

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes sobre el tema

El control de la calidad es parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad. (ISO, 2015)

Resulta que casi todos los procesos de trabajo influyen sobre el resultado. En consecuencia no deben considerarse por separado las distintas fases de fabricación, ya que el conjunto de la producción ladrillera requiere una correcta concordancia de las distintas instalaciones entre sí y con respecto a la materia prima. (Trujillo, 2011)

“Manual sobre fabricación de baldosas tejas y ladrillos” Marcelino Fernandez Abajo (2000)

La composición granulométrica tiene una gran importancia en la industria cerámica ya que de ella depende la superficie específica.

Cuanto más fina sea la arcilla; mayor resultara la superficie, mas alto el porcentaje de humedad de moldeo y la contracción de secado y más angosto el diámetro de los capilares existentes en la pieza, lo cual dificultara el proceso de secado.

Para lograr buenos resultados en la etapa de extrusión el material ha extrusionar debe presentar las mínimas variaciones posibles tanto en lo que respecta a su composición (plasticidad) como a su grado de preparación (granulométrica más o menos fina) y a su contenido de humedad.

El secado es una de las fases más delicadas y trascendentes del proceso de fabricación. Un secadero con problemas se puede convertir en un cuello de botella en el que se estrangula toda la producción y rentabilidad de una instalación.

El secado, es una operación muy compleja en la que convergen múltiples factores: naturaleza de la arcilla, grado de preparación y homogenización, tensiones que pueden haber tenido lugar durante el moldeo, diseño y formato de la pieza, uniformidad o des uniformidad de secado.

Si se introduce en el horno material húmedo puede ocasionar desconchados, cocción des uniforme y micro fisuras.

En el horno se pueden generar grietas de precalentamiento esto debido a un aumento demasiado rápido de la temperatura. (Abajo, 2000)

La información anteriormente presentada deja en claro como cada variable puede llegar a afectar en el proceso de producción y ocasionar un sinnúmero de defectos si no se toman las debidas precauciones durante el proceso, esto demuestra que cada etapa influye en gran manera a las otras y si esta no es debidamente supervisada se obtendrá producto deficiente.

Un sistema de control de calidad permite analizar y definir las variables óptimas en cada etapa del proceso y trabajar de manera óptima durante el proceso de producción, es decir que cada etapa influirá en otra de manera positiva.

1.1.2. Antecedentes de la empresa

Es una empresa ubicada al sur del país, dedicada a la producción y comercialización de ladrillos, cubriendo los mercados del departamento de Tarija como así también los departamentos de Potosí y Chuquisaca

La Cerámica San Luis tiene muchos años de experiencia en el mercado, pertenece al Auzza, junto con Faboce Y Vidrios Murano.

La Cerámica San Luis S.R.L cuenta con dos plantas una en la avenida San Luis que actualmente no está en funcionamiento y otra en El Portillo la cual sigue produciendo.

La planta industrial del Portillo fue comprada por el grupo AUZZA en el año 2002, cuando empezó a funcionar se contaba con las dos líneas de producción automática y manual como hasta ahora, contaba con 2 secaderos uno actualmente no está en funcionamiento, estos eran secadero estáticos, actualmente tras remodelaciones se cuenta con 5 cámaras en el secadero principal y 6 ventiladores automáticos que se mueven a través de rieles brindando un secado más uniforme.

Al principio solo se contaba con el horno Hoffman, posteriormente se construyó el horno túnel que es el principal para la cocción del ladrillo normal y especial. En 2021 se reacondiciono el horno Hoffman para usarlo nuevamente en la cocción de teja y piso principalmente.

1.2. Identificación del Problema

1.2.1. Descripción de la situación

Durante mucho tiempo la Cerámica San Luis brindo productos de calidad utilizando arcilla como única materia prima, sin embargo con el paso de los años la cerámica empezó a presentar problemas en el proceso productivo, como: grandes cantidades de ladrillo rajado o partido tras finalizar la etapa de secado, producto terminado inclinado, desconchado o fisurado, resultando en el retraso de cumplimiento de pedidos y a su vez en pérdida de clientes, recursos y utilidades.

Debido al aumento del producto no conforme, la cerámica opto por realizar un análisis del proceso productivo para la identificación de causas y soluciones a los problemas presentados en producción. Tras el análisis empezaron a mezclar arena con arcilla para la producción de los ladrillos, reduciendo la cantidad de ladrillos rajados luego de la etapa de secado, agregaron tubos de riego en la amasadora para que la humedad de la mezcla sea uniforme durante todo el turno de producción.

Si bien la cantidad de producto no conforme fue reducida, las modificaciones no lograron alcanzar la calidad esperada por la empresa dando lugar a un nuevo análisis el cual permitió identificar la necesidad de calibrar las cámaras de secado e implementar sensores de humedad y temperatura en cada una, con respecto a la materia prima cambiaron el uso de arena por el uso de limo, ya que no tiende a vitrificarse con altas temperaturas y conservaron las modificaciones en la amasadora.

Si bien la Cerámica San Luis ha mejorado su situación no cuenta con medidas que garanticen la calidad del producto por lo que la presencia de un problema en el proceso productivo en alguna de las etapas, generalmente es detectada al finalizar el proceso productivo.

Para evitar la detección tardía de problemas en la producción se debe tener en cuenta que cada etapa del proceso de elaboración de ladrillo influye en el producto final, por lo cual la variación en la calidad se debe a varios factores como la elasticidad de la materia prima que afecta en el grado de contracción y por ende a la resistividad del ladrillo resultando en ladrillos fisurados o partidos tras la etapa de secado o en producto terminado frágil.

El exceso de humedad reduce la consistencia de la mezcla, incrementando la separación de las partículas lo que resultara en mayores contracciones aumentando el riesgo de fisuras durante la etapa de secado.

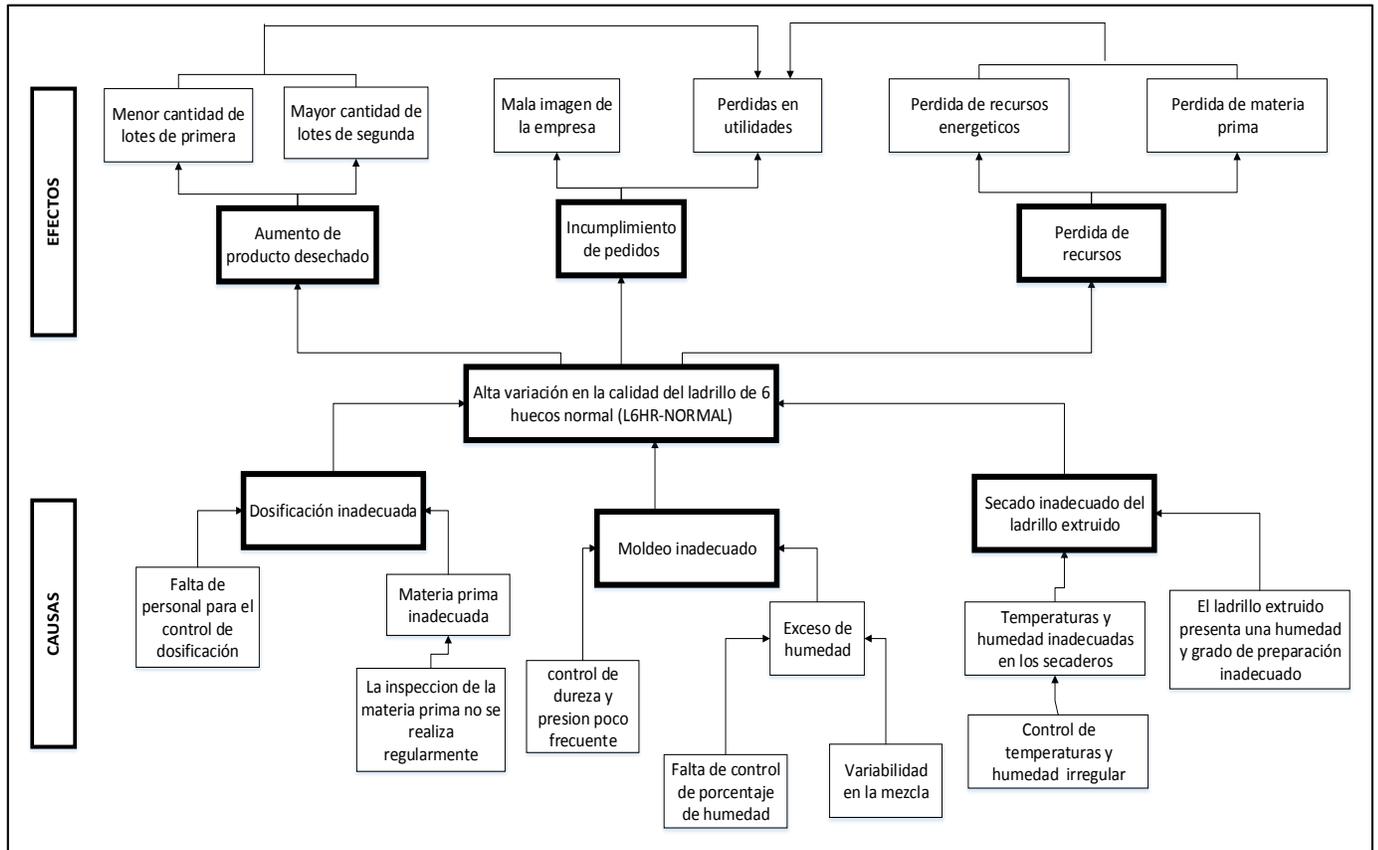
En el moldeo por extrusión debe trabajarse con una mezcla que presente las mínimas variaciones por lo cual se necesita definir los parámetros adecuados de presión la cual depende principalmente de la consistencia de la mezcla, con el aumento de la plasticidad y la reducción de la humedad, se incrementa la presión de extrusión permitiendo una mejor homogenización y mayor dureza.

En la etapa de secado no cuentan con un control frecuente de las temperaturas y humedades de cada cámara de secado permitiendo la posibilidad de producto fisurado, deformado o partido debido a temperaturas altas y humedades bajas.

1.2.2. Árbol de problemas

Fig. 1-1

Árbol de problemas



Nota. Análisis de las causas y efectos de la alta variación en la calidad del ladrillo 6 huecos normal en la Cerámica San Luis. Fuente: Elaboración propia.

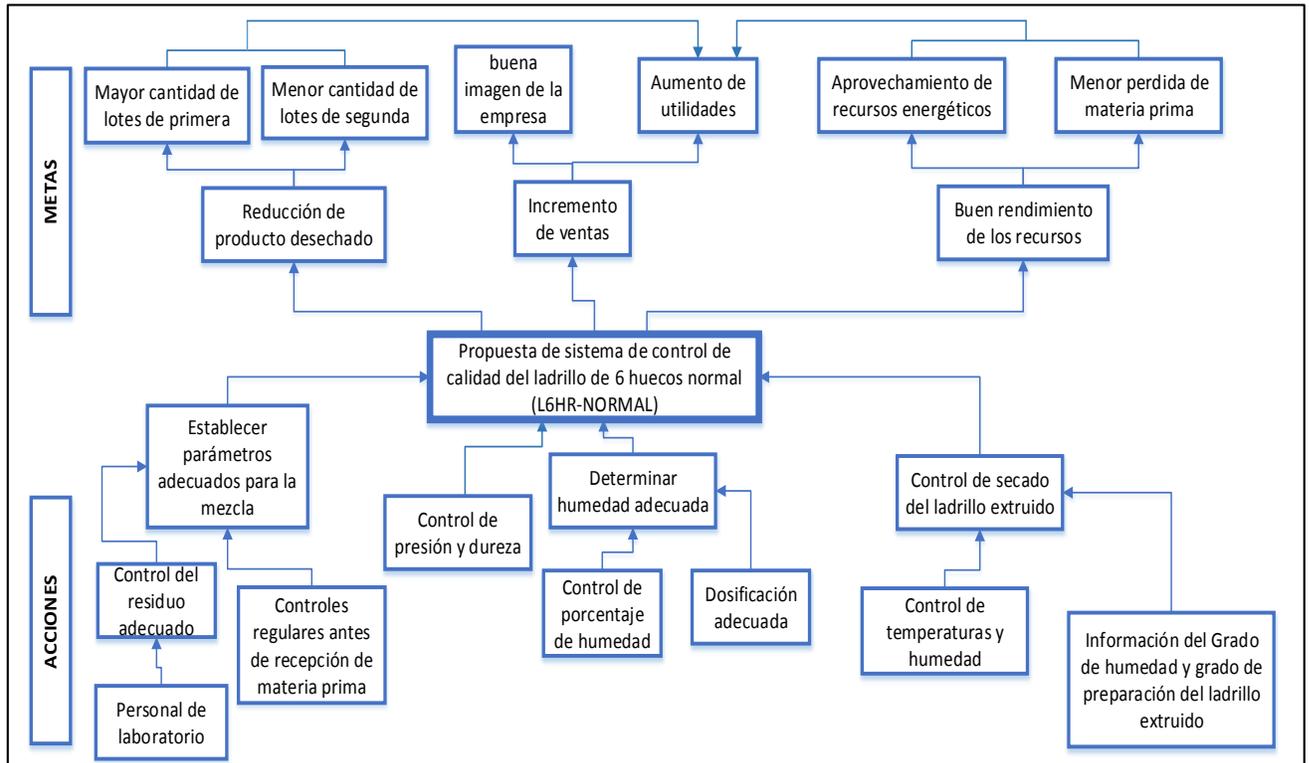
1.2.3. Formulación de la pregunta de problema

¿Qué medidas debería considerar la Cerámica San Luis para garantizar la calidad del ladrillo de 6 huecos normal?

