 % = 0 | 6,5 % = 2,0 |
| 1 % = 8 | 13 % = 7,5 | 80 kg/cm ² = 2,4 | 2 % = 1,25 | 6 % = 1,75 |
| 2 % = 6 | 15 % = 5 | 100 kg/cm ² = 3,8 | 3 % = 2,5 | 5,5 % = 1,50 |
| 3 % = 4 | 17 % = 2,5 | 120 kg/cm ² = 5,2 | 4 % = 3,75 | 5 % = 1,25 |
| 4 % = 2 | 19 % = 0 | 140 kg/cm ² = 6,6 | 5 % = 5 | 4,5 % = 1,0 |
| 5 % = 0 | | 160 kg/cm ² = 8 | | |

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores de puntaje de cada indicador mediante interpolaciones se podrá tener las puntuaciones de cada receta y se obtendrán los resultados sumando la importancia de todos los indicadores de las recetas propuestas.

Tabla II- 15 Resultados de puntuación de los indicadores

| Nº de recetas propuestas | Puntaje de los indicadores | | | | | Total (35 Ptos.) |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|------------------|
| | 1. Corazón negro | 2. Absorción de agua | 3. Resistencia mecánica en cocido | 4. Contracción | 5. Pérdida al fuego | |
| Receta propuesta 1 | 10 | 6,521 | 4,607 | 3,32 | 1,457 | 25,9048 |
| Receta propuesta 2 | 10 | 7,73 | 0 | 4,38 | 1,425 | 23,5353 |
| Receta propuesta 3 | 7,313 | 1,325 | 0 | 0,011 | 1,681 | 10,3302 |
| Receta propuesta 4 | 7,596 | 2,57 | 0 | 0,092 | 1,595 | 11,8534 |
| Receta propuesta 5 | 8,263 | 6,846 | 5,169 | 3,241 | 1,537 | 25,0564 |
| Receta propuesta 6 | 0 | 1,439 | 1,292 | 0,057 | 1,635 | 4,4232 |
| Receta propuesta 7 | 6,862 | 0,722 | 0 | 0,037 | 1,500 | 9,121 |

| | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Receta propuesta 8 | 9,311 | 6,481 | 1,692 | 3,176 | 1,431 | 22,0905 |
| Receta propuesta 9 | 8,77 | 7,609 | 7,688 | 1,856 | 1,586 | 27,5085 |
| Receta propuesta 10 | 8,879 | 7,933 | 3,906 | 4,088 | 1,774 | 26,5795 |
| Receta propuesta 11 | 8,046 | 6,902 | 5,486 | 1,406 | 1,968 | 23,8082 |
| Receta propuesta 12 | 7,377 | 2,882 | 0 | 0,047 | 1,656 | 11,9615 |
| Receta propuesta 13 | 7,277 | 3,923 | 3,754 | 0,173 | 1,349 | 16,4764 |
| Receta propuesta 14 | 7,445 | 9,147 | 1,508 | 4,38 | 1,615 | 24,0951 |
| Receta propuesta 15 | 6,916 | 7,129 | 3,756 | 1,507 | 1,605 | 20,9132 |
| Receta propuesta 16 | 7,94 | 6,313 | 5,988 | 3,347 | 1,436 | 25,0237 |

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados de la anterior tabla II- 15 se encontró las 4 mejores recetas con las cuales se realizaron pruebas pero modificando la presión a 18 kg/cm² y 23 kg/cm² (**Anexo E** datos de las recetas propuestas modificando la presión), siendo las siguientes recetas:

1. Receta propuesta 9
2. Receta propuesta 10
3. Receta propuesta 1
4. Receta propuesta 16

Tabla II- 16 Recetas propuestas modificando la presión

| N° de receta propuesta | Factor A (Presión kg/cm ²) | Factor B (Composición porcentual de la recetas propuestas %) | | | |
|------------------------|--|--|---|---|---|
| | | Composición de la receta de la masa roja gres | | | Incorporación de arcilla |
| | | Arcilla plástica (30 %-37 %) – (38 %-45 %) | Arcilla arenosa (10 %-15 %) - (16 %-20 %) | Arcilla semi plástica (20 %-30 %) - (31 %-40 %) | Arcilla puzolana (0 %-13 %) - (14 %-25 %) |
| 9 | 18 | 45 | 15 | 30 | 10 |
| 9 | 23 | 45 | 15 | 30 | 10 |
| 10 | 18 | 45 | 10 | 20 | 25 |
| 10 | 23 | 45 | 10 | 20 | 25 |
| 1 | 18 | 37 | 15 | 30 | 18 |
| 1 | 23 | 37 | 15 | 30 | 18 |
| 16 | 18 | 38 | 16 | 31 | 15 |
| 16 | 23 | 38 | 16 | 31 | 15 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla II- 17 Resultados de las recetas propuestas modificando la presión

| N° | Indicadores | | | | |
|----------|-------------------|-----------------------|---|-----------------|----------------------|
| | Corazón negro (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia mecánica cocido (kg/cm ²) | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) |
| P18 9.1 | 0,507 | 12,90 | 127,25 | 2,69 | 5,23 |
| P18 9.2 | | 13,20 | 154,01 | 2,27 | 5,47 |
| P18 9.3 | | 13,20 | 139,45 | 2,55 | 5,23 |
| P23 9.1 | 0,625 | 12,70 | 153,06 | 2,68 | 5,82 |
| P23 9.2 | | 13,10 | 161,83 | 2,82 | 5,95 |
| P23 9.3 | | 12,70 | 156,45 | 2,82 | 5,67 |
| P18 10.1 | 0,473 | 11,60 | 101,96 | 4,27 | 6,01 |
| P18 10.2 | | 13,60 | 90,34 | 4,26 | 6,03 |
| P18 10.3 | | 13,60 | 101,59 | 4,26 | 6,03 |
| P23 10.1 | 0,658 | 12,90 | 102,05 | 4,48 | 6,09 |
| P23 10.2 | | 12,50 | 99,72 | 4,20 | 6,16 |
| P23 10.3 | | 12,20 | 103,95 | 4,34 | 6,16 |
| P18 1.1 | 0,000 | 13,00 | 103,86 | 3,62 | 5,44 |
| P18 1.2 | | 14,30 | 117,92 | 3,48 | 5,51 |
| P18 1.3 | | 13,90 | 111,52 | 3,48 | 5,15 |
| P23 1.1 | 0,000 | 13,20 | 113,45 | 3,84 | 5,53 |
| P23 1.2 | | 13,30 | 108,03 | 3,48 | 5,86 |
| P23 1.3 | | 13,90 | 115,44 | 3,91 | 5,53 |
| P18 16.1 | 0,890 | 12,90 | 106,00 | 3,41 | 5,62 |
| P18 16.2 | | 14,90 | 126,94 | 3,34 | 5,03 |
| P18 16.3 | | 14,20 | 131,47 | 3,76 | 5,35 |
| P23 16.1 | 1,118 | 13,10 | 134,90 | 3,76 | 5,86 |
| P23 16.2 | | 13,90 | 126,86 | 3,69 | 5,94 |
| P23 16.3 | | 13,90 | 135,38 | 3,90 | 5,35 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla II- 18 Promedio de las mejores recetas propuestas a escala laboratorio

| N° de recetas propuestas | Indicadores | | | | |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|---|-----------------|----------------------|
| | Corazón negro (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia mecánica cocido (kg/cm ²) | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) |
| Receta 9 Presión 18 | 0,507 | 13,09 | 140,24 | 2,50 | 5,31 |
| Receta 9 Presión 21 | 0,588 | 12,90 | 155,86 | 2,57 | 5,68 |
| Receta 9 Presión 23 | 0,625 | 12,81 | 157,11 | 2,78 | 5,81 |
| Receta 10 Presión 18 | 0,473 | 12,92 | 97,97 | 4,26 | 6,02 |
| Receta 10 Presión 21 | 0,533 | 12,61 | 101,75 | 4,30 | 6,05 |
| Receta 10 Presión 23 | 0,658 | 12,54 | 101,90 | 4,34 | 6,14 |
| Receta 1 Presión 18 | 0,000 | 13,73 | 111,10 | 3,53 | 5,37 |
| Receta 1 Presión 21 | 0 | 13,69 | 112,28 | 3,70 | 5,42 |
| Receta 1 Presión 23 | 0,000 | 13,46 | 112,31 | 3,74 | 5,64 |
| Receta 16 Presión 18 | 0,890 | 14,01 | 121,47 | 3,50 | 5,33 |
| Receta 16 Presión 21 | 1,026 | 13,85 | 131,84 | 3,72 | 5,38 |
| Receta 16 Presión 23 | 1,118 | 13,61 | 132,38 | 3,79 | 5,71 |

Fuente: Elaboración propia

Después de las pruebas realizadas en laboratorio de control de calidad modificando la presión con las 4 mejores opciones, se realiza un estudio estadístico con la t de student para ver la significancia de la presión con relación a las recetas.

Primeramente se interpolan los resultados que se obtuvieron en las pruebas, es decir, los valores de los indicadores.