1.2.4. Árbol de soluciones

Fig. 1-2

Árbol de soluciones



Nota. Acciones y metas para la propuesta del sistema de control de calidad del ladrillo 6 huecos normal en la Cerámica San Luis. Fuente: Elaboración propia.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un sistema de control de calidad en el proceso productivo de ladrillo de 6 huecos normal de la Cerámica San Luis para estandarizar la calidad del producto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del proceso productivo de ladrillo de 6 huecos.
- Identificar etapas o actividades del proceso donde se requieren controles.
- Determinar las variables que se deben controlar y sus respectivos parámetros admisibles.
- Diseñar el sistema de control de calidad para el proceso productivo de ladrillo de 6 huecos.
- Elaborar un presupuesto para la implementación de la propuesta.

1.4. Justificación

El propósito del presente proyecto es proponer un sistema de control de calidad para el ladrillo de 6 huecos normal de la Cerámica San Luis garantizando la estandarización de la calidad del producto terminado.

Cada etapa del proceso de elaboración de ladrillo influye en el producto terminado, por lo cual si se presenta un problema en alguna de las etapas y este no es detectado a tiempo, dará como resultado producto no conforme, como medida preventiva a este tipo de situaciones es necesario contar con un sistema de control de calidad que permitirá definir que etapas del proceso productivo deben ser controladas, cuales son las variables a controlar, que métodos serán necesarios para detectar las desviaciones de las variables y quienes serán los responsables de los controles, de tal manera que permite detectar a tiempo algún problema durante el transcurso de la producción para solucionarlo en lo posible evitando pérdidas de recursos y a su vez pérdidas económicas.

El proyecto tendrá una etapa de análisis que permitirá conocer la situación actual de la empresa para determinar la existencia de los indicadores que permitan medir el desempeño del proceso a través de la identificación y registro de las variables claves a controlar en cada etapa. Para posteriormente pasar a la etapa de planificación donde los resultados del diagnóstico permitan proponer un nuevo diagrama de flujo, identificando

los puntos de control en el proceso productivo así como los parámetros, procedimientos y responsabilidades que conllevan, garantizando la detección y corrección de variables fuera de sus respectivos parámetros.

Contar con un sistema de control de calidad no solamente beneficia en la estandarización de la calidad de los ladrillos, también hace posible una mejor organización en el proceso productivo, ya que se establecen las funciones que desarrollara el personal para llevar a cabo correctamente el proceso con las modificaciones que brinda el sistema de control de calidad.

Además permite la creación de una base de datos gracias a los registros continuos de las variables controladas, proporcionando información útil para detectar un problema de difícil identificación, ahorrando tiempo y recursos económicos que serían necesarios en caso de no contar con esta información.

1.5. Identificación de la empresa

1.5.1. Presentación de la empresa

El presente trabajo se realizará en la Cerámica San Luis

Fig. 1-3

Logo de la empresa



Nota. Logo de la Cerámica San Luis S.R.L. Fuente:(www.ceramicasanluis.com)

Razón social: CERÁMICA “SAN LUIS” S.R.L

Tipo de sociedad comercial: Sociedad de Responsabilidad Limitada. (S.R.L.)

NIT: 1024411024

1.5.1.1. Misión

Apoyamos el desarrollo de nuestra región, con productos de cerámica roja para el sector de la construcción y satisfacer los requerimientos de nuestros clientes, contando con un compromiso y apoyo de todo el personal, agregando valor económico a la empresa.

1.5.1.2. Visión

Ser una industria líder en Cerámica Roja reconocida por la innovación y calidad de sus productos en la región sur del país; con la mejora continua de nuestros procesos productivos, servicios y recursos humanos.

1.5.2. Ubicación

La Cerámica San Luis está ubicada en El Portillo en el Km 7,5 de la ciudad de Tarija.
Latitud -21.573032° y longitud -64.668079°.

Fig. 1-4

Ubicación de la Cerámica San Luis

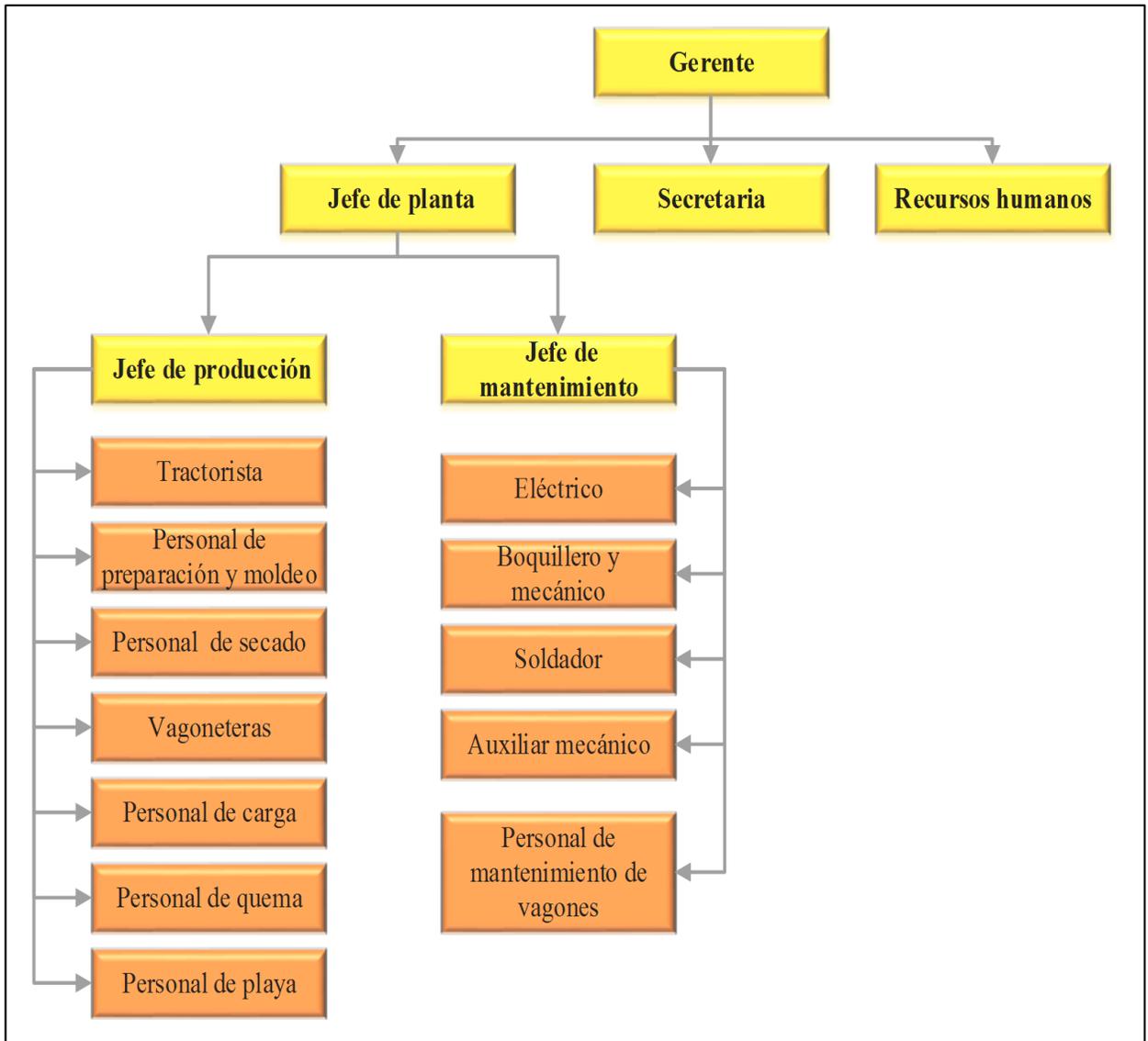


1.5.3. Organización

La empresa se organiza según el organigrama:

Fig. 1-5

Organigrama de la Cerámica San Luis



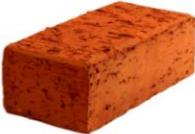
Nota. Organización del personal de la empresa. Fuente: elaboración propia.

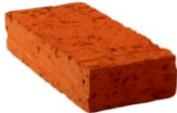
1.5.4. Productos y/o servicios

La Cerámica San Luis brinda una variedad de productos a sus clientes, cuenta con 5 líneas de productos los cuales son:

Tabla I-1

Productos de la empresa

Línea Ladrillo Tradicional		Línea Ladrillo Rústico	
Imagen	Detalle	Imagen	Detalle
	Ladrillo 6 Huecos Revoque Ancho: 12 cm Alto: 18 cm Largo: 24 cm Peso: 3,8 kg.		Ladrillo Rústico 3 Huecos (Chamota) Ancho: 8 cm Alto: 10 cm Largo: 20 cm Peso: 2,8 kg.
	Ladrillo 6 Huecos Especial Revoque Ancho: 10 cm Alto: 15 cm Largo: 24 cm Peso: 2,8 kg.		Ladrillo Rústico 4 Huecos (Chamota) Ancho: 8 cm Alto: 17 cm Largo: 24 cm Peso: 4,8 kg.
	Ladrillo 9 Huecos Revoque Ancho: 18 cm Alto: 18 cm Largo: 24 cm Peso: 5,5 kg.		Piso Rústico (Chamota) Ancho: 6,7 cm Alto: 10 cm Largo: 20 cm Peso: 2,3 kg.

	<p>Ladrillo 4 Huecos Revoque</p> <p>Ancho: 18 cm</p> <p>Alto: 8 cm</p> <p>Largo: 24 cm</p>		<p>Piso Rústico Chapaquito (Chamota)</p> <p>Ancho: 4,5 cm</p> <p>Alto: 10 cm</p> <p>Largo: 22 cm Peso: 1,9 kg.</p>
Línea Ladrillo Visto		Línea Complemento, Teja y Pisos	
Imagen	Detalle	Imagen	Detalle
	<p>Ladrillo 6 Huecos Visto</p> <p>Ancho: 12 cm</p> <p>Alto: 18 cm</p> <p>Largo: 24 cm</p> <p>Peso: 3,6 kg.</p>		<p>Complemento de Loza H10</p> <p>Ancho: 42 cm</p> <p>Alto: 10 cm</p> <p>Largo: 24 cm</p> <p>Peso: 7,8 kg.</p>
	<p>Ladrillo 4 Huecos Visto</p> <p>Ancho: 18 cm</p> <p>Alto: 8 cm</p> <p>Largo: 24 cm</p> <p>Peso: 3,2 kg.</p>		<p>Teja Colonial</p> <p>Ancho frente: 22 cm</p> <p>Ancho fondo: 18 cm</p> <p>Alto fondo: 5,5 cm</p> <p>Largo: 50 cm</p> <p>Peso: 2,85 kg.</p>
	<p>Ladrillo 3 Huecos Visto</p> <p>Ancho: 12 cm</p> <p>Alto: 8 cm</p> <p>Largo: 24 cm</p> <p>Peso: 2 kg.</p>		<p>Piso 13*26</p> <p>Ancho: 13 cm</p> <p>Largo: 26 cm</p> <p>Peso: 1,85 kg.</p>

	<p>Ladrillo 21 Huecos (Gambote) Ancho: 12 cm Alto: 7 cm Largo: 25 cm Peso: 2,8 kg.</p>		<p>Piso 20*20 Ancho: 20 cm Largo: 20cm Peso: 2,1 kg.</p>
Línea Bota Aguas y Verjas			
Imagen	Detalle	Imagen	Detalle
	<p>Verja Arabesca Cuerpo: 8,5 cm Alto: 19 cm Largo: 24 cm Peso: 2,1 kg.</p>		<p>Bota Aguas de Dos Caídas Ancho: 22 cm Alto: 9,5 cm Largo: 24cm Peso: 3,5 kg.</p>
	<p>Verja Trebol Cuerpo: 8,5 cm Alto: 19 cm Largo: 19 cm Peso: 2,45 kg.</p>		<p>Bota Aguas de Una Caída Ancho: 19 cm Alto: 9 cm Largo: 24 cm Peso: 3 kg.</p>

Nota. Fuente:(www.ceramicasanluis.com).

1.5.5. Maquinaria y Equipo

Tabla I-2

Maquinaria y equipo

Imagen	Descripción
	<p>Tolva</p> <p>Capacidad: 30 tn</p> <hr/> <p>Bandas transportadoras</p>
	<p>Mezcladora de doble eje</p> <p>Morando</p> <p>Modelo: MBA 2 Serie C</p> <p>Potencia: 25 Cv</p> <p>Producción: 15 - 18 t/h</p>
	<p>Laminador Refinador Morando</p> <p>Modelo: LA4</p> <p>Potencia: 25/30 Cv</p> <p>Cilindro lento: 110 rpm/n</p> <p>Cilindro rápido: 220 rpm/n</p> <p>Laminador: 3 - 4 mm</p> <p>Producción: 12 - 16 t/h</p>

**Extrusora al vacío Bonfanti****Modelo:** MVB 18**Producción:** 28 a 35 t/h**Potencia:** 200 CV**Vacuometro AZUD****Medidas:** 0-6 bar, 0-87 psi**Molde**

Son planchas con la forma del producto requerido.

**Cortadora automática****Rendimiento :** 23 ladrillos/min**Torre de automatismo de carga****Rendimiento:** 1000 ladrillos/h



Vagonetas

Material: Acero

Capacidad: 1700 kg



Tablero de control de

temperaturas de horno Siemens

Tensión: 380 VAC

Corriente nominal: 24 Vdc.

Grado de protección: IP 65

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla I-3

Instrumentos

Imagen	Descripción
	<p align="center">Malla GRANUTEST</p> <p>ABNT: 140 Abertura: 0.106 mm TYLER: 150</p>
	<p align="center">Pie de rey</p> <p>Material : acero inoxidable Largo: 30 cm</p>
	<p align="center">Balanza Visioneer</p> <p>Peso mínimo: 200 g Peso máximo: 40 Kg</p>

Nota. Fuente: elaboración propia.

1.5.6. Materia prima e insumos

En el proceso de producción se utiliza:

- **Arcilla**
La clase de arcilla utilizada es amarilla y menor parte ploma
- **Limo**
Proviene de los mismos proveedores de arcilla, se mezcla junto a la arcilla.
- **Agua**
El agua utilizada por la Cerámica San Luis proviene de un pozo ciego
- **Ladrillo cocido triturado**
Utilizado junto a la arcilla para los ladrillos tipo chamota

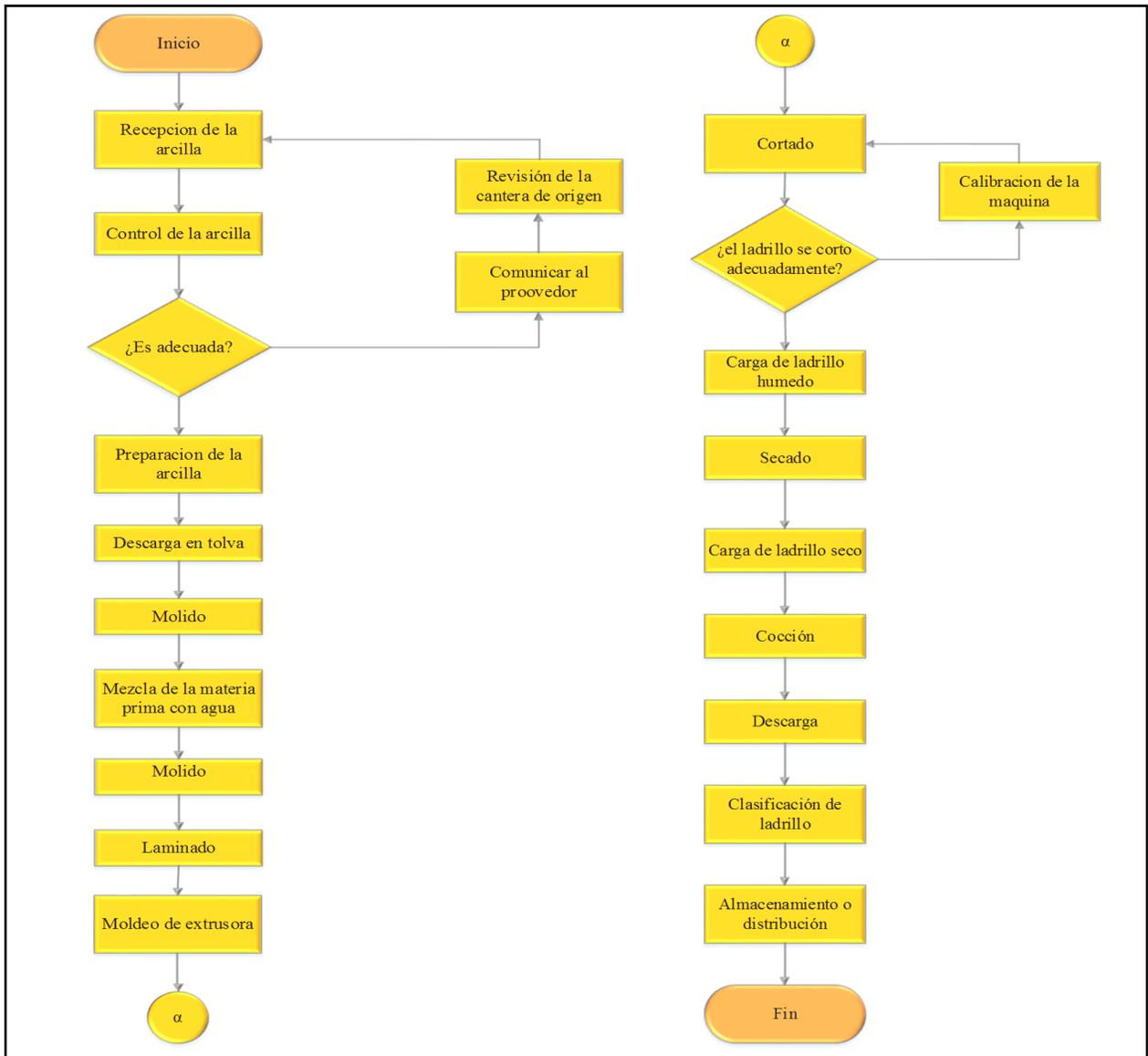
1.5.7. Proceso productivo

1.5.7.1. Diagrama de flujo

El proceso productivo solo difiere en el molde según el producto.

Fig. 1-6

Diagrama de flujo del proceso del ladrillo de 6 huecos normal



Nota. Actividades realizadas para producir ladrillo 6 huecos. Fuente: elaboración propia.

1.5.7.2. Cursograma sinóptico

Fig. 1-7

Cursograma sinóptico del proceso del ladrillo de 6 huecos



Nota. Operaciones e inspecciones para producir ladrillo 6 huecos. Fuente: elaboración propia.

1.5.7.3. Descripción del proceso

Durante la recepción de la materia prima se priorizará que no exista un exceso de terrones con arcilla inadecuada, se registrará en planilla la fecha, el nombre del conductor, la placa de la camioneta, la hora de la entrega y las posibles observaciones.

Tras la recepción, se procederá a humedecer la materia prima para su almacenamiento o se realizarán pruebas de residuo en la arcilla y limo para dosificar correctamente la mezcla. La determinación del residuo se realizará tomando muestras de distintas partes de cada montículo de arcilla y limo, las cuales serán trituradas por separado para luego secar cada muestra a fuego moderado, pesar 200 gramos una vez seca la muestra y tamizar con ayuda de agua a través de una malla Tyler 150, la materia que no paso por la malla es pesada para determinar el porcentaje de residuo considerando el peso inicial.

Una vez determinado el porcentaje de residuo presente en el limo y arcilla se determinará la cantidad de paladas de cada uno para formar una mezcla con 5% a 6% de residuo.

La mezcla será trasladada a tolva para el inicio de producción donde pasara por 2 procesos de triturado, permitiendo una mejor consistencia tras la mezcla con agua en la mezcladora.

La masa formada se laminará con espesores de 3 a 4 mm y pasara por la extrusora donde la presión de vacío permitirá una mayor homogenización a través del desairado de la masa dando lugar a la compactación de la masa brindando mayor resistencia para el moldeo adecuado del producto.

El ladrillo extruido infrecuentemente es pesado y medido para corroborar que sus variables estén dentro de los parámetros ya establecidos.

Los ladrillos extruidos se colocarán en las vagonetas con ayuda de la torre de automatismo de carga y son trasladadas a las cámaras de secado, la etapa de secado es una de las etapas más delicadas, en esta etapa el ladrillo extruido va perdiendo la humedad de manera gradual hasta el alcanzar una humedad menor al 3%, las temperaturas deben aumentar gradualmente a lo largo de la cámara de secado de 20°C

hasta un máximo de 65°C, inversamente a la temperatura la humedad mayor al 90% va decreciendo, una vez seco el material el ladrillo es trasladado a la zona de carga donde se procederá a colocar el producto seco en vagones para el ingreso al horno.

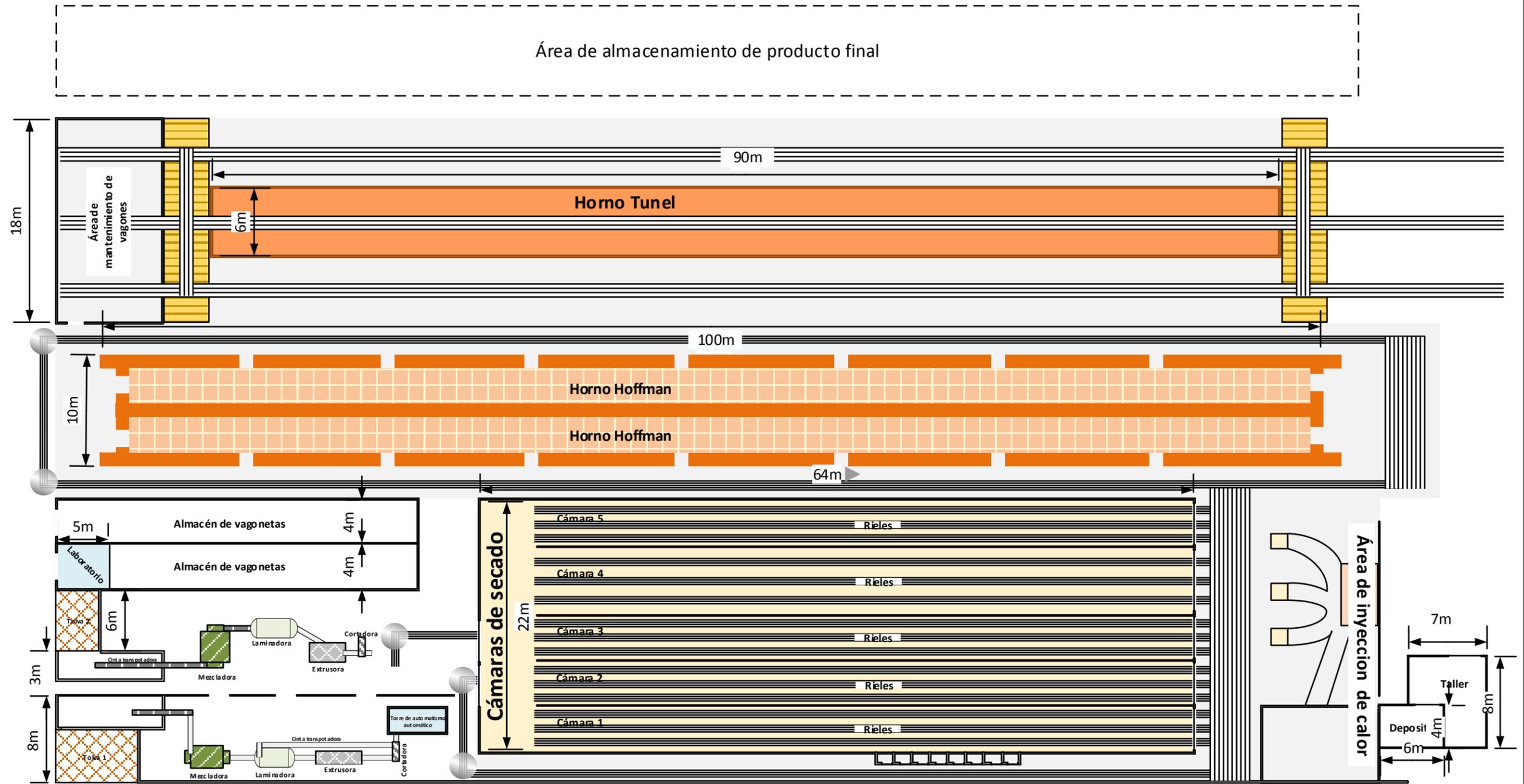
Dentro del horno los ladrillos secos pasan por una etapa de precalentamiento para evitar cambios bruscos de temperatura que resulten en ladrillos fisurados, luego de la etapa de precalentamiento se pasa a la etapa de cocción donde el ladrillo es sometido a temperaturas mayores a los 600°C, tras terminar la etapa de cocción sigue la etapa de enfriamiento donde el producto terminado va descendiendo lentamente su temperatura hasta la salida del horno.

Tras la salida de los vagones del horno se descargará y clasificará el producto terminado.

Aquellos ladrillos que presenten rajaduras mayores a 2 cm o un color amarillo son clasificados como ladrillos de segunda clase.

Los ladrillos que presenten un estado que comprometa su resistividad son desechados para luego ser triturados y formar parte de la materia prima de ladrillos de chamota.