Tabla II-19 Resultados de puntuación de los indicadores de las 4 mejores recetas modificando presión

| N° de recetas propuestas | Indicadores | | | | | Total |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|---|-----------------|----------------------|-------|
| | Corazón negro (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia mecánica cocido (kg/cm ²) | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) | |
| Receta 9 Presión 18 | 8,99 | 7,39 | 6,62 | 1,88 | 1,41 | 26,27 |
| Receta 9 Presión 21 | 8,82 | 7,63 | 7,71 | 1,96 | 1,59 | 27,71 |
| Receta 9 Presión 23 | 8,75 | 7,74 | 7,80 | 2,23 | 1,66 | 28,17 |
| Receta 10 Presión 18 | 9,05 | 7,60 | 3,66 | 4,08 | 1,76 | 26,15 |
| Receta 10 Presión 21 | 8,93 | 7,99 | 3,92 | 4,13 | 1,78 | 26,74 |
| Receta 10 Presión 23 | 8,68 | 8,08 | 3,93 | 4,18 | 1,82 | 26,69 |
| Receta 1 Presión 18 | 10,00 | 6,59 | 4,58 | 3,16 | 1,44 | 25,76 |
| Receta 1 Presión 21 | 10,00 | 6,64 | 4,66 | 3,38 | 1,46 | 26,13 |
| Receta 1 Presión 23 | 10,00 | 6,93 | 4,66 | 3,43 | 1,57 | 26,58 |
| Receta 16 Presión 18 | 8,22 | 6,24 | 5,30 | 3,13 | 1,42 | 24,30 |
| Receta 16 Presión 21 | 7,95 | 6,44 | 6,03 | 3,40 | 1,44 | 25,25 |
| Receta 16 Presión 23 | 7,76 | 6,74 | 6,07 | 3,49 | 1,61 | 25,66 |

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar la puntuación de los indicadores de las 4 mejores recetas modificando la presión se calcula la t de student, con las siguientes ecuaciones:

-Calcular la diferencia del puntaje total de los indicadores de cada receta con relación a la presión a estudiar. Por ejemplo:

$$dif18 * 21_{Rn} = \left(\sum \text{puntaje de indicadores } R_{1 \text{ presión } 18} \right) - \left(\sum \text{puntaje de indicadores } R_{1 \text{ presión } 21} \right)$$

Siendo:

R= Receta propuesta

-Diferencias D_i

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N dif18 * 21_{Rn}}{N}$$

Donde:

N= número de experimentos

-Varianza

$$s^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N Dif^2 - (\sum_{i=1}^N Dif)^2}{N(N-1)}$$

Donde:

$$Dif = dif_{18} * 21_{Rn}$$

-Desviación estándar

$$desv\ est = \sqrt{S}$$

-Valor teórico de t student

$$t = \frac{D - 0}{desv\ est / \sqrt{N}}$$

Teniendo como resultados de estas ecuaciones:

Tabla II-20 Prueba de t student entre la presión 18-presion 21

| | Receta 9 | Receta 10 | Receta 1 | Receta 16 |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Presión 18 | 26,27 | 26,15 | 25,77 | 24,3 |
| Presión 21 | 27,71 | 26,74 | 26,13 | 25,25 |
| Presión 23 | 28,16 | 26,69 | 26,58 | 25,66 |
| dif 18*21 | 1,44 | 0,59 | 0,36 | 0,95 |
| D | 0,84 | | | |
| varianza | 0,22 | | | |
| Desviación estándar | 0,47 | | | |
| t calculada | 3,55 | | | |
| t tablas | 3,82 | | | |
| t calc > t tablas, dif sig | No tiene significancia | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-21 Prueba de t student entre la presión 21-presion 23

| | Receta 9 | Receta 10 | Receta 1 | Receta 16 |
|------------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Presión 18 | 26,27 | 26,15 | 25,77 | 24,3 |
| Presión 21 | 27,71 | 26,74 | 26,13 | 25,25 |
| Presión 23 | 28,16 | 26,69 | 26,58 | 25,66 |
| dif 21*23 | 0,45 | -0,05 | 0,45 | 0,41 |
| D | 0,32 | | | |
| varianza | 0,06 | | | |
| Desviación estándar | 0,24 | | | |
| t calculada | 2,58 | | | |
| t tablas | 3,82 | | | |
| t calc>t tablas, dif sig | No tiene significancia | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-22 Prueba de t student entre la presión 18-presion 23

| | Receta 9 | Receta 10 | Receta 1 | Receta 16 |
|------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Presión 18 | 26,27 | 26,15 | 25,77 | 24,3 |
| Presión 21 | 27,71 | 26,74 | 26,13 | 25,25 |
| Presión 23 | 28,16 | 26,69 | 26,58 | 25,66 |
| dif18*23 | 1,89 | 0,54 | 0,81 | 1,36 |
| D | 1,15 | | | |
| varianza | 0,36 | | | |
| desviación estándar | 0,60 | | | |
| t calculada | 3,83 | | | |
| t tablas | 3,82 | | | |
| t calc>t tablas, dif sig | Tiene significancia | | | |

Fuente: Elaboración propia

Mediante la prueba t student se pudo observar que no existe una diferencia significativa entre la receta y la presión (tabla II-20 y tabla II-21), mientras que en la tabla II-22 se puede observar que la influencia es significativa pero la cantidad es mínima, por lo que se plantea realizar la prueba industrial con la presión estándar de trabajo de la Cerámica Coboce de 21 kg/cm² con la nueva receta propuesta más

óptima que se efectuó en laboratorio, siendo la receta propuesta 9 con el fin de obtener los resultados óptimos de sus indicadores y poder hacer una comparación con la receta actual cumpliendo con las Normas Bolivianas.

2. 5 Receta propuesta óptima

Receta propuesta 9

- Resultados realizados en el laboratorio de control de calidad.

Tabla II-23 Receta propuesta 9

| RECETA PROPUESTA N° 9 | % | Masa (g) | Presión (kg/cm²) |
|----------------------------------|----------|-----------------|--|
| Arcilla plástica | 45 | 270 | 21 |
| Arcilla arenosa | 15 | 90 | |
| Arcilla semi plástica | 30 | 180 | |
| Arcilla puzolana | 10 | 60 | |
| Total | 100 | 600 | |

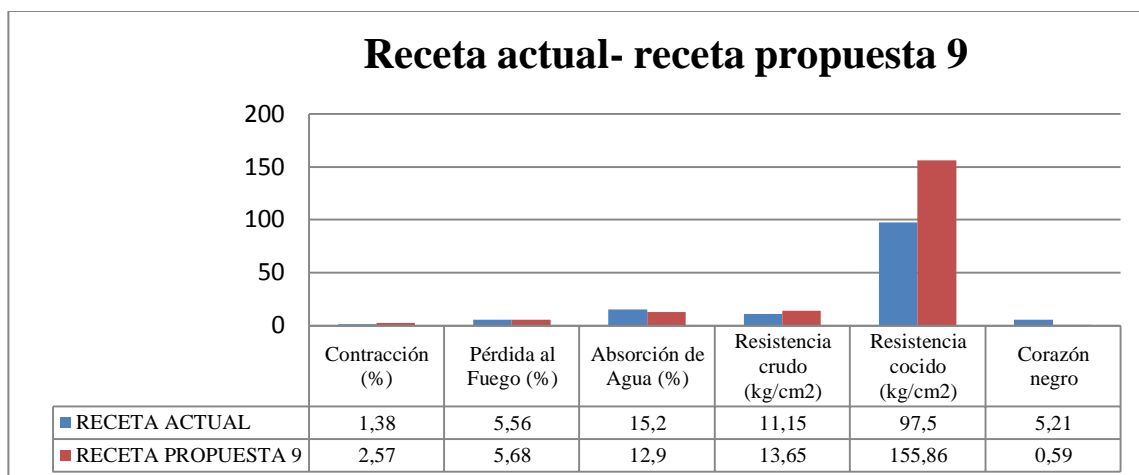
Fuente: Elaboración Propia

Tabla II-24 Datos de los indicadores de la prueba en laboratorio de la receta actual - receta propuesta 9

| FÓRMULA | Contracción (%) | Pérdida al fuego (%) | Absorción de agua (%) | Resistencia crudo (kg/cm²) | Resistencia cocido (kg/cm²) | Corazón negro (%) |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Receta actual | 1,38 | 5,56 | 15,2 | 11,15 | 97,5 | 5,21 |
| Receta propuesta 9 | 2,57 | 5,68 | 12,9 | 13,65 | 155,86 | 0,59 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4 Receta actual- receta propuesta 9



- Resultados de pruebas realizadas industrialmente, empleados en piezas cerámicas de 32x32 cm producto Parquet pino y bizcocho, a una temperatura de 1150 °C. (**Anexo E**, datos de la prueba industrialmente).

Tabla II-25 Datos de los indicadores de la prueba industrial de la receta actual- receta propuesta 9

| | Contracción % | Pérdida al fuego % | Absorción de agua % | Resistencia en crudo kg/cm ² | Resistencia en cocido kg/cm ² | Corazón negro |
|---|---------------|--------------------|---------------------|---|--|---------------|
| Parquet 32x32 cm Receta actual | 5,87 | 6,74 | 6,27 | 0,664 | 10,85 | 18,243 |
| Parquet pino 32x32 cm Receta Propuesta 9 | 5,91 | 6,85 | 4,35 | 0,731 | 13,09 | 3,425 |
| Bizcocho 32x32 cm Receta actual | 5,89 | 5,73 | 6,36 | 0,629 | 9,37 | 20,652 |
| Bizcocho 32x32cm Receta propuesta 9 | 6 | 9,52 | 4,52 | 0,752 | 10,97 | 4,286 |

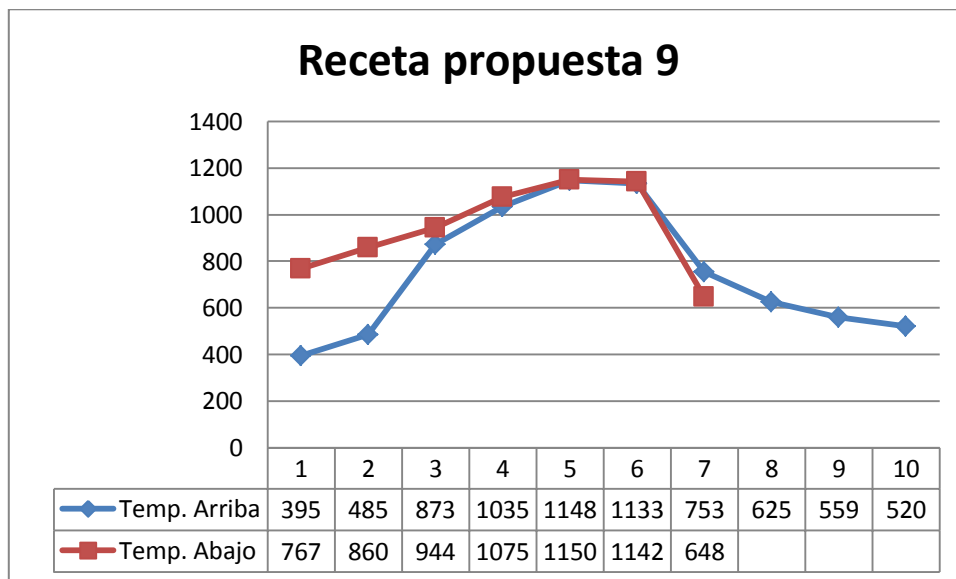
Fuente: Elaboración propia

Tabla II-26 Datos de la curva de la temperatura comparando la receta actual con la receta propuesta 9

| Receta propuesta 9 | Arriba | 1012 | 1022 | 1042 | 1052 | 1062 | 1072 | 1082 | 1092 | 1102 | 1112 | 1122 | 1132 |
|---------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hora | Temp. | 395 | 485 | | | 873 | 1035 | 1148 | 1133 | 753 | 625 | 559 | 520 |
| 14:15 | Set.point | 440 | 550 | | | 890 | 1060 | 1148 | 1134 | 750 | 625 | 560 | 520 |
| | Abajo | 1114 | | 1041 | 1051 | 1061 | 1071 | 1081 | 1091 | 1101 | 1111 | 1121 | 1131 |
| | Temp. | | | 767 | 860 | 944 | 1075 | 1150 | 1142 | | 648 | | |
| | Set.point | | | 825 | 900 | 980 | 1075 | 1150 | 1142 | | 610 | | |

Fuente: Panel de control de temperatura, horno B cerámica Coboce

Figura 2-5 Curva de la temperatura de la receta propuesta 9



2.6 Definición de condiciones y capacidad

2.6.1 Condiciones y capacidad en laboratorio

Para la realización de cada una de las propuestas de la receta de masa roja gres se necesita un total de 1200 gramos de arcilla, la cual está conformada por el porcentaje de

arcillas de la receta propuesta a realizar. El molino tiene una capacidad para moler 600 g de arcilla mezclando con 5 g de defloculante, 500 ml de agua y unas bolas de alúmina de diferentes diámetros, se debe realizar el procedimiento de moler dos veces.

Después de su molienda se deja secar la masa con el fin de poder tamizar y obtener un polvo atomizado para luego prensar y obtener 6 pastillas cada una con un peso de 145 g para poder realizar 3 pruebas en crudo y 3 pruebas en cocido, moldeado con un molde de 15 cm x 7 cm.

2.6.2 Condiciones y capacidad industrial

Industrialmente el acondicionamiento de la materia prima tiene una capacidad en cada uno de los molinos grandes de 9830 kg de arcilla que se mezcla con 4800 l de agua, 60 kg de defloculante y esferas de alúmina de diferente diámetros teniendo una duración de 1,5 h de molienda, mientras que para los molinos pequeños tiene una capacidad de 7830 kg de arcilla que se mezcla con 3700 l de agua, 50 kg de defloculante y esferas de alúmina de diferentes diámetros teniendo una duración de 2,5 h de molienda.

El atomizador tiene una capacidad para almacenar 7000 l, generando así un polvo atomizado al 6,5 % de humedad, luego es transportado a la prensa donde se moldea las piezas; el tamaño depende del tipo de formato que se esté produciendo para luego ser introducidas en el secadero donde la duración en esta etapa es de 15 min. Luego pasa a esmaltación, serigrafía y posteriormente al horno para su cocción la cual es de 31 min a una temperatura de 1150 °C.

La Cerámica Coboce trabaja con tres líneas de producción cuya capacidad en cada horno de monoestrato de rodillos, son los siguientes:

1^{er} Horno con una capacidad de producción de 50000 m²/mes.

2^{do} Horno con una capacidad de producción de 150000 m²/mes.

3^{er} Horno con una capacidad de producción de 250000 m²/mes.

CAPÍTULO III

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

3.1 Balance de materia

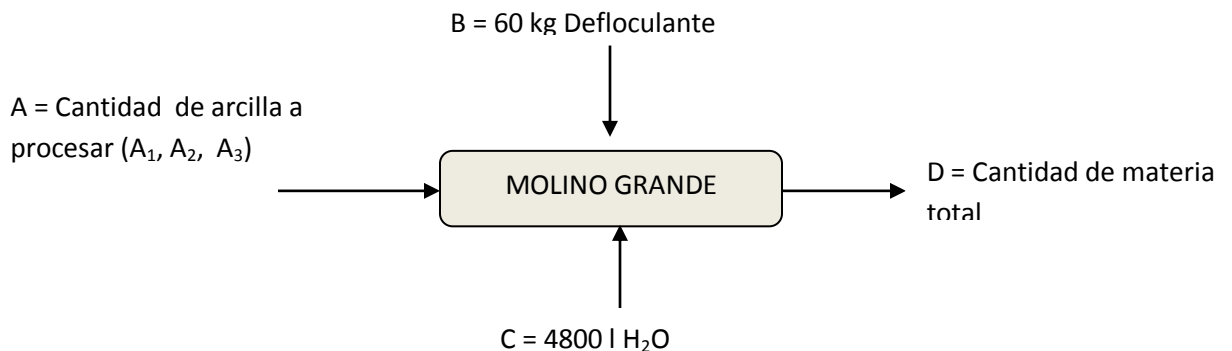
En la producción de las piezas cerámicas de la planta “Cerámica Coboce-Cbba”, se realiza el proceso mediante la liberación de arcillas, que es la incorporación de las arcillas a la planta, con esta materia prima se lleva a cabo el proceso hasta obtener el producto final, y para esto se realizó un balance global por día.

Para fines de seguimiento y evaluación de la planta, se debe estandarizar las unidades de medición (litros, kilogramos o toneladas): la unidad de tiempo (por hora, día, mes o año) y la referencia para calcular los consumos específicos (por unidad de producción).

3.2 Balance de materia del sector de barbotina por día

3.2.1 Proceso del molino grande y molino pequeño

En este proceso para el desarrollo de las piezas cerámicas, empieza con el ingreso de la materia prima que es depositada en unos molinos de bolas, en cerámica Coboce se trabaja con dos tamaños de molinos, analizaremos primero el balance de masa de los molinos grandes donde se deposita 9830 kg de arcillas de la receta actual, este proceso de molienda tiene un duración de 1,5 h.



Balance Global:

$$A + B + C = D$$

Donde:

A= Cantidad de arcilla total, siendo:

A₁= Cantidad de arcilla plástica

B = Cantidad de defloculante

A₂= Cantidad de arcilla arenosa

C = Cantidad de agua

A₃= Cantidad de arcilla semi plástica

D= Cantidad total de masa

-La Cantidad total de arcilla por molino grande = 9830 kg

Calcular la cantidad de masa de arcilla plástica al 48 % utilizada en el molino:

$$A_1 \text{ Arcilla plástica} = M_{\text{Total Arcilla}} * X_{\text{Arcilla plástica}} = 9830 \text{ kg} * 0,48$$

$$A_1 \text{ Arcilla plástica} = 4718,4 \text{ kg}$$

Calcular la cantidad de masa de arcilla arenosa al 27 % utilizada en el molino:

$$A_2 \text{ Arcilla arenosa} = M_{\text{Total Arcilla}} * X_{\text{Arcilla arenosa}} = 9830 \text{ kg} * 0,27$$

$$A_2 \text{ Arcilla arenosa} = 2654,1 \text{ kg}$$

Calcular la cantidad de masa de arcilla semi plástica al 25 % utilizada en el molino:

$$A_3 \text{ Arcilla semi plástica} = M_{\text{Total Arcilla}} * X_{\text{Arcilla semi plástica}} = 9830 \text{ kg} * 0,25$$

$$A_3 \text{ Arcilla semi plástica} = 2457,5 \text{ kg}$$

Calculamos la cantidad de masa de H₂O, mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{V_{\text{agua}}}$$

Sabiendo que la densidad del agua es $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ convirtiéndolo en litros sería $1 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$.