1.5.8. Lay out



	Fecha	Nombre	Firmas	CERÁMICA "SAN LUIS" S.R.L
Dibujado	01/11/2022	Maria Chuca		
Comprobado	02/12/2022	Maria Chuca		
ESCALA	LAY OUT PLANTA DE LA CERÁMICA "SAN LUIS" S.R.L			Nº 1
1:25				

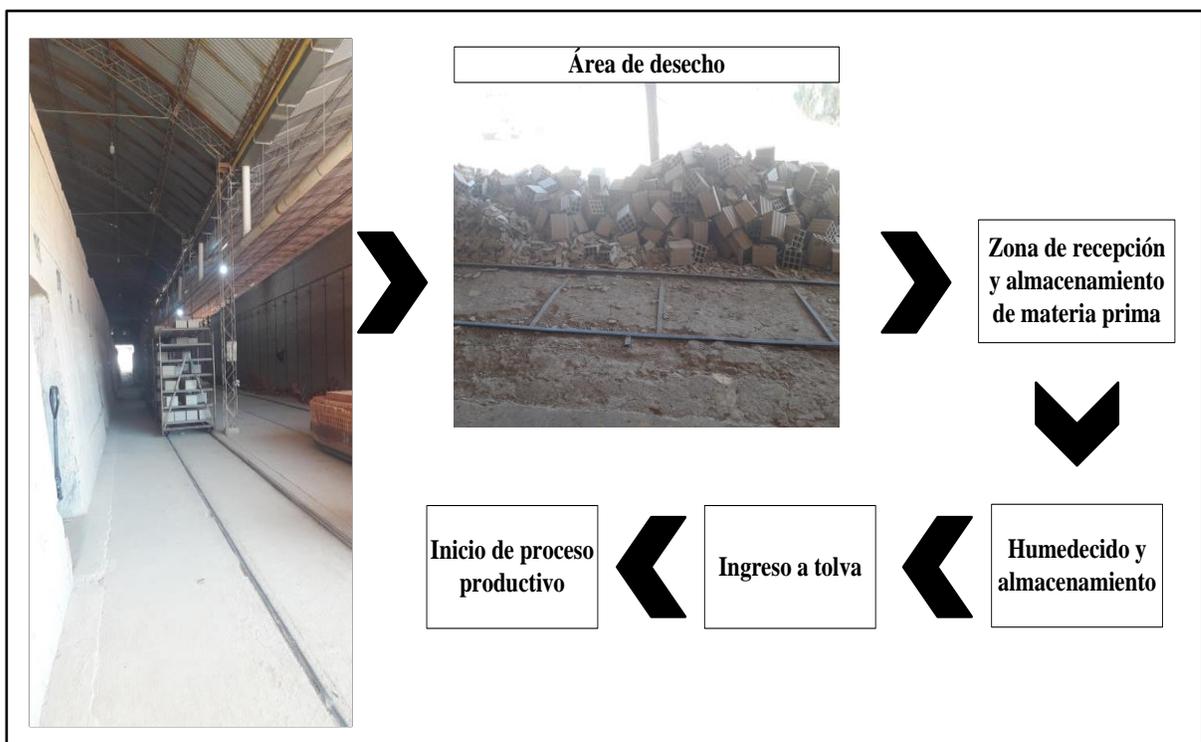
1.5.9. Residuos y/o desechos

El producto desechado antes de la etapa de cocción pasará a ser colocado al área de desechos el cual luego regresara a ser parte de la materia prima para la fabricación de un nuevo producto.

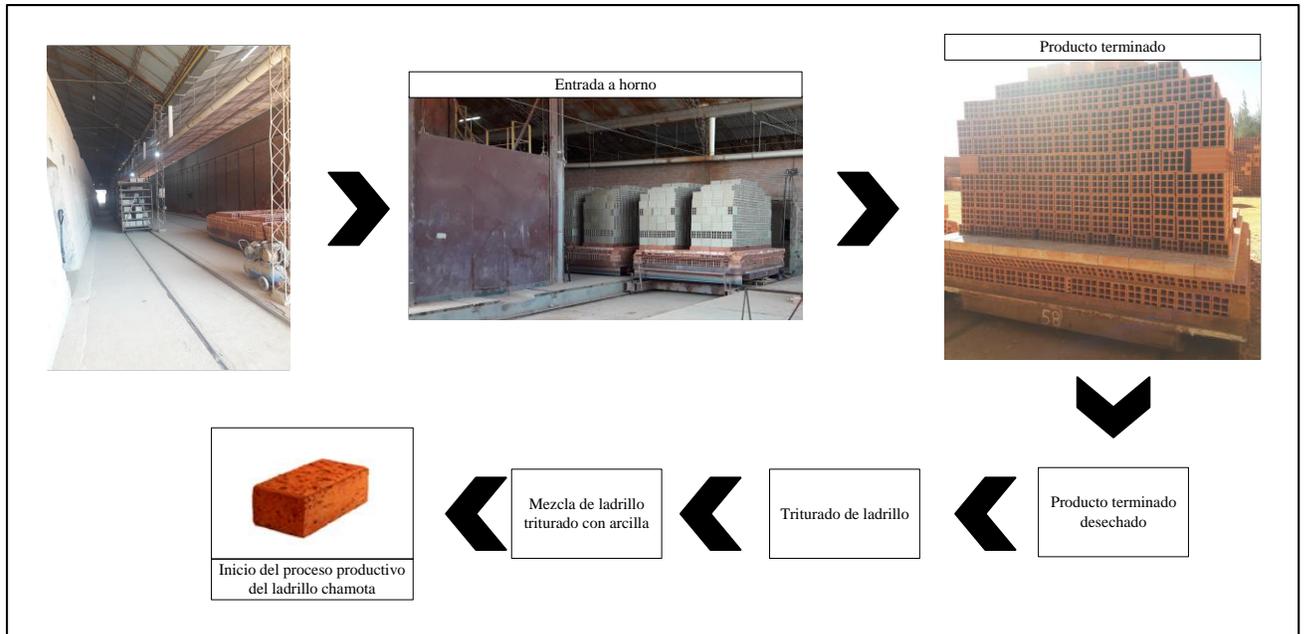
El producto no conforme luego de la etapa de cocción es triturado para ser parte de la fabricación de ladrillos de chamota.

Fig. 1-8

Proceso de desecho de ladrillo seco



Nota. Acciones para el desecho del ladrillo 6 huecos tras finalizar la etapa de secado. Fuente: elaboración propia.

Fig. 1-9*Proceso de desecho de producto terminado*

Nota. Acciones para el desecho del ladrillo 6 huecos tras finalizar la etapa de cocción. Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. Marco teórico

2.1. El ladrillo

Elemento de construcción con forma de paralelepípedo. Es fabricado de arcilla cocida y posee huecos prismáticos o cilíndricos. (IBNORCA, 2013)

2.2. Características del ladrillo

2.2.1. Color

La textura y el color deben especificarse libremente por el fabricante.

El color varía dentro de una gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación, y no puede usarse como parámetro de evaluación de calidad, sin que antes se realicen los ensayos de resistencia y absorción. La exigencia de una gama estrecha o subjetiva de color se considera un requisito adicional sobre esta norma y debe partir de un acuerdo libre entre compradores y fabricantes. De cualquier forma, se recomienda observar una muestra superior a cinco unidades, que contenga los extremos de variación o remita a muros construidos con la unidad de mampostería especificada. Las unidades de mampostería para interior no deben tener ningún tipo de restricción o clasificación con base en su color o en su gama de variación, bien sea dentro del lote o dentro de una misma pieza. (ICONTEC, 2000)

La normativa boliviana vigente para ladrillos huecos, no tiene establecido un parámetro para el color, sin embargo la Cerámica San Luis separa los ladrillos de primera calidad como aquellos que presentan un color terracota brillante, mientras que los ladrillos que presentan tonos más bajos, amarillos u opacos son separados como ladrillos de segunda calidad.

2.2.2. Textura

Toda modificación a la textura de la superficie de las unidades, tales como estrías y grabados, se debe realizar preferiblemente sobre el producto crudo o por cualquier método que no produzca debilitamiento de la misma. (IBNORCA, 2013)

2.2.3. Características geométricas

Los fabricantes de Ladrillos cerámicos pueden fabricar en formas y dimensiones diversas, las especificaciones pueden ser acordadas entre el producto y consumidor. (IBNORCA, 2013)

Si bien la normativa boliviana no establece medidas para los ladrillos huecos, si establece tolerancias que deben ser aplicadas a las medidas de cada productor en este caso a la Cerámica San Luis.

Tabla II-1

Características Geométricas

Características Geométricas	Tolerancia
Dimensiones Nominales: Ladrillos para revestir (R) Largo, alto y ancho	$\pm 3\%$
Desviación con relación a la escuadra (D) (máx.)	2%
Desviación con relación a la planicidad de las caras (P) (máx.)	3 mm
Espesor de las paredes interiores y exteriores (min.)	8mm

Nota. Fuente: Norma boliviana 1211001

2.2.3.1. Fisuras

Las caras de las unidades no deben tener fisuras que atraviese el espesor de la pared y además deben cumplir con lo establecido en la tabla I-2 Fisuras

Tabla II-2*Fisuras*

Según su terminación	Máxima longitud de fisura respecto a la dimensión de la pieza, en %	Observación
Ladrillo cerámico para ser utilizado con cualquier tipo de revestimiento (R)	≤ 20	
Ladrillo cerámico para ser utilizado a cara vista o sin revestir (V)	< 5	No se aceptaran fisuras a más de dos (2) caras de diferentes dimensiones

Nota. Fuente: Norma boliviana 1211001

2.2.4. Resistencia a la compresión

Los ladrillos deben cumplir con un mínimo de 2 MPa de resistencia.

Tabla II-3*Resistencia a la compresión*

Tipo	Resistencia a la compresión, área bruta, en MPa (Kg/cm²) (Mínimo)
No portante o de relleno	2,0 (20,4)

Nota. Fuente: Norma boliviana 1211001

2.2.5. Absorción de agua

Es una medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería. En las unidades de arcilla no debe exceder el 22%. Las unidades de albañilería con absorción mayor al 22% serán más porosas, y por lo tanto, menos resistente a la acción de la intemperie. La unidad porosa absorberá agua del mortero, secándolo e impidiendo el adecuado proceso de adherencia mortero-unidad, lo que influye en la disminución de la resistencia del muro. (Seminario Colán, 2013)

En los ladrillos cerámicos huecos ensayados, según 3.3 de la norma NB 1211002, se aceptará una absorción de agua, no menor a 8 %, ni mayor a 15 %. (IBNORCA, 2013)

2.3. Variables que intervienen en el proceso productivo

2.3.1. Materia Prima

Las arcillas son productos naturales, no tratados previamente, que están formados por una mezcla de minerales arcillosos, como la caolinita, illita, etc. con otros que no lo son, como feldespatos, cuarzo, carbonatos, etc. (Galindo, 2019)

2.3.1.1. Clases de arcillas

Las tres clases de arcilla más corrientes son: caoliniticas, illiticas y montmorilloniticas o mectiticas.

2.3.1.1.1. Arcillas caoliniticas

La caolinita se forma en medio ácido (pH 4-5) cuando el contenido de alúmina es elevado y el contenido en bases (K_2O , Na_2O , CaO , Fe_2O_3) es pequeño.

Se presenta en tamaños de grano sensiblemente mayores que los que corresponden a otras clases de arcillas. Así, por ejemplo, orientativamente en una muestra, el porcentaje de partículas comprendidas entre 0,5 y 5 micras suele indicar el contenido en caolinita, mientras la fracción inferior a 0,5 micras representa el contenido en montmorillonita.

Como consecuencia de esta granulometría más gruesa, las arcillas caoliniticas presentan una plasticidad algo baja, pero secan con rapidez y sin problemas a causa de su mayor porosidad en seco.

Esta más alta porosidad es también la causa de su baja resistencia mecánica a flexión en seco.

Después de la cocción suelen presentar un color blanco amarillento a causa de su bajo contenido en óxido de hierro, aunque también pueden dar color rojo si su contenido en Fe_2O es más alto. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.1.2. Arcillas montmorilloníticas o esmectíticas

La montmorillonita o esmectita se forma a partir de rocas básicas como los feldespatos cálcicos o magnésicos, por alteración de cenizas volcánicas y rocas magmáticas ricas en Ca y Mg, en climas áridos que impiden la disolución de dichos iones necesarios para su formación.

La montmorillonita es típica de medios sedimentarios ricos en bases, particularmente magnesio y de pH ligeramente alcalino (pH = 8). El contenido de K_2O no debe ser excesivamente alto ya que de lo contrario se forma illita, en cambio, la presencia de magnesio se considera esencial para la formación de montmorillonita.

La presencia de montmorillonita en una arcilla predice una humedad de moldeo elevada, una alta contracción de secado, una red capilar en la pieza verde extremadamente fina, un secado largo y problemático y una elevada resistencia mecánica seco. Obteniéndose un material de color rojo vivo, baja porosidad y alta resistencia mecánica. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.1.3. Arcilla illíticas

La illita es el mineral arcilloso típico de medios marinos. Las montmorillonitas y caolinitas se transforman en illita si se produce una aportación de K^+ al medio.

La illita presenta un comportamiento cerámico intermedio entre la caolinita y la montmorillonita se la puede considerar como el punto de equilibrio en la mayoría de las características. No presenta problemas de secado y su resistencia permite una buena manipulación de las piezas secas sin problemas de roturas. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.2. El residuo

La materia prima (arcilla) generalmente no se encuentra en su estado más puro por lo cual contiene otros elementos que será denominado como residuo, el porcentaje de residuo indica cuán plástica es la arcilla, a mayor porcentaje de residuo menor plasticidad.

Esto se puede justificar tomando en cuenta las características de la plasticidad.

2.3.1.3. Plasticidad

Según Galindo, (2019), la plasticidad es la capacidad de un material para ser deformado sin ruptura durante la aplicación de una fuerza externa, y conservar la deformación tras el cese de la fuerza deformadora.

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una capa sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. (Díaz, 2007)

2.3.1.3.1. Composición mineralógica de la arcilla

La plasticidad de una arcilla depende de la proporción en la que se encuentran los minerales arcillosos y de la naturaleza de los mismos. La composición mineralógica afecta mucho la plasticidad de la arcilla. Así por ejemplo las arcillas montmorilloníticas son mucho más plásticas que las illíticas y estas a su vez lo son más que las caoliníticas. Existen, sin embargo, muchas excepciones ya que el tamaño de partícula y el grado de cristalinidad ejercen una marcada influencia.