Despejo m_{agua} :

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}}$$

$$C = m_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4800 \text{ l} = 4800 \text{ kg}$$

Cantidad total de masa que se utiliza en el molino grande de materia prima

Después de haber calculado la cantidad de arcilla (arcilla plástica, arcilla arenosa, arcilla semi plástica), cantidad de masa del agua y teniendo como dato la masa de defloculante, podemos saber la cantidad exacta que se utiliza en el molino grande.

$$A + B + C = D$$

$$(A_1 + A_2 + A_3) + B + C = D$$

$$9830 \text{ kg} + 60 \text{ kg} + 4800 \text{ kg} = D$$

$$D = 14690 \text{ kg}$$

Se realiza el proceso de molienda en los molinos grandes 4 veces por día en 2 molinos, siendo un total de masa:

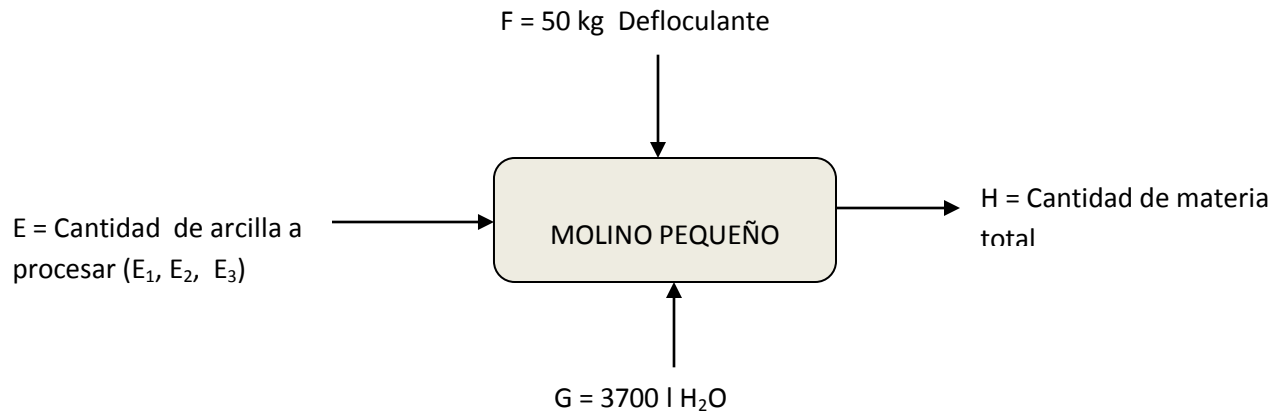
Total de materia prima molida en los 2 molinos grandes:

$$14690 \text{ kg} * 2 = 29380 \text{ kg}$$

Total de materia molida en los molinos grandes por día:

$$M_1 = 29380 \text{ kg} * 4 = 117520 \text{ kg}$$

En toneladas sería 117,52 t.



-Balance Global:

$$E + F + G = H$$

Donde:

E= Cantidad de arcilla total, siendo:

E_1 = Cantidad de arcilla plástica

F = Cantidad de defloculante

E_2 = Cantidad de arcilla arenosa

G = Cantidad de agua

E_3 = Cantidad de arcilla semi plástica

H= Cantidad total de masa

La cantidad total de arcilla por molino pequeño = 7830 kg

Calcular la cantidad de masa de arcilla plástica al 48 % utilizada en el molino:

$$E_1 \text{ Arcilla plástica} = M_{\text{Total Arcilla}} * X_{\text{Arcilla plástica}} = 7830 \text{ kg} * 0,48$$

$$E_1 \text{ Arcilla plástica} = 3758,4 \text{ kg}$$

Calcular la cantidad de masa de arcilla arenosa al 27 % utilizada en el molino:

$$E_2 \text{ Arcilla arenosa} = M_{\text{Total Arcilla}} * X_{\text{Arcilla arenosa}} = 7830 \text{ kg} * 0,27$$

$$E_2 \text{ Arcilla arenosa} = 2114,1 \text{ kg}$$

Calcular la cantidad de masa de arcilla semi plástica al 25 % utilizada en el molino:

$$E_3 \text{ Arcilla semi plástica} = M_{\text{Total Arcilla}} * X_{\text{Arcilla semi plástica}} = 7830 \text{ kg} * 0,25$$

$$E_3 \text{ Arcilla semi plástica} = 1957,5 \text{ kg}$$

Calculamos la cantidad de masa de H₂O, mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{V_{\text{agua}}}$$

Sabiendo que la densidad del agua es $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ convirtiéndolo en litros sería $1 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$.

Despejo m_{agua} :

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}}$$

$$G = m_{\text{agua}} = \frac{1 \text{ kg}}{\text{l}} * 3700 \text{ l} = 3700 \text{ kg}$$

Cantidad total de masa que se utiliza en el molino pequeño de materia prima

Después de haber calculado la cantidad de arcilla (arcilla plástica, arcilla arenosa, arcilla semi plástica), cantidad de masa del agua y teniendo como dato la masa de defloculante, podemos saber la cantidad exacta que se utiliza por molino.

$$E + F + G = H$$

$$(E_1 + E_2 + E_3) + F + G = H$$

$$H = (3758,4\text{kg} + 2114,1 \text{ kg} + 1957,5 \text{ kg}) + 50 \text{ kg} + 3700 \text{ kg}$$

$$H = 11580 \text{ kg}$$

Se realiza el proceso de molienda en los molinos pequeños 3 veces por día en 5 molinos, duración de cada molienda de 2,5 horas, siendo un total de masa:

Total de materia prima molida en los 5 molinos pequeños:

$$11580 \text{ kg} * 5 = 57900 \text{ kg}$$

Total de materia molida en un día:

$$M_2 = 57900 \text{ kg} * 3 = 173700 \text{ kg}$$

En toneladas sería 173,7 t.

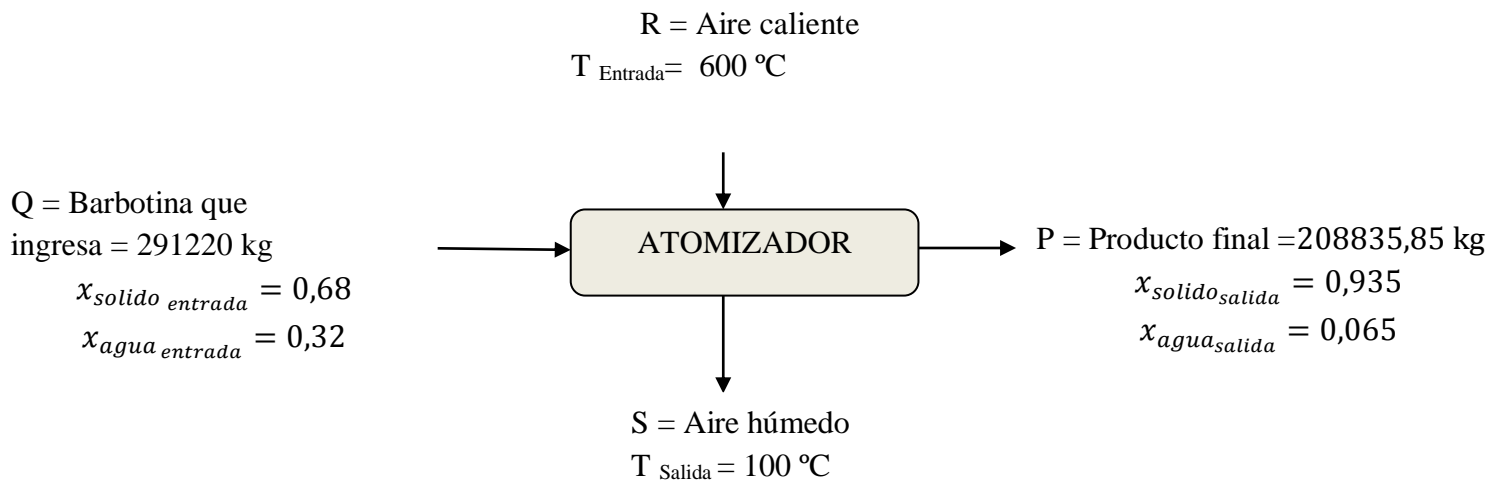
Cantidad de materia prima que se emplea en la cerámica Coboce por día en la molienda

$$M_{\text{Total}} = M_1 + M_2 = 117520 \text{ kg} + 173700 \text{ kg}$$

$$M_{\text{Total}} = 291220 \text{ kg en toneladas sería } 291,22 \text{ t}$$

3.2.2 Balance de materia y energía en el proceso del atomizado

3.2.2.1 Balance de materia del proceso de atomizador



Balance general

$$Q + R = S + P$$

Donde:

Q = Cant. de barbotina que ingresa.

S = Cant. de aire húmedo

R= Cant. de aire caliente

P = Cant. de polvo atomizado

Corriente Q

Cantidad de arcilla que ingresa en la corriente Q

$$m_{\text{Arcilla Q}} = Q * x_{\text{arcilla Q}} = 291220 \text{ kg} * 0,6733 = 196090 \text{ kg}$$

Cantidad de agua que ingresa en la corriente Q

$$m_{\text{Agua Q}} = Q * x_{\text{agua Q}} = 291220 * 0,3224 = 93900 \text{ kg}$$

Corriente P

Calcular la cantidad que sale de la corriente P

$$m_{\text{Agua P}} = m_{\text{Arcilla Q}} * x_{\text{Agua P}} = 196090 \text{ kg} * 0,065 = 12745,85 \text{ kg}$$

$$P = m_{\text{Arcilla Q}} * 1,065 = 196090 \text{ kg} * 1,065 = 208835,85 \text{ kg}$$

El valor de la densidad de polvo atomizado se obtiene realizando una prueba en laboratorio, la cual consiste en tomar una pequeña cantidad del polvo atomizado y colocar en una probeta de 100 ml, sabiendo la fórmula de la densidad calculamos:

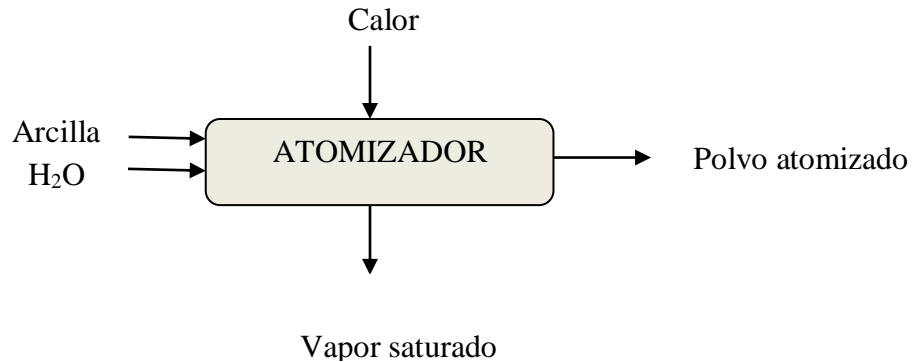
$$\rho_{\text{polvo atomizado}} = \frac{m}{v} = \frac{114,4 \text{ g}}{100 \text{ ml}} = 1,144 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1,144 \text{ kg/l}$$

Corriente S

En la corriente S existe una cantidad de agua, a la temperatura de 100 °C hay vapor saturado.

$$S = m_{\text{Agua Q}} - m_{\text{Agua P}} = 93900 \text{ kg} - 12745,85 \text{ kg} = 81154,15 \text{ kg}$$

3.2.2.2 Balance de energía del proceso de atomizador



Hallar las entalpías mediante tablas de termodinámica:

Temperatura corriente de vapor = 100 °C, mediante tabla H $H^{\text{Vapor saturado}} = 2676,0 \text{ kJ/kg}$

Temperatura ambiente = 20 °C, mediante tabla H $H^{\text{Líquido saturado}} = 83,86 \text{ kJ/kg}$

Calcular el calor de los componentes:

Para la arcilla:

$$Q_1 = \text{Flujo masico}_{\text{Arcilla}} * C_{p\text{Arcilla}} * \Delta T$$

$$Q_1 = 196090 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,23 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 3,608 \times 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

Para el agua:

$$Q_2 = \text{Flujo masico}_{\text{Agua}} * (H_{\text{vapor saturado}} - H_{\text{liquido saturado}})$$

$$Q_2 = 81154,15 \text{ kg} * \left(2676,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 83,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 2,103 \times 10^8 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}$$

Calcular el calor total:

Convertir el Q_2 a kcal/día

$$2,103 \times 10^8 \frac{\text{kJ}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ kcal}}{4,184 \text{ kJ}} = 5,026 \times 10^7 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{Total}} = Q_1 + Q_2 = 3,608 \times 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} + 5,026 \times 10^7 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{Total}} = 5,387 \times 10^7 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

Figura 3-1

BALANCE DE MATERIA

ETAPA DE BARBOTINA

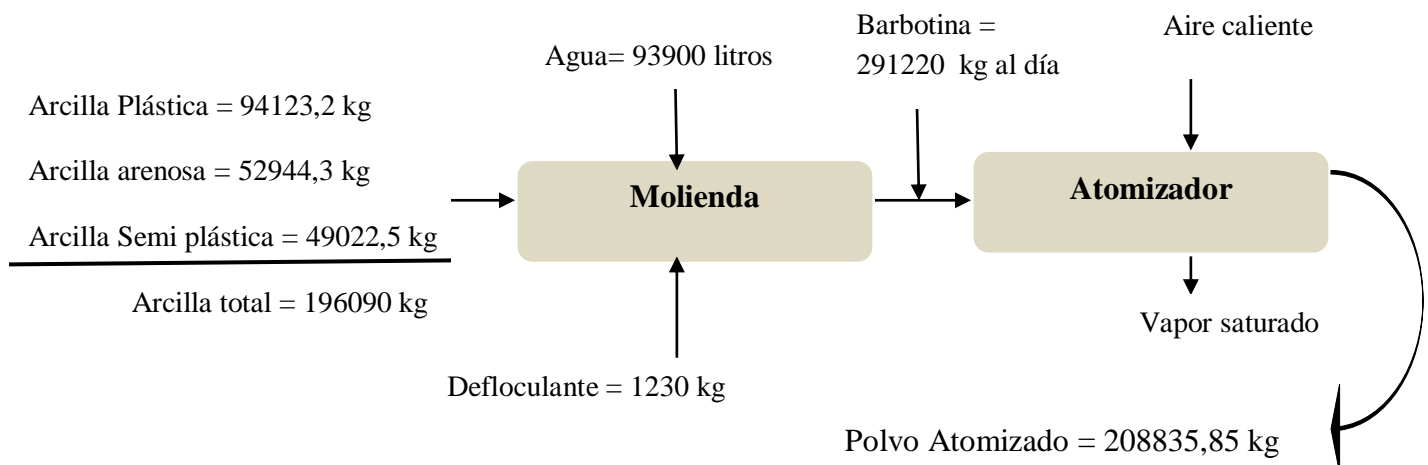
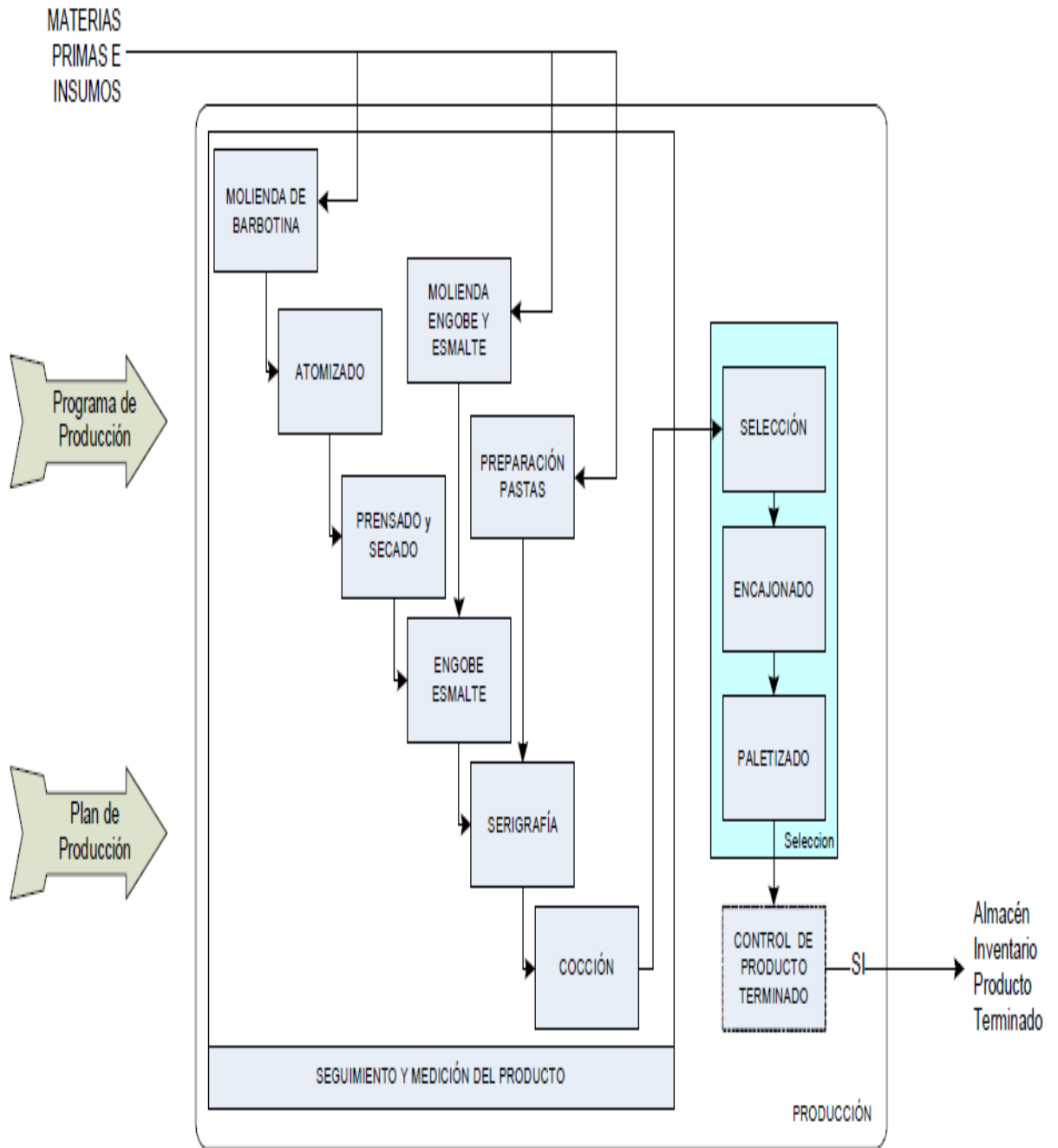


Figura 3-2 Diagrama de flujo del Proceso Productivo de Cerámica COBOCE



Fuente: Elaboración Propia (2015)

CAPÍTULO IV

ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS

4.1 Especificación de equipos

En este punto se describe y especifica los equipos más importantes que se utilizan en el proceso de fabricación de pisos y revestimientos.