La plasticidad de las arcillas depende también de la proporción, tipo y distribución granulométrica de los materiales desgrasantes, que rebajan la plasticidad, o de la cantidad de materia orgánica coloidal que contenga la arcilla, que la aumenta. (Galindo, 2019)

2.3.1.3.2. Granulometría de la materia prima

La composición granulométrica tiene una gran importancia en la industria cerámica ya que de ella depende la superficie específica.

Cuanto más fina sea la arcilla; mayor resultara la superficie, más alto el porcentaje de humedad de moldeo y la contracción de secado y más angosto el diámetro de los capilares existentes en la pieza, lo cual dificultara el proceso de secado.

Al reducirse la sección de los poros y aumentarse el número de contactos entre las partículas arcillosas se incrementara la resistencia mecánica en seco.

En cocción, dado que el proceso de vitrificación comienza por la superficie de las partículas, cuanto mayor sea esta más rápidamente y a más baja temperatura vitrificara, obteniéndose una pieza cocida de menor porosidad y mayor resistencia mecánica.

La composición granulométrica tiene una gran importancia en la industria cerámica ya que de ella depende la superficie específica.

La presencia de una fracción de partículas de tamaño medio inferior a $1\ \mu\text{m}$ (tamaño coloidal) aumenta la plasticidad, de forma que esta propiedad depende en gran medida de la naturaleza de esta fracción, de gran importancia y frecuentemente diferente del resto de la arcilla. Sin embargo, no solo la finura de las partículas es responsable de la plasticidad, ya que otros materiales como el cuarzo o la alúmina apenas desarrollan esta propiedad, aunque se molturen muy finamente. Al igual que el tamaño, la forma de las partículas es también importante. Los materiales arcillosos están constituidos por partículas laminares muy finas que les proporcionan una superficie específica elevada. La forma laminar proporciona una superficie específica mucho mayor que otras formas frecuentes en las partículas como la esférica (o con cierto grado de esfericidad) o las cúbicas, aunque la forma de por sí no es suficiente para explicar la plasticidad, ya que existen minerales constituidos por partículas laminares, como la mica, con una plasticidad mucho menor que las arcillas. Puede establecerse una correlación bastante satisfactoria entre el índice de plasticidad y la superficie específica de forma que cuando ésta aumenta, la plasticidad aumenta de forma lineal. (Galindo, 2019)

Las partículas superiores a $2\ \text{mm}$, no deberían existir en una masa arcillosa lista para el moldeo, pues inciden muy negativamente sobre la resistencia mecánica del producto cocido y pueden dar lugar a micro fisuras en la superficie de la pieza, sobre todo cuando la contracción es alta y las partículas gruesas están constituidas por granos de cuarzo.

Las partículas comprendidas entre $0,05\ \text{mm}$ y $2\ \text{mm}$ constituyen la fracción arenosa de la muestra, la cual debería oscilar entre el 20 y 30% esta fracción facilita el proceso

de secado y reduce la contracción y la tendencia a la formación de laminación es en la pieza recién extruida.

Las partículas comprendidas entre 5 y 50 micras constituyen la fracción limosa su porcentaje suele oscilar entre 30 y 50% forman la carga de la masa arcillosa.

Las partículas comprendidas entre 0,5 y 5 micras constituyen la fracción arcillosa gruesa, normalmente está representada en su mayor parte por caolínita.

La fracción inferior a 0,5 micras representa la concentración en montmorillonita. Esta fracción eleva notablemente la plasticidad de la arcilla, reduce su porosidad en seco, aumenta la resistencia mecánica y acelera el proceso de vitrificación.

Las arcillas montmorilloníticas pueden contener hasta un 40% de partículas inferiores a 0,5 micras, en la illitas puede oscilar entre el 5 y 20%, mientras que en las caolinitas se sitúa entre el 0,5 y el 1,5%. (Fernández Abajo, 2000).

2.3.1.3.3. La resistencia mecánica

La resistencia mecánica aumenta a medida que se reduce la granulometría y la porosidad de la arcilla presentando valores muy elevados en arcillas tipo de montmorillonita de gran finura de grano y baja porosidad y valores bajos en arcillas caoliníferas caracterizadas por su granulometría más gruesa y mayor porosidad.

Resistencias mecánicas a flexión en seco por debajo de los 30 kg/cm² suelen ser características de arcilla de granulometría gruesa, de alta porosidad y baja plasticidad, en y sin problemas.

Resistencias comprendidas entre los 30 y 70 kg/cm² pueden considerarse normales y, por encima de los 70 kg/cm², suelen ser características de arcillas plásticas y las que el secado pueden resultar problemático si no se adiciona algún desengrasante.

Cuándo hay problemas de roturas durante la manipulación de las piezas secas por falta de resistencia mecánica en seco, lo primero que se debería mirar es la humedad residual a la salida del secadero. El vacío también contribuye a la resistencia mecánica del material seco.

2.3.1.3.4. Forma de las partículas

La forma de las partículas es también importante. Los materiales arcillosos están constituidos por partículas laminares muy finas que les proporcionan una superficie específica elevada. La forma laminar proporciona una superficie específica mucho mayor que otras formas frecuentes en las partículas como la esférica (o con cierto grado de esfericidad) o las cúbicas, aunque la forma de por sí no es suficiente para explicar la plasticidad, ya que existen minerales constituidos por partículas laminares, como la mica, con una plasticidad mucho menor que las arcillas. Puede establecerse una correlación bastante satisfactoria entre el índice de plasticidad y la superficie específica de forma que cuando ésta aumenta, la plasticidad aumenta de forma lineal. (Galindo, 2019)

2.3.1.3.5. Influencia de la plasticidad

Es frecuente relacionar la plasticidad de los materiales arcillosos con su comportamiento en el proceso de fabricación de productos cerámicos antes de la cocción, ya que las propiedades de las arcillas que determinan su comportamiento plástico también determinan las propiedades que controlan dichas etapas (resistencia mecánica, permeabilidad, compacidad, etc.). Esto hace que la plasticidad sea un parámetro habitual a tener en cuenta en la formulación de composiciones cerámicas. A primera vista puede parecer que la plasticidad es una propiedad interesante únicamente en el moldeo en estado plástico. Como norma general puede decirse que la plasticidad óptima es la mínima necesaria para que el proceso de moldeo se realice adecuadamente, y para que no existan problemas posteriores de deformaciones del producto en verde con facilidad.

Las mezclas con baja plasticidad dan bajas compactaciones en verde, por lo que pueden producirse deformaciones del producto con facilidad e intervalos de humedades de trabajos estrechos.

Las pastas con alta plasticidad dan dificultad en el secado debido a la mayor tendencia a la retención de agua y a una escasa permeabilidad y aumento de la tendencia a la formación de grietas. (Galindo, 2019)

2.3.2. Los laminadores

Los laminadores determinan el grado de molienda final de la arcilla húmeda y permiten la uniformidad de la masa, pudiéndose afirmar que la calidad del material que se está fabricando, depende de la potencia y estado de conservación del laminador.

Los cilindros del laminador trabajan a distinta velocidad para evitar un consumo excesivo de energía en relación al trabajo que deben desarrollar.

Con esta velocidad diferencial se consigue un desmenuzamiento intensivo de la arcilla, mucho mayor del que corresponde a la separación entre cilindros, debido a un efecto de desgarramiento o corrimiento de las partículas del material laminado.

Los laminadores, con frecuencia, van provistos de un disco graduado en 1/10 mm, que permite una aproximación muy exacta de la distancia entre cilindros.

En función de la sección de paso entre los dos cilindros, los laminadores se clasifican en:

1. De laminación gruesa: 3 / 4 mm
2. De refinado: 1 / 2 mm. Estos laminadores giran a una velocidad periférica de unos 12 m/ seg.
3. Rápidos: 0,8 / 1 mm

Los laminadores tienen un límite óptimo en cuanto al tamaño de reducción de partícula. Este límite podría establecerse en aproximadamente 0,8 mm.

Trabajar sensiblemente por debajo de dicho límite, por ejemplo a 0,5, puede resultar muy problemático, pues por efecto del rozamiento los cilindros se calientan y dilatan, con lo cual el paso se reduce aún más: a 0,40.

En estas condiciones la arcilla se pega más a los cilindros, por lo cual se procederá a incrementar la abertura.

El gasto de rasquetas es mucho mayor en los laminadores rápidos, siendo necesario proceder a su rectificación casi cada semana, mientras que en un laminador normal el rectificado se puede hacer cada 2 meses aproximadamente. La utilización de rasquetas consistentes en dos chapas metálicas con una lámina de goma entre ellas permite aumentar notablemente su duración.

Cabe señalar que a medida que se desgastan las camisas se reduce su velocidad periférica, ya que el número de vueltas permanece constante y en consecuencia desciende el rendimiento del laminador.

Para aprovechar toda la longitud de cilindros disponible se debe lograr una distribución regular y uniforme del material sobre todo el largo del cilindro. Una distribución irregular, aparte de reducir la producción, acentúa el desgaste en la zona de mayor entrada de arcilla, siendo necesario rectificar con más frecuencia. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.3. Extrusión

2.3.3.1. Factores dependientes de la materia prima

Los efectos de trabajar con una arcilla moldeada con tensiones, frecuentemente no se ven hasta que la pieza ha salido del secadero, del horno o incluso a veces hasta después de varios años de puesta en servicio.

Entre los múltiples factores que se han de tener en cuenta para lograr un buen resultado en la extrusión, hay unos que guardan relación con la materia prima, en cambio, otros dependen de la maquinaria utilizada para el moldeo.

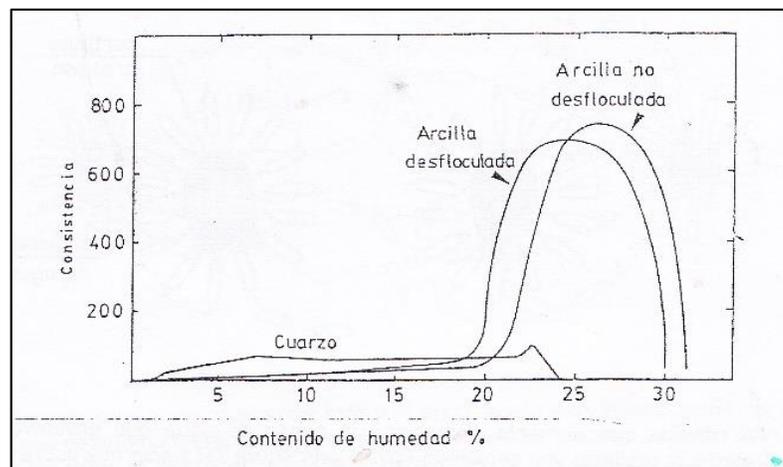
Para lograr unos buenos resultados en la extrusión es que el material a extrusionar presente las mínimas variaciones posibles, tanto en lo que respecta a su composición (plasticidad) como a su grado de preparación (granulometría más o menos fina) y a su contenido de humedad.

En una masa arcillosa, además de las partículas arcillosas plásticas, existe compuestos acompañativos, no plásticos, tales como el cuarzo, fedespaltos carbonato cálcico, cuyo comportamiento frente al agua difiere sensiblemente del propio de la arcilla.

En la figura 1-1 pueden verse tres curvas según W.E. Brownell, obtenidas con el plastografo de Brabender, en las que se relaciona la variación de la consistencia en función del contenido de humedad. dicho aparato consiste esencialmente en una amasadora, en la que se deposita el material seco y se van agregando cantidades crecientes de agua, midiendo la consistencia obtenida a través del par o esfuerzo desarrollado por la amasadora.

Fig. 2-1

Variación de la consistencia en función del contenido de humedad en dos muestras de arcilla y en otra de cuarzo pulverizado



Nota. Comparación de la consistencia entre arcilla y cuarzo pulverizado. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

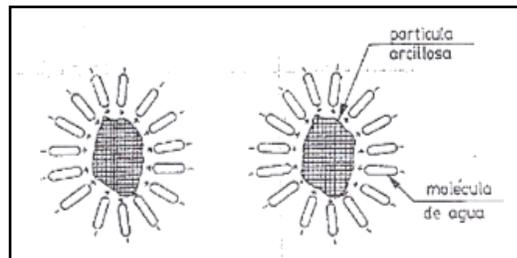
De las tres curvas dos pertenecen a una arcilla desfloculada y sin desflocular y la tercera a un material carente de plasticidad: cuarzo pulverizado.

Puede observarse que, cuando se agrega agua a las arcillas, no se consigue un incremento apreciable de la consistencia hasta que se alcanzan porcentajes de humedad relativamente altos: entre 18% y 20%.

Durante el periodo inicial el agua es absorbida por la superficie de las partículas arcillosas formando una carpa rígida que se comporta como si fuese una película sólida, tal como se representa en la Fig. 2-2.