Entre los principales equipos y máquinas que se emplean en el sector de barbotina donde se realiza la preparación de la receta de la masa roja gres, podemos citar los siguientes: molino de bolas, atomizador y silos.

4.1.1 Molino de bolas

El molino de bolas se utiliza ampliamente en la industria de cerámica para la trituración de la mezcla de la masa roja gres que es conformada por arcilla, defloculante y agua, también es empleado para moler engobes y esmaltes para el proceso de esmaltación.

Es una máquina que tiene un cilindro rotatorio que contiene bolas de alúmina, que actúan como medio moledor. El material para ser molido es colocado en el molino, que gira a una velocidad entre 4 y 20 revoluciones por minuto, dependiendo del diámetro del mismo; en la Cerámica Coboce se usa dos tamaños de molinos: aproximadamente el grande de 2 m de diámetro y el molino pequeño de 1,25 m. Mientras mayor sea el diámetro del molino cilíndrico, menor es la velocidad de rotación. El giro produce fuerzas centrífugas que levantan las bolas a una altura dada haciéndolas caer de vuelta en el cilindro y el material para ser molido, es mezclado y aplastado por el medio moledor (bolas de alúmina de diferentes diámetros) como resultado de la rotación.

El molino de bolas rota a una velocidad específica causando el choque de las bolas y la masa formando un lodo consistente, esto puede tomar entre 1,5 o 2,5 horas dependiendo del tamaño del molino. Sin embargo, mientras más largo sea el tiempo

de funcionamiento del molino de bolas, más fino será el producto. El alto grado de molienda se debe a la gran interacción entre las fuerzas de choques y fricción, después de realizarse la molienda se puede retirar la masa del molino para realizar los siguientes procesos de control de viscosidad, densidad y residuo de la barbotina.

-Principio de funcionamiento del molino de bolas:

1. Un molino de bolas tiene un cilindro rotatorio que es montado horizontalmente y es controlado (conducido) por un engranaje externo.
2. La rotación del cilindro horizontal crea fuerzas centrífugas que elevan las bolas a una altura certera donde vuelven a caer, molturando a la materia prima. El material molido es descargado.

El proceso de molienda en la cerámica Coboce es por carga. El molino grande tiene una capacidad de materia prima por carga de 14,69 t y el molino pequeño tiene una capacidad de materia prima por carga de 11,58 t.

4.1.2 Atomizador

El atomizador es un equipo que se emplea para producir una fina pulverización de la barbotina para obtener un polvo atomizado, tiene una capacidad de evaporación de 7000 litros de agua por hora.

En este equipo se produce la vaporización del agua presente en la mezcla, calentando adecuadamente el aire caliente con el uso de gas natural, para producir un producto sólido con bajo contenido de agua. El contenido de humedad presente en la suspensión al inicio del proceso de atomización es de 32 % y este contenido de agua después reduce a 6,5 % de humedad.

El equipo del atomizador cuenta con las siguientes partes:

-La bomba de pistón de porcelana.- usada para la alimentación de la pasta líquida por medio del tubo pulverizador.

La bomba posee los elementos como pistones de porcelana de acción directa, complementa una válvula de aspiración y descarga, es un acumulador hidroneumático con un manómetro incorporado que mide la presión de bomba.

Tabla IV-1 Condiciones operacionales del atomizador

| | Atomizador 1 |
|----------------------|---------------------|
| Presión de bomba 1 | 50 bares |
| Presión de bomba 2 | 50 bares |
| Alimentación de masa | 291,22 t/día |
| Potencia instalada | 125 Hp |
| Pistones instalados | 12 |

Fuente: Placa características del equipo atomizador Coboce cerámica Ltda. 2015

- Tuberías del transporte de la masa.- Son de acero inoxidable por donde la bomba envía la barbotina hacia las boquillas rociadores. En el sistema de conductos se insertan dos filtros.

Existen dos válvulas que operan manualmente, las que nos permiten la exclusión de cada filtro, para permitir de esta manera la limpieza de cada filtro.

-Anillos de la torre porta boquillas rociadoras.- Estos anillos contienen las boquillas rociadoras que son acero inoxidable; sus características son:

Tabla IV-2 Características de las pastillas del atomizador

| | Atomizador 1 |
|---------------------------------|---------------------|
| Diámetro de anillo | 18,8 mm |
| Las lanzas de los números | ----- |
| Números de boquillas instaladas | 9 |

Fuente: Sector Barbotina Coboce Cerámica Ltda. 2015.

Las boquillas ubicadas en el anillo distribuidor o en lanzas radiales, pulverizan la mezcla de agua y arcilla; los elementos que forman parte del atomizador son: el electroventilador de presurización empuja el aire a través del quemador que lo calienta a lo largo de una tubería de acero aislada térmicamente y en el distribuidor anular que lo pone en rotación dentro de la torre de secado.

-Torre de desecamiento.- Está compuesta por las siguientes partes:

- Una boca de entrada del aire caliente: Construida según las condiciones de producción dependiendo del modelo de la torre.
- Una puerta de control: Para verificar el perfecto funcionamiento del aire caliente, una ventanilla de control visual para el operador, así éste pueda verificar una correcta atomización y secado.
- Una boca de aspiración de aire húmedo: Para disminuir la temperatura, está construida en acero inoxidable AISI 304 para evitar la formación de grandes cantidades de polvos sobre la torre.
- Conductos de salida del polvo fino: Conecta la torre de desecamiento a los separadores de los ciclones, los que se construyeron en acero AISI 304.
- La válvula: Es construida en acero inoxidable AISI 304, que controla la cantidad correcta de aire que necesita la torre.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Determinación del costo de producción

El costo de producción en Coboce Cerámica Ltda. para la elaboración de la receta de la masa roja gres comienza con la incorporación de la materia prima (arcilla y defloculante) de una aproximación de arcilla plástica 94,12 t, arcilla arenosa 52,94 t, arcilla semi plástica 49,02 t y defloculante 1,23 t, siendo estas cantidades empleadas para la producción de pisos y revestimiento de un día en un proceso continuo.

La determinación del costo de producción está basada para un proceso continuo, es decir, en la planta se trabaja las 24 horas los 7 días de la semana, por lo cual se realizan tres turnos de trabajo cada uno de 8 horas hábiles de trabajo; para calcular la producción de pisos y revestimiento por mes se toma en cuenta como base 30 días hábiles de trabajo y para el análisis económico se considera el tipo de cambio del dólar que en estos momentos se encuentra en 6,96 Bs.

Para el proceso de producción de cerámica de pisos y revestimiento se lleva a cabo la liberación de arcillas que están expuestas en canteras a cielo abierto que luego son transportadas a la planta para la elaboración de la receta de la masa roja gres que luego para seguir su proceso de producción pasa por el sector de molienda, atomizado, silos, prensa, secadero, engobe y esmaltes, serigrafía y finalmente al horno para la cocción de sus piezas. Los costos que se consideran para la producción de pisos y revestimiento, se detallan a continuación:

- Costo de materia prima e insumos
- Costo de agua
- Costo de gas natural
- Costo de energía eléctrica
- Costo de materiales y servicios
- Costo mano de obra

5.1.1 Costo de la materia prima e insumos

El costo de la materia prima en el caso de las arcillas depende de la distancia donde se trae la arcilla, es decir, si la cantera de la arcilla se encuentra lejos de la planta el costo será mayor, por lo tanto el costo de la arcilla plástica es de 60 Bs por 1m^3 con una densidad de 1,609 g/ml, arcilla arenosa es de 40 Bs por 1m^3 con una densidad de 1,616 g/ml, arcilla de puzolana es de 45 Bs por 1m^3 con una densidad de 1,251 g/ml y la arcilla semi plástica es de 65 Bs por 1m^3 con una densidad de 1,454 g/ml; el costo de combustible del vehículo por su servicio de transporte de la materia prima a la planta va incluida en el pago que se realiza al proveedor de la materia. Son arcillas explotadas de las diferentes provincias del departamento de Cochabamba.

El costo del defloculante es importante porque es un aditivo que se utiliza en la molienda de las arcillas. El agua forma una parte importante para la elaboración de la receta de la masa roja gres en la cerámica, se emplea principalmente en el sector de barbotina para la molienda de la materia prima.

El reúman es un aditivo poco utilizado en el sector de barbotina porque su costo es elevado, se lo utiliza solamente en ocasiones cuando el defloculante no es suficiente para bajar la viscosidad de la masa preparada en los molinos giratorios.

Tabla V-1 Precio de la materia prima e insumos por día de la receta actual

| Costo de materia prima e insumo (Receta antigua) | | | | | |
|--|--------------|----------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Producto | Unidad | Cantidad total | Cantidad unitaria | Precio unitario (Bs) | Importe (Bs) |
| Arc. Plástica | kg | 94123,2 | 1609 | 60,00 | 3509,88 |
| Arc. Arenosa | kg | 52944,3 | 1616 | 40,00 | 1310,50 |
| Arc. Semi plástica | kg | 49022,5 | 1454 | 65,00 | 2191,51 |
| Defloculante | kg | 1230 | 1 | 3,83 | 4708,44 |
| Reúman | kg | 30 | 1 | 13,02 | 390,46 |
| Agua | m^3 | 93,9 | | | 478,08 |
| Total | | | | | 12588,87 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos de la Coboce Cerámica Ltda.)

Tabla V-2 Precio de la materia prima e insumos por día de la receta propuesta

| Costo de materia prima e insumo (Receta nueva) | | | | | |
|---|----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Producto | Unidad | Cantidad total | Cantidad unitaria | Precio unitario (Bs) | Importe (Bs) |
| Arc. Plástica | kg | 88240,5 | 1609 | 60 | 3290,51 |
| Arc. Arenosa | kg | 29413,5 | 1616 | 40 | 728,06 |
| Arc. Semi plástica | kg | 58827 | 1454 | 65 | 2629,82 |
| Arc .Puzolana | kg | 19609 | 1251 | 45 | 705,36 |
| Defloculante | kg | 1230 | 1 | 3,83 | 4710,90 |
| Reúman | kg | 30 | 1 | 13,02 | 390,46 |
| Agua | m ³ | 93,9 | | | 478,08 |
| Total | | | | | 12933,18 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos de la Coboce Cerámica, Ltda.)

5.1.2 Costo de Agua

El consumo de agua es utilizada en los molinos para la preparación de engobe - esmaltes, laboratorio, limpieza y otros servicios.

Se detallan los costos de agua en la siguiente tabla:

Tabla V-3 Precio del agua por día

| Costo de agua | | | |
|---|-------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Requerimiento | Consumo (Litros) | Consumo 1m³= 1000 l | Importe (Bs) |
| Agua (molinos sección esmalte y engobe) | 15000 | 15 | |
| Agua (laboratorio) | 50 | 0,05 | |
| Limpieza y otros servicios | 900 | 0,9 | |
| Total (día) | | 15,95 | 88,33 |
| Total (mes) | | 478,50 | 2650 |

Fuente: Elaboración Propia (Coboce Cerámica Ltda.)

Tabla V-4 Datos costos de servicio de SEMAPA por mes

| Datos SEMAPA (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Cochabamba) | Monto del servicio (Bs) | Monto total (Bs) |
|--|--------------------------------|-------------------------|
| Carga fija | 15 | 15 |
| Consumo | | |
| 0-10 m ³ | 1,3 | 13,00 |
| 11-40 m ³ | 2,8 | 112,00 |
| 41 m ³ - mas | 5 | 2142,50 |
| Reposición de comprobante | 1,5 | 1,50 |
| Alcantarillado | 12 | 12 |
| Monto industrial | 354 | 354 |
| Total al mes | | 2650,00 |
| Total día | | 88,33 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos SEMAPA)

El costo del consumo de agua se paga como servicio industrial, fijando un monto mensual de 380,75 \$us, equivalente a 2650 Bs y estableciéndose como consumo diario 88,33 Bs.

5.1.3 Costo del gas natural

El consumo de gas natural se da en los siguientes equipos: el atomizador para poder obtener un polvo atomizado de la masa para luego ser almacenado en los silos, secadero de la línea A, secadero de la línea B, secadero de la línea C, horno A, horno B, horno C y la cocina para las pruebas de absorción de agua de las piezas que se realiza para el control de calidad del producto terminado.

El pago del gas natural por mes de consumo es de 1538,79 \$us, equivalente a 10710 Bs, pagando un consumo de 357 Bs por día.

5.1.4 Costo de energía eléctrica

En Cerámica Coboce el consumo de energía eléctrica se da en los siguientes equipos: el atomizador, 2 molinos grandes, 5 molinos pequeños, 3 prensas: prensa A (formato de 32x32 cm), prensa B (formato de 32x32 cm), prensa C (formatos de 30x45 cm, 41x41 cm, 50x50 cm y 60x60 cm), 3 hornos: horno A (capacidad de

producción de 5000 m²/día), horno B (capacidad de producción de 1666 m²/día), horno C (capacidad de producción de 8333 m²/día) y en la iluminación del área de la fábrica.

El costo de energía eléctrica promedio que se gasta por mes, es de 8603,45 \$us, equivalente a 59880 Bs, dando como resultado el costo por día de 1996 Bs.

5.1.5 Costo de materiales de laboratorio

Los materiales que se utilizan en el laboratorio de control de calidad en Coboce cerámica para su control de producción se muestran en la siguiente tabla:

Tabla V-5 Precio de materiales

| Costo de materiales de laboratorio y servicios | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|---------------------|
| Producto | Cantidad | Precio Unitario (Bs) | Importe (Bs) |
| Tamiz Tyler N ° 230 y N° 325 | 2 | 100 | 200 |
| Probeta 100 ml, 50 ml | 2 | 10 | 20 |
| Picnómetro | 1 | 1062,03 | 1062,03 |
| Viscosímetro Copa Ford | 1 | 1260,04 | 1260,04 |
| Embudo | 1 | 5 | 5 |
| Molino (Laboratorio) | 1 | 83520 | 83520 |
| Prensa (Laboratorio) | 1 | 2088 | 2088 |
| Total | | | 88155,07 |

Fuente: Elaboración Propia (Dato Coboce Cerámica Ltda.)

5.1.6 Costo de mano de obra

El costo del personal o mano de obra que trabaja en la producción de piso y revestimiento se detalla en la siguiente tabla:

Tabla V-6 Precio de la mano de obra

| Costo de mano de obra | | | |
|------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| Personal | Cantidad | Sueldo (Bs) | Importe (Bs) |
| Obreros | 150 | 3000 | 450000 |
| Jefes | 30 | 6000 | 180000 |
| Total/mes | | | 630000 |
| Total /día | | | 21000 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos Coboce Cerámica Ltda.)

5.1.7 Depreciación

Para el cálculo de la depreciación, se puede emplear algunos métodos como ser: la línea recta, la suma de dígitos y métodos de unidades de producción entre otros.

El método de la línea recta que se realizará para este proyecto, es el método más utilizado en las empresas, consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo.

$$\text{Método de línea recta} = \frac{\text{Valor activo}}{\text{Vida útil}}$$

Los valores de la depreciación anual, valor de compra de los materiales y equipos (activos fijos) y la vida útil de los mismos, se detallan en la tabla V-7.

Tabla V- 7 Cálculo de la Depreciación (En \$us)

| Cálculo de Depreciación | | | |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Detalle | Valor de compra | Vida útil (Años) | Depreciación anual |
| Tamiz Tyler N ° 230 y N° 325 | 28,73 | 1 | 28,73 |
| Probeta 100 ml y 50 ml | 2,87 | 1 | 2,87 |
| Molino (Laboratorio) | 12000 | 12 | 1000 |
| Prensa (Laboratorio) | 300 | 4 | 75 |
| Flexímetro (Máquina de ruptura) | 6966,75 | 10 | 696,68 |
| Viscosímetro Copa Ford | 181,04 | 3 | 60,35 |
| Picnómetro | 152,59 | 3 | 50,86 |
| Máquina vibratoria granulometría | 1753,26 | 5 | 350,65 |
| Horno Industrial | 40.000,00 | 20 | 2000 |
| Bombas | 350 | 5 | 70 |
| Válvulas, instrumentos y accesorios | 1000 | 10 | 100 |
| Balanza | 65 | 2 | 32,5 |
| Total | | | 4467,64 |

Fuente: Elaboración propia (Datos de Coboce Cerámica Ltda.)

Tabla V- 8 Depreciación por año y día en Bs

| Depreciación por año (\$us) | Depreciación por año (Bs) | Depreciación por día (Bs) |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 4467,64 | 31094,77 | 86,37 |

Fuente: Elaboración Propia

5.1.8 Resumen de costos

El resumen de los costos de producción de pisos y revestimiento de Coboce Cerámica se presenta en la tabla V-9 (Receta actual) y V-10 (Receta propuesta).

Tabla V-9 Resumen de costos de la receta actual

| Resumen de costos receta actual (Bs) | | |
|---|-----------------|---------------------|
| Detalles | Día | Mes |
| Materia prima e insumos | 12588,87 | 377666,1 |
| Agua | 296,49 | 8894,7 |
| Gas natural | 357 | 10710 |
| Energía eléctrica | 1996 | 59880 |
| Mano de obra | 21000 | 630000 |
| Depreciación | 86,37 | 2591,1 |
| Totales | 36324,73 | 1.089.741,90 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos de Coboce Cerámica Ltda.)

Tabla V-10 Resumen de costos de la receta propuesta

| Resumen de costos receta propuesta (Bs) | | |
|--|-----------------|--------------------|
| Detalles | Día | Mes |
| Materia prima e insumos | 12933,18 | 387995,4 |
| Agua | 296,49 | 8894,7 |
| Gas natural | 357 | 10710 |
| Energía eléctrica | 1996 | 59880 |
| Mano de obra | 21000 | 630000 |
| Depreciación | 86,37 | 2591,1 |
| Totales | 36669,04 | 1.100.071,2 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos de Coboce Cerámica Ltda.)