Fig. 2-2

Inicio de la absorción de las partículas de arcilla

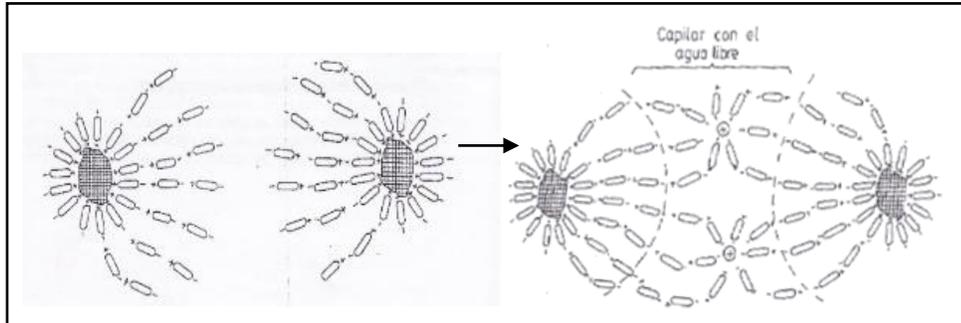


Nota. Comportamiento de las partículas de arcilla al inicio de la absorción. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

A medida que aumenta el número de capas de agua que envuelven a la partícula arcillosa van perdiendo rigidez (Fig. 2-3)

Fig. 2-3

Absorción de las partículas cuando aumenta la humedad



Nota. Comparación de las partículas de arcilla a medida que aumenta la cantidad de agua. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

La atracción capilar entre el agua libre y el agua ligada a la superficie de las partículas arcillosas determina un rápido incremento de la cohesión o fuerza de unión entre partícula hasta alcanzar el punto de máxima consistencia. Si se continúa agregando agua, la sección de los capilares aumenta y la atracción capilar disminuye, apreciándose en las curvas citadas (Fig. 2-1) un rápido descenso de la consistencia de la arcilla.

Sobre el 30 - 31% de humedad se obtiene una barbotina con una consistencia similar a la del polvo sin humectar.

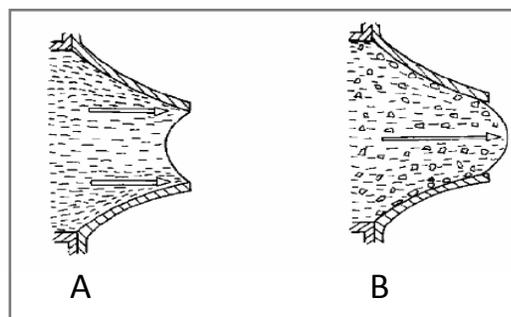
El cuarzo es un material carente de plasticidad, pues sus cargas eléctricas de superficie son insignificantes comparadas con las de un cristal arcilloso. El agua ligada a la superficie del cristal de cuarzo es mínima, por lo que a muy bajos contenidos de humedad ya existen moléculas de agua libres que desarrollan una pequeña consistencia. Las fuerzas de atracción capilar mantienen este bajo nivel de consistencia dentro de un amplio intervalo de humedades (hasta que se llenan todos los poros).

Las curvas de consistencia obtenidas durante el amasado de una arcilla pueden dar una idea bastante exacta acerca de su plasticidad.

En las arcillas magras, las consistencias máximas son menores pero se alcanzan con más bajos porcentajes de agua que en las plásticas. Dado que, por otra parte, las condiciones de flujo del material arcilloso a través de la extrusora dependen básicamente de su consistencia, se comprende la necesidad de mantener lo más constante posible la proporción de arcilla y desgrasantes en la mezcla, es decir, la plasticidad.

Fig. 2-4

Flujo de la mezcla



Nota. Casos comparativos de salida de arcilla por la boquilla. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

Si aumenta excesivamente el componente arcilloso, se incrementa paralelamente la cohesión de la masa y la resistencia interna que opone al flujo o deslizamiento entre

partícula y partícula; en cambio, deslizará mejor sobre las superficies metálicas (menor rozamiento). La consecuencia de esto será que el molde quedará desequilibrado, pues la arcilla fluirá con mayor velocidad por la periferia que por el centro (Fig 2-4, A).

En cambio, un incremento en el porcentaje de desgrasante traerá como consecuencia una disminución de la cohesión interna de la masa y un aumento de su resistencia externa por roce contra las paredes del molde (cantos vivos de los granos de arena). La arcilla fluirá con mayor velocidad por el centro del molde, quedando éste igualmente desequilibrado (Fig 2-4, B).

Incluso manteniendo constantes los porcentajes de arcilla y desgrasantes pueden presentarse modificaciones en las condiciones de flujo de la arcilla si se varía el contenido de humedad de la pasta tal como se deduce de las curvas de la Fig. 2-1.

Una vez alcanzado el punto de máxima consistencia, si se aumenta sensiblemente el porcentaje de humedad, la cohesión desciende rápidamente facilitándose el deslizamiento entre partícula y partícula, con lo cual la masa tenderá a fluir por el centro del molde con mayor velocidad. Algo similar pasará si se desciende el contenido de humedad y se trabaja por debajo de la zona de equilibrio de máxima consistencia.

Resumiendo si varía el contenido de humedad y la plasticidad de la arcilla, varía la consistencia o cohesión de la masa arcillosa, la velocidad de salida en la sección del molde, el grado de ordenamiento de las partículas de arcilla en distintos puntos de la pieza, su contenido de humedad y la contracción de secado.

Estas diferencias de contracción en la misma pieza, producen tensiones, las cuales si superan la capacidad de deformación elástica y plástica de la arcilla y su resistencia mecánica a tracción, se producirán roturas de secado.

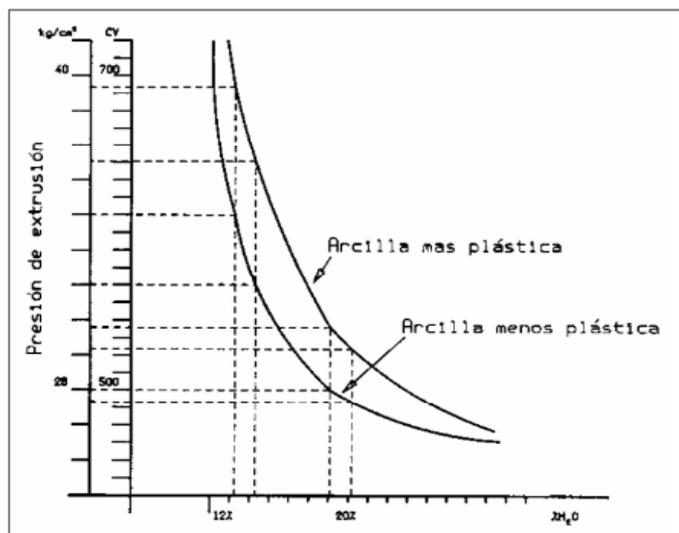
Para evitar estos problemas, es necesario que la consistencia de la masa arcillosa a extrusionar experimente el mínimo de variaciones posibles, para lo cual se debe mantener constante tanto su humedad como el porcentaje de arcilla y desgrasantes (plasticidad). (Fernández Abajo, 2000)

2.3.3.2. La presión

La presión no depende solo de la mayor o menor sección de salida de las boquillas sino también y principalmente de la consistencia de la arcilla. Cómo está es función a su vez de la plasticidad y del contenido de agua, se deduce que a medida que se aumenta la plasticidad de la arcilla y se reduce el contenido de humedad se incrementa la presión de extrusión, alargando la zona de compresión y logrando una mayor homogenización en el interior del cilindro. (Fernández Abajo, 2000)

Fig. 2-5

Relación entre presión de extrusión, humedad y plasticidad de la arcilla



Nota. Curva de relación entre presión, porcentaje de agua y plasticidad. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

2.3.3.3. El molde

En los moldes o boquillas se debe lograr:

1) Que la velocidad del flujo arcilloso sea la misma en toda la sección transversal de la barra.

El grado de orientación de las partículas aumenta con la velocidad de salida. Si la velocidad de salida varía en la sección de la pieza por cambios en la plasticidad o

humedad de la masa arcillosa, en la pieza cerámica recién extrusionada existirán diferentes grados de orientación. Cuanto mayor sea el grado de orientación menor será el contenido de humedad y más baja la contracción de secado.

Estas diferencias: grado de orientación, humedad y contracción, puede originar tensiones y roturas de secado.

2) Que la resistencia que encuentre al barro al salir a través de la boquilla sea suficiente para lograr una buena compactación. Es decir, que la arcilla quede bien compactada ya que de ello va a depender la resistencia y calidad final del producto acabado.

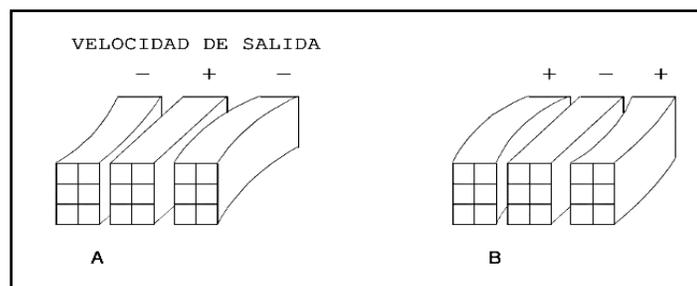
La velocidad del flujo arcilloso se aumenta o disminuye aumentando o disminuyendo la conicidad de las boquillas tal como fue señalado al hablar de los embudos (Fernández Abajo, 2000)

2.3.3.3.1. Relación velocidad de salida y moldeo

En un molde de tres salidas, en el que se están extrusionando piezas huecas, se observa que la barra del centro avanza más rápidamente que la de los laterales o bien al revés, es decir, que son las dos barras exteriores las que avanzan con mayor rapidez. Estas piezas después del secado se presentan deformadas tal como puede verse en la figura 2-6, A y 2-6, B y se aprecian diferencias en dimensiones.

Fig. 2-6

Efectos de la velocidad de salida irregular



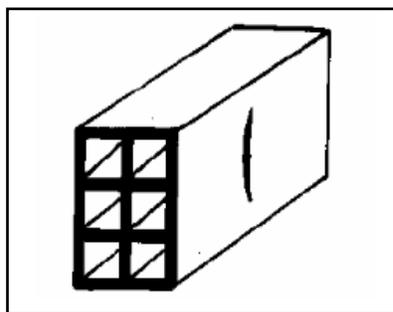
Nota. Influencia de la velocidad de salida a través de la boquilla. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

En el primer supuesto, la resistencia externa debida al rozamiento de la arcilla sobre las paredes del molde, es superior a la resistencia interna que se opone al flujo o deslizamiento entre partícula y partícula. En consecuencia, en el supuesto de la figura 2-6, A la arcilla sale con más velocidad por el centro y en el supuesto de la figura 2-6, B por los laterales. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.3.3.2. Relación mezcla y moldeo

Fig. 2-7

Ladrillo fisurado



Nota. Ladrillo agrietado por secado excesivamente. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

La pieza de la figura 2-7 presenta un corte perfectamente plano, por lo que no cabe pensar que la grieta que aparece en el centro pueda deberse a un exceso de velocidad en los laterales.

Esta grieta suele ser característica de arcillas plásticas y de baja porosidad, a las que se ha sometido a un secado excesivamente rápido y con insuficiente paso de aire a través de la pieza. En estas condiciones, el secado se desarrolla con mucha desigualdad, pues la pieza seca exteriormente quedando el centro verde. Cuando el secado alcanza el núcleo, el exterior ha constituido como una especie de marco rígido, carente de elasticidad y plasticidad para acompañarlo en sus contracciones, por lo que la pieza se agrieta por el centro.

También se presenta este problema si las piezas se juntan demasiado en el secadero, con lo cual se producen grandes diferencias de secado entre la parte superior e inferior

y el centro de la pieza. Como norma general en piezas huecas, se deberían dejar unos 5 mm de separación por cada kilo de peso de la pieza seca, lo cual viene a representar entre 1,5 y 2 cm. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.4. Secado

El secado es una de las fases más delicadas y trascendentes del proceso de fabricación. Un secadero con problemas se puede convertir en un cuello de botella en el que se estrangula toda la producción y rentabilidad de una instalación.

El secado, por otra parte, es una operación muy compleja en la que convergen múltiples factores: naturaleza de la arcilla, grado de preparación y homogenización, tensiones que pueden haber tenido lugar durante el moldeo, diseño y formato de la pieza, uniformidad o des uniformidad de secado, etc.

2.3.4.1. Mecanismo del secado en relación con la materia prima

En el proceso de secado se debe recorrer el camino inverso al seguido en el amasado de la arcilla.

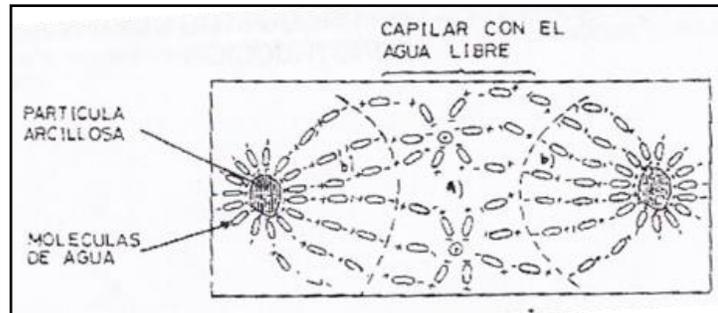
La primera humedad que pierde la arcilla es la última adicionada, es decir, el agua libre que ocupan los capilares (Fig. 2-8). El agua libre también se llama agua de plasticidad porque solo a partir del momento en que se interponen moléculas de agua libre entre partícula y partícula, la arcilla se deforma bajo la acción de una fuerza externa, es decir, se comporta como un material plástico.

Representación esquemática de las dos clases de agua a eliminar durante el secado:

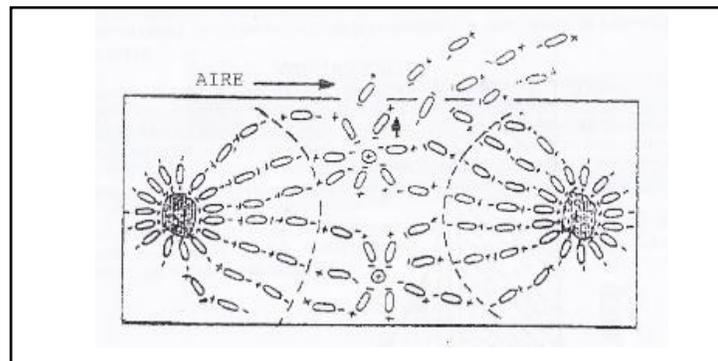
Agua libre, no ligada por fuerzas eléctricas a la arcilla

Agua fijada eléctricamente a la superficie de las partículas arcillosas.

El agua libre también se llama agua de plasticidad porque solo a partir del momento en que se interponen moléculas de agua libre entre partícula y partícula, la arcilla se deforma bajo la acción de una fuerza externa, es decir, se comporta como un material plástico.

Fig.2-8*Primera humedad*

Nota. Partículas de arcilla perdiendo agua libre. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

Fig.2-9*Primera fase de secado*

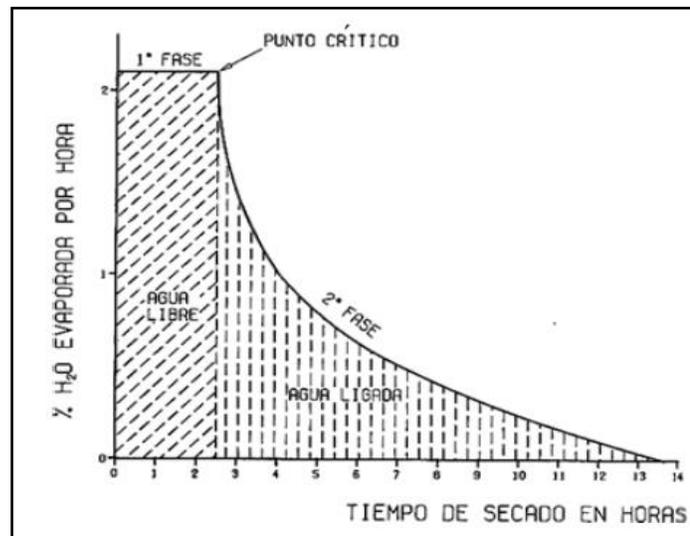
Nota. Partículas de arcilla pasando por la perdiendo agua libre que asciende con ayuda del aire. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

Durante la primera fase de secado (Fig. 2- 9), el aire arrastra las moléculas de agua libre situadas en la superficie de la pieza dando lugar a un movimiento ascendente o flujo de agua libre hasta la superficie, para llenar el espacio vacío dejado por las moléculas de agua que han pasado a la atmósfera.

La cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo es constante en esta primera fase, tal como puede verse en la Figura 2- 10.

Fig. 2-10

Variación de rendimiento del secado en función del tiempo



Nota. Porcentaje de agua evaporada a través del tiempo. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

El rendimiento se mantendrá constante mientras el agua fluya hasta la superficie con la misma velocidad con que se evapora, lo cual solo sucederá mientras exista agua libre en el interior de los capilares.

Hay que resaltar, sin embargo, que la velocidad de evaporación del agua en la superficie de la arcilla es la mitad o menos de la velocidad de evaporación del agua en la superficie de un estanque, lo cual significa que, aunque sea agua libre existe siempre una atracción entre el agua y las partículas arcillosas que reduce sensiblemente la velocidad de evaporación.

En la misma Figura 2-10 se observa que durante las dos primeras horas y media la cantidad de agua evaporada se mantiene constante: aproximadamente 2.1 % /hora. Sin embargo, a partir del llamado “punto crítico”, el rendimiento desciende rápidamente, lo cual significa que se acaba de entrar en la 2ª fase de secado y que se está produciendo un cambio sustancial en los mecanismos del proceso.

Este cambio ocurrirá en el momento en que el agua deja de fluir hasta la superficie, porque en la pieza ya no existe agua libre. Entonces comienza la evaporación del agua ligada eléctricamente a la superficie de las partículas arcillosas, por lo tanto es más difícil la evaporación cuanto más cerca se encuentran las moléculas de agua de la superficie del cristal arcilloso. De ahí, que ha medida que avanza el secado, el rendimiento se reduce exponencialmente.

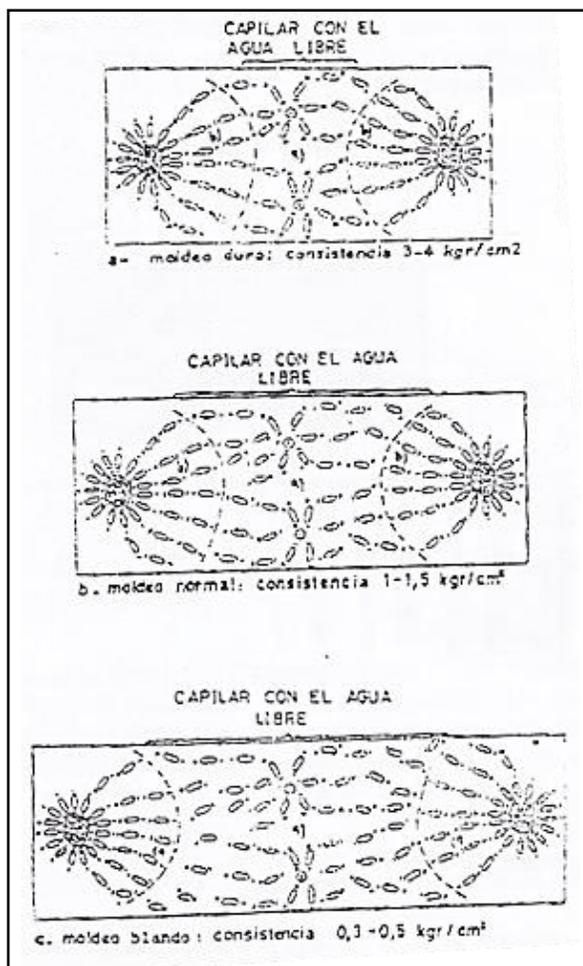
Durante esta segunda fase de secado, el agua no se evapora en la superficie de la pieza sino en el interior de los capilares, en el mismo punto en que se encuentra ligada a la partícula arcillosa. Por lo tanto, el arrastre y depósito de sales solubles generadoras de eflorescencias desde el interior de la pieza hasta la superficie, solamente tiene lugar durante la primera fase de secado. A partir del “punto crítico” se interrumpe la deposición de sales sobre la superficie de la pieza.

Como la solubilidad de las sales aumenta con la temperatura, lo recomendable sería mantener baja la temperatura del secadero durante la primera fase del secado para reducir al mínimo el nivel de eflorescencias en el producto cocido (estéticamente no agradable). Esto en la práctica no es aconsejable realizarlo a menos que se disponga de un pre-secadero con ventilación natural.

Si la arcilla contiene sales solubles susceptibles de dar eflorescencias en secado, éstas aparecerán en forma tanto más intensa cuanto más alta sea la temperatura del secado.

Fig. 2-11

Variación del contenido de agua libre y de la contracción de secado en función de la consistencia de arcilla



Nota. Comparación de la consistencia de la arcilla. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

La figura 2-11- representa lo que sucede cuando una misma arcilla es amasada con distintos porcentajes de humedad. A medida que se aumenta el porcentaje de agua libre, se reduce la consistencia de la pasta y se incrementa la separación entre partícula y partícula, lo cual dará como consecuencia una mayor contracción.

Con la contracción se aumenta el peligro de roturas en secadero, de ahí que resulte más largo y problemático el secado de un ladrillo manual, moldeado con un alto porcentaje de humedad, que el secado de un ladrillo manual moldeado en la galletera con un porcentaje de agua sensible más bajo. Las mejores condiciones de secado se logran al moldear en prensas, con porcentajes de humedad por debajo el “punto crítico”

2.3.4.2. La contracción de secado

La contracción de secado constituye un problema importante en la industria ladrillera, ya que son las diferencias de contracción las que dan lugar a la rotura de las piezas en secado. En una misma arcilla, la contracción de secado aumenta con el porcentaje de humedad de moldeo tal como se presenta en la tabla:

Tabla II-4

Relación presión, humedad y contracción

Presión de extrusión	H2O de moldeo	Contracción de secado
7 kg.	21,66	8,22
12 kg.	18,13	5,74
17 kg.	15,75	4,74
22 kg.	14,91	3,91

Nota. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

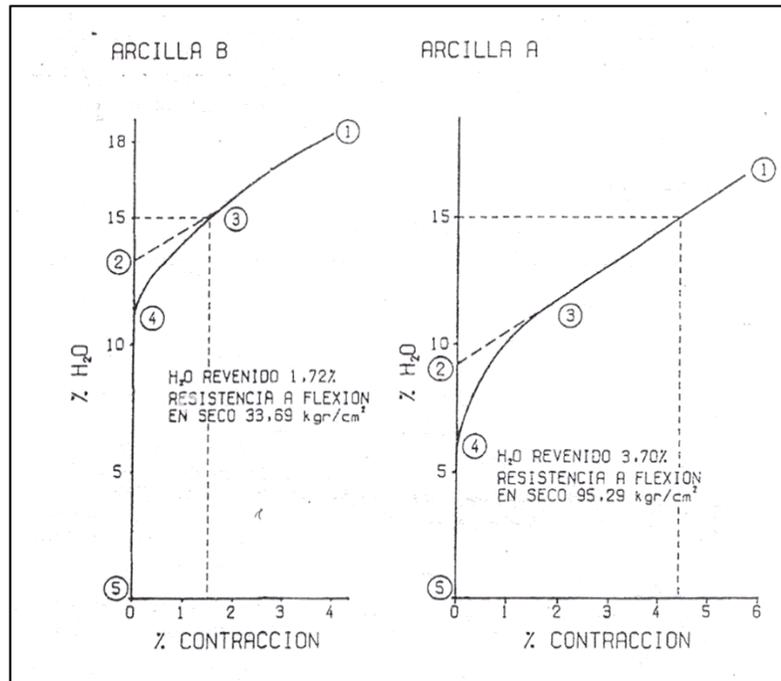
A una misma humedad de moldeo pueden corresponder distintas contracciones de secado, si varía la granulometría de la arcilla. Cuando más fina sea la arcilla mayor será la contracción para una determinada humedad de moldeo.

Así por ejemplo, en la Fig. 2-12 se observa que a un 15% de humedad corresponde un 1,5% de contracción en la arcilla B (magra) y un 4,4% en la arcilla A (plástica).

Las curvas presentes en la figura 2-12 son las curvas de Bigot, que relacionan la contracción de secado con el contenido de humedad de la arcilla.

Fig. 2-12

Variación de la contracción de secado en función del contenido de humedad de las arcillas A y B



Nota. Comparación de porcentaje de contracción en función del agua de dos muestras. Fuente: Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos (2000).

Siguiendo dichas curvas se observa que el punto 1 representa el estado de la pieza al comenzar el secado y en abscisas la contracción que tendrá lugar a lo largo del mismo.

Al comenzar el secado las partículas arcillosas no se tocan ya que están separadas por el agua libre y el agua ligada.

La recta 1-2 materializa la primera fase del secado, durante la cual se va eliminando el agua interpuesta entre la partícula, manteniéndose constante la relación entre el agua evaporada y la contracción a que da lugar dicha evaporación.

Cuanto más fina sea la arcilla, mayor será la superficie específica y por lo tanto mayor también la cantidad de agua interpuesta entre partícula y partícula.

En el punto 2 las partículas entran en contacto y la contracción termina.

La recta 2-5 representa el agua contenida en los poros de la pieza cuando ha terminado la contracción de secado. Cuanta más alta sea mayor porosidad tendrá el material y con mayor velocidad se desarrollará el proceso.

La humedad en el punto 2 constituye además una indicación valiosa acerca de la granulometría de la arcilla. Las partículas más gruesas son las que primero entran en contacto, quedando entre ellas espacios huecos que son rellenados por las partículas más finas. Una alta porosidad indica un predominio de las partículas de las partículas de mayor tamaño y un volumen insuficiente de finas para rellenar los espacios huecos formados por aquellas.

En la práctica, el secado no sigue la línea 1-2-5 sino la 1-3-4-5, pues no todas las partículas entran en contacto al mismo tiempo, ya que la superficie seca con mayor rapidez que el interior; existiendo una fase intermedia en la parte del agua evaporada procede de la interposición entre partícula y partícula, mientras otra, cada vez más importante, se evapora en los capilares y no produce contracción.

la desviación de la línea 3-4 con respecto a la 3-2-4 constituye una información precisa sobre la desigualdad con la que produce el secado y las dificultades que puede presentar una arcilla, ya que dicha desigualdad va acompañada de diferencias de contracción y de tensiones.

La mayor desviación de la curva de la arcilla A con respecto a la curva de la arcilla B de la Fig. 2-12 explica los problemas de secado que presenta esta arcilla a escala industrial.

Por otra parte, dado que las diferencias de secado en la pieza aumenta a medida que se acelera el proceso, se deduce la necesidad de suavizar las condiciones de secado y alargar el ciclo en las arcillas que se apartan sensiblemente de la curva ideal, como por ejemplo la arcilla A. Las mayores contracciones de secado se presentan entre el punto 1 y el 3, por lo que es entre dichos puntos cuando las condiciones de secado deben ser más suaves.