5.2 Análisis económico actual de Coboce Cerámica

Actualmente el costo de operación en Cerámica Coboce por día se representa de la siguiente manera:

Costo de producción por día= costo de materia prima e insumos + costo de agua + costo del gas natural + costo de energía eléctrica + costo de mano de obra + depreciación = 36324,73 Bs.

Para estimar la ganancia por día, es necesario realizar cálculos, tomando en cuenta la cantidad de producción de pisos y revestimiento que se realiza en cada horno; en la siguiente tabla V-11 se detalla la capacidad de producción de cada horno, tomando en cuenta el 2 % como producto perdido:

Tabla V-11 Capacidad de producción por mes de pisos y revestimiento en cada horno

| | Capacidad de producción mensual | Capacidad de producción por día (m ²) | Tiempo de producción | Formato de producción (cm) | Costo unitario del producto (1m ²)=Bs | Costo por semana del producto (Bs) |
|-------------------------|---------------------------------|---|----------------------|----------------------------|---|------------------------------------|
| Horno 1 | 50000 m ² | 1666 | 1 semana | 20x30 | 38 | 443156 |
| | | | 3 semanas | 32x32 | 38 | 1329468 |
| Horno2 | 150000 m ² | 5000 | 4 semana | 32x32 | 38 | 5700000 |
| Horno 3 | 250000 m ² | 8333 | 1 semana | 30x45 | 48 | 2799888 |
| | | | 1 semana | 41x41 | 48 | 2799888 |
| | | | 2 semanas | 50x50 | 65 | 7583030 |
| Total mensual Bs | | | | | | 20655430 |
| Total día Bs | | | | | | 688514,33 |

Fuente: Elaboración Propia

La ganancia bruta por la producción de pisos y revestimiento es la diferencia entre el monto resultante de la venta del producto terminado y el costo de producción por día, siendo:

Ganancia bruta = venta del producto terminado – costo de producción al día

$$\text{Ganancia bruta} = 688514,33 \text{ Bs} - 36324,73 \text{ Bs} = 652189,6 \text{ Bs}$$

En la tabla V-12 se muestra el análisis mensual de costo para la producción de pisos y revestimiento.

Tabla V-12 Análisis económico mensual en la producción de pisos y revestimiento en Coboce Cerámica Ltda.

| DETALLE | Cantidad m² | Venta neta de producto o de exportación Bs |
|--|-------------------------------|---|
| Total de cantidad de producción por mes | 450000 | - |
| Cantidad de venta en m ² (mercado interno) por día | 16468,8 | 524037,22 |
| Cantidad de venta en m ² (mercado externo) por día | 1051,2 | 28382,4 |
| Total de cantidad de venta por día | 17520 | 552419,62 |
| Cantidad de venta en m ² (mercado interno) por mes | 411720 | 13.100.930,4 |
| Cantidad de venta en m ² (mercado externo) por mes | 26280 | 709560 |
| Total de cantidad de venta por mes | 438000 | 13.810.490,4 |
| Utilidad bruta en ventas por día | - | 202553,86 |
| Utilidad bruta en ventas mensual | - | 6.076.615,78 |
| Utilidad operativa por día | - | 106980,83 |
| Utilidad operativa mensual | - | 3.209.424,99 |
| Utilidad neta por día | - | 108751,02 |
| Utilidad neta por mes | - | 3.262.530,47 |

Fuente: Elaboración Propia (Datos Coboce Cerámica Ltda., junio 2015)

5.3 Análisis económico antes y después de realizar la optimización de la receta de la masa roja gres

El costo para la fabricación de pisos y revestimientos antes de realizar la optimización de la receta de la masa roja gres, varía después de aplicar a la receta de la masa la incorporación de una arcilla fundente, es decir, la arcilla de puzolana que se agrega a la receta; la incorporación de esta arcilla en la receta de la masa roja gres mejora todos los indicadores de la pieza cerámica y se podrá lograr un producto final con mejor calidad en los pisos y revestimientos, ganando una mayor aceptación del producto en el mercado interno y externo, teniendo distribuidores en diferentes departamentos de Bolivia y clientes en el exterior como ser: Perú y Chile.

En la tabla V- 13 se observa la diferencia entre los costos de producción de antes y después de realizar la optimización.

Tabla V- 13 Análisis de los costos antes y después de realizar la optimización de la receta de la masa roja gres por día

| Detalle | Antes | Después |
|--|-------------|-------------|
| Costo de la fabricación de pisos y revestimiento por día | 36324,73 Bs | 36669,04 Bs |

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en las tablas V-9 y V-10 existe una diferencia entre el costo de producción antes y después de la optimización de la receta de la masa roja gres por día de 344,31 Bs, representa un aumento de costo de producción con relación a la receta actual pero se ganará un producto de mejor calidad; toda industria busca minimizar el costo de producción para poder obtener más ingresos económicos por la venta de sus productos sin tomar en cuenta la calidad del producto; sin embargo la

empresa Coboce Cerámica apuesta por la mejora en su producto de pisos y revestimientos.

La empresa trabaja 24 horas al día con un proceso continuo de producción, al día produce 15000 m², es decir, el incremento por 1 m² de pisos y revestimiento no será un valor muy significativo.

Costo1 (Receta actual) = C₁ = 36324,73 Bs

Costo2 (Receta propuesta) = C₂ = 36669,04 Bs

$$\text{Diferencia relativa porcentual de costos} = \frac{C_2 - C_1}{C_1} * 100\%$$

$$\Delta C \% = \frac{36669,04 \text{ Bs} - 36324,73 \text{ Bs}}{36324,73 \text{ Bs}} * 100\% = 0,95 \%$$

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En este capítulo se presenta las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del presente trabajo:

- Luego de haber optimizado la receta de la masa roja gres se pudo desarrollar el procedimiento más adecuado para la liberación de cada uno de los tipos de arcilla, especificando los límites superior e inferior de cada indicador.
- Para la optimización de la receta de la masa roja gres se realizó un diseño factorial por bloques mediante el cual se formuló 16 recetas propuestas modificando los porcentajes de la composición de la receta e incorporando la arcilla de puzolana a una presión de 21 kg/cm²; de las 4 mejores opciones se realizó pruebas modificando la presión de 18 kg/cm² y 23 kg/cm², finalmente se encontró la receta óptima de la masa, siendo la receta propuesta 9 a una presión de 21 kg/cm², obteniendo buenos resultados en las pruebas de laboratorio e industrialmente y cumpliendo con nuestro objetivo del trabajo.
- Mediante la receta óptima propuesta se pudo observar el mejoramiento en los indicadores de las piezas cerámicas como ser: corazón negro, absorción de agua, resistencia mecánica, contracción y pérdida al fuego tanto en las pruebas de laboratorio (tabla II-19) como industriales (tabla II-25), después de haber presentado variaciones en la receta actual y en las liberaciones de cada una de las arcillas, es decir, en los datos del consumo de las mismas.

- La inversión del costo de la receta propuesta es un poco mayor a la receta actual pero se pudo cumplir con todos los objetivos que se propuso en el trabajo para la optimización de la receta de la masa roja gres en Cerámica Coboce; el costo de producción con la nueva receta mediante la diferencia relativa porcentual de costos no es significativo con relación a la receta actual siendo 0,95 % por lo cual la empresa puede obtener un producto con mejores características con muy baja inversión (tabla V-13).

6.2 Recomendaciones

- Para las liberaciones de arcillas tanto de la incorporación como consumo se recomienda realizar un buen muestreo de las canteras, tomando pequeñas cantidades de arcillas de cada uno de los extremos de las playas y realizando un buen cuarteo.
- Para el estudio independiente de cada arcilla que compone la receta de la masa roja gres se recomienda realizar 6 repeticiones de la misma arcilla, con el fin de poder analizar 3 pastillas en crudo y 3 pastillas en cocido, por ejemplo: 6 pastillas de la arcilla plástica patrón y 6 pastillas de la arcilla plástica prueba (incorporación o consumo de arcilla) comparando así el comportamiento de la arcilla.
- Para el estudio de las recetas propuestas de la masa roja gres se recomienda realizar 6 pastillas, es decir: 3 pastillas de receta propuesta 1 crudo y 3 pastillas de receta propuesta 1 cocido, estas repeticiones de la misma receta a proponer nos sirve para poder obtener una confiabilidad de los datos, comparando así sus indicadores con la receta actual.
- Se recomienda realizar tanto en las pruebas de laboratorio como las pruebas industriales como mínimo 3 piezas de bizcochos crudos y 3 piezas cocidas para el estudio y análisis de las propiedades fisicoquímicas para poder obtener una confiabilidad en los resultados, realizando una comparación con la receta patrón y sacar un promedio de las 3 piezas.

- Se recomienda la adquisición de algunos equipos necesarios para análisis en laboratorio los cuales ayuden a aproximarse a los valores industriales como ser medidor de presión, higrómetro y secador pequeño.
- Se sugiere a la empresa como un futuro trabajo de investigación el estudio de la arena para la incorporación de la misma a la receta de la masa roja gres, la cual cuenta con algunas propiedades que pueden beneficiar en el proceso productivo de pisos y revestimientos.