El proceso se puede ir acelerando entre 3 y 4 y, a partir de este último punto, el secadero se hará trabajar a máximo rendimiento. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.4. Calentamiento de la pieza

La primera etapa de secado dura poco más de 2 horas, ya que es el tiempo que se considera necesario para el calentamiento del material; durante esta fase la alta humedad relativa del secadero (95% a 97%) evita el secado de la pieza. Incluso la humedad condensada sobre las superficies frías puede dar lugar a un ligero incremento del contenido de agua en la pieza. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.4.1. Eliminación del agua de contracción

En la segunda etapa de secado comienza el secado propiamente dicho, en esta etapa el peligro de roturas es máximo ya que en ella tiene lugar la contracción de la pieza y son las diferencias de contracción la que dan lugar a tensiones y roturas en el material seco. Es preciso lograr una gran uniformidad de secado, lo cual se consigue estableciendo una buena recirculación de aire a través de la pieza. De la uniformidad de ventilación a través de la pieza dependerá la velocidad a la que se puede llevar el secado.

Se debe lograr, sobre todo, un buen paso de aire a través de las perforaciones de la pieza, ya que en ellas hay una gran superficie evaporante para el pequeño volumen de aire disponible, por lo que enseguida se llega a un punto de saturación, interrumpiéndose el secado. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.4.2. Eliminación del agua de porosidad

Al no producirse contracciones en la pieza, se pueden forzar las condiciones de secado elevando la temperatura y reduciendo la humedad relativa del aire.

A medida que transcurre el tiempo se aprecia una caída exponencial del secado de la pieza, pues cada vez el agua está más fuertemente ligada a la arcilla y el secado tiene lugar más lejos de la superficie.

El tiempo que debe transcurrir después de que las contracciones en la pieza no se presentan, depende del tiempo necesario para que la pieza se sitúe entre el 2% y 3%. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.1.4.3. Relación secado y contracción de la pieza

Estos defectos se deben a desigualdades de secado en la misma pieza las cuales dan lugar a su vez a diferencias de contracción y resistencia.

La deformación plástica tiene un límite que se puede llegar a sobrepasar si el secado es muy rápido y se producen grandes diferencias de humedad y contracción entre las esquinas y la zona central de la pieza.

Entonces si la resistencia del material es incapaz de soportar las tensiones de tracción se producen grietas en los puntos de menor resistencia que corresponde al centro de los cantos y la testa.

Las arcillas de baja plasticidad presentan defectos por:

Menor capacidad de deformación elástica y más baja cohesión y resistencia a las tensiones.

Mayores tensiones de molde causadas por el alto rozamiento externo de estas arcilla y por la dificultades de lograr un buen flujo arcilloso en los cantos.

En arcillas de muy baja plasticidad estas tensiones pueden dar lugar a la aparición de dentellados saliendo la pieza molde. (Fernández Abajo, 2000)

2.3.5. Cocción

La cocción constituye la parte más importante y delicada del proceso de fabricación confiere a la pieza las propiedades deseadas, al mismo tiempo que pone de manifiesto si las fases precedentes, preparación, moldeo y secado, se han llevado a cabo correctamente o no.

2.3.5.1. Reacciones de cocción

Durante el calentamiento de las arcillas se producen una serie de reacciones que se mantiene exteriormente en forma de:

- Absorción y desprendimiento de calor
- Desprendimiento de gases
- Dilataciones y contracciones, etc.

2.3.5.2. La curva de temperaturas

Permite evitar las roturas de precalentamiento, cocción o enfriamiento.

Estas roturas, lo mismo que sucede con las de secado, son producidas por tensiones de tracción derivadas de las diferencias de contracción o dilatación que tienen lugar en la misma pieza. Estas diferencias, dependen a su vez, de los gradientes térmicos que en un momento determinado puedan existir en la pieza, los cuales varían a lo largo del proceso de cocción en función de las reacciones endotérmicas o exotérmicas que se producen o de la mayor o menor difusividad térmica del material.

La pieza responde a las tensiones de cocción deformándose elásticamente. La deformación elástica tiene un límite que se puede llegar a sobrepasar si el calentamiento o enfriamiento son muy rápidos. Entonces la pieza queda sometida a tensiones. Si dichas tensiones son superiores a la resistencia que el material es capaz de oponer a las mismas, se producirán grietas de cocción.

Durante la cocción, la arcilla sufre profundas transformaciones que afectan tanto a su elasticidad como a su resistencia mecánica.

2.3.5.2.1. Desconchados en forma de bañera

Son originados por el vapor de agua acumulado en el interior del ladrillo, este vapor proviene del agua residual de secado o del agua contenida en la pieza al entrar en el horno; suelen ser bastantes extensos, en forma de bañera y con separación de partes enteras del ladrillo.

2.3.5.2.2. Grietas de precalentamiento

Las grietas que aparecen entre los 450 y 650 °C se debe a un aumento demasiado rápido de la temperatura en esta zona lo cual da lugar a diferencias importantes de dilatación entre periferia y núcleo de la pieza. Cuando mayor sea el contenido en cuarzo de la arcilla y más alta su dilatación entre los 500 y 600 °C, más probabilidades habrá de que aparezcan este tipo de grietas.

2.3.5.2.3. Condensación de humedad

Si se introduce en el horno material húmedo y frío, los gases del horno conteniendo humedad y vapores ácidos, se puede enfriar por debajo del punto de rocío de ambos, dando lugar a condensaciones sobre la superficie de las piezas secas.

Si la condensación es de humedad, entonces el agua remoja la superficie de la pieza seca y va penetrando lentamente hacia el interior, hasta producir un aflojamiento de toda la textura, que se manifiesta en la pieza cocida, por un sonido sordo, una baja resistencia mecánica y toda una red de microfisuras superficiales.

2.3.5.2.4. Cocción insuficiente

Un ladrillo insuficiente cocido es un producto inestable que absorbe humedad ambiental y dilata a lo largo del tiempo.

Un ladrillo insuficiente cocido es un producto poroso y poco resistente a la helada. Además contiene un mayor porcentaje de sales solubles generadoras de eflorescencias y es más permeable a la humedad, presentando una mayor tendencia a la aparición de eflorescencias.

2.3.5.2.5. Cocción excesiva

Una pieza demasiado cocida contiene un alto porcentaje de vidrio el cual retarda el enfriamiento, pues, es mal conductor del calor. Además, la pieza demasiado vidriosa es muy sensible al impacto, rompiéndose en mil pedazos al menor golpe, lo cual provoca las quejas del albañil. Su insuficiente porosidad dificulta la puesta en obra.

La sobre cocción puede ser origen de deformaciones, hinchamientos y falta de exactitud en las medidas de las piezas.

2.3.5.2.6. Grietas de enfriamiento

Como ya se ha indicado anteriormente, se forma en arcillas silíceas entre 650 y 400 °C como consecuencia de la contracción.

En arcillas calcáreas de cocción blanca o amarillenta, pueden aparecer a cualquier temperatura por debajo de los 600 °C, incluso después de la salida del material del horno.

Estas grietas no se pueden ver a simples vista y es preciso “sonar” el ladrillo para darse cuenta de que está figurado (sonido apagado).

2.4. Definiciones

2.4.1. Absorción de agua

Incremento de peso debido a la presencia de agua en los poros accesibles, expresado como porcentaje del peso seco de la probeta.

2.4.2. Dimensión nominal

Dimensión de las aristas especificada por el fabricante.

2.4.3. Dimensión real

Dimensión obtenida como promedio de las mediciones en las caras de cada ladrillo, especificando las tolerancias establecidas en esta norma.

2.4.4. Eflorescencia

Manchas superficiales generalmente blanquecinas, producidas por la cristalización de sales solubles arrastradas por el agua hacia el exterior.

2.4.5. Exfoliación

Láminas, escamas o levantamientos superficiales del material.

2.4.6. Peso nominal

Peso de los productos especificado por el fabricante.

2.4.7. Peso real

Peso obtenido de cada producto, especificando las tolerancias establecidas en esta norma.

2.4.8. Ladrillo defectuoso

Ladrillo cerámico que no cumple con los requisitos de la norma.

2.4.9. Lote

Grupo de ladrillos de la misma forma y tamaño, fabricados en condiciones similares y que se somete a inspección como un conjunto unitario.

2.4.10. Muestra

Uno o más elementos extraídos de un lote con objeto de proporcionar información sobre este.

2.4.11. Número de aceptación

Número máximo de unidades defectuosas que son tolerables en una muestra para la aceptación del lote.

2.4.12. Número de rechazo

Número de unidades defectuosas que son suficientes para originar el rechazo del lote.

2.4.13. Partida

Cantidad de producto de características similares que satisface un pedido.

2.4.14. Unidad de muestreo

Cada uno de los ladrillos extraídos del lote y destinados a inspección.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS O

DIAGNÓSTICO

3. Análisis o diagnóstico

La Cerámica San Luis ha pasado por varios cambios en el proceso productivo con el objetivo de minimizar la cantidad de producto no conforme, pasando de utilizar arcilla como única materia prima a agregar el uso de arena para formar una mezcla que permita menor cantidad de ladrillos fisurados o partidos

Pero este cambio no logro alcanzar la calidad esperada por la empresa dando lugar a nuevos análisis que permitieron identificar la necesidad de calibrar las cámaras de secado e implementar sensores de humedad y temperatura en cada una, con respecto a la materia prima cambió el uso de arena por el uso de limo, la utilización de moldes de acero de dos salidas fue remplazada por un molde de porcelana de tres salidas.

Actualmente en la recepción de la materia prima (arcilla y limo) se prioriza que no exista un exceso de terrones con arcilla inadecuada, piedras, arena y otros, se registra en planilla la fecha, el nombre del conductor, la placa de la camioneta, la hora de la entrega y las posibles observaciones.

Luego de la recepción, se humedece la materia prima para su almacenamiento o se realizan pruebas de residuo para dosificar correctamente la mezcla. La determinación del porcentaje de residuo se realizará tomando muestras de distintas partes de cada montículo de arcilla y limo, que serán trituradas por separado para secar cada muestra a fuego moderado, pesar 200 gramos una vez seca la muestra y tamizar a través de una malla Tyler 150 con ayuda de agua, la materia que no paso por la malla se pesa y seca para determinar el porcentaje de residuo.

Tras determinar el porcentaje de residuo presente en el limo y arcilla se determina la cantidad de paladas de cada uno para formar una mezcla con 5% a 6% de residuo.

La mezcla entra a tolva para el inicio de la producción donde pasara por 2 procesos de triturado, permitiendo una mejor consistencia al ser humedecida en la mezcladora.

La masa formada se lamina con espesores de 3 a 4 mm y pasa por la extrusora donde la presión de vacío permita una mayor homogenización a través del desairado de la masa compactándola y brindando mayor dureza para el moldeo adecuado del producto.

El ladrillo extruido infrecuentemente es pesado y medido para corroborar que sus variables estén dentro de los parámetros ya establecidos.

Los ladrillos extruidos se colocan en las vagonetas con ayuda de la torre de automatismo de carga y son trasladadas a las cámaras de secado, la etapa de secado es una de las etapas más delicadas, en esta etapa el ladrillo extruido va perdiendo la humedad de manera gradual hasta el alcanzar una humedad menor al 3%, las temperaturas deben aumentar gradualmente a lo largo de la cámara de secado de 20°C hasta un máximo de 65°C, inversamente a la temperatura la humedad mayor al 90% va decreciendo, una vez seco el material el ladrillo es trasladado a la zona de carga donde se procederá a colocar el producto seco en vagones para el ingreso al horno.

Dentro del horno los ladrillos secos pasan por una etapa de precalentamiento para evitar cambios bruscos de temperatura que resulten en ladrillos fisurados, luego de la etapa de precalentamiento se pasa a la etapa de cocción donde el ladrillo es sometido a temperaturas mayores a los 600°C, tras terminar la etapa de cocción sigue la etapa de enfriamiento donde el producto terminado va descendiendo lentamente su temperatura hasta la salida del horno.

Tras la salida de los vagones del horno se descarga y clasifica el producto terminado.

En el proceso se registra el número de vagones ingresado a las cámaras de secado en cada turno, el total de ladrillos secos aceptados para la etapa de cocción, las temperaturas en el horno, así como los ladrillos cocidos aceptados.

3.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo de este proyecto se opta por la investigación descriptiva y explicativa, ya que en la investigación descriptiva permite profundizar sobre un tema, describirlo y recolectar información, por lo cual es ideal para conocer el proceso y recolectar información sin afectar en el entorno de estudio mientras que la investigación explicativa permite analizar la información recolectada, identificar las relaciones entre las variables estudiadas y responder que efectos provocan algunas variables a otras.

3.2. Desarrollo del análisis

Para el desarrollo del análisis se procedió a identificar cada etapa del proceso así como las variables cuantificables que pueden ser registradas durante el análisis del proceso productivo, se desarrollaron planillas de control para las variables identificadas procediéndose a la recopilación de datos, los procedimientos a realizar en cada etapa son:

3.2.1. Preparación de la mezcla

En la etapa de preparación de la mezcla se determina cuántas paladas de limo y arcilla son necesarias para contar con un porcentaje de residuo entre 5% a 6% una vez preparada la mezcla.

Para el registro y análisis de proceso productivo es necesario conocer si la mezcla utilizada para producción está dentro del parámetro ya establecido por la Cerámica San Luis, para lo cual se tomara muestras de la mezcla y se procederá a determinar el porcentaje de residuo con el equipo del laboratorio de la empresa, con el objetivo de analizar los efectos del residuo en el proceso productivo.

3.2.2. Etapa de amasado

La mezcla es triturada antes de pasar a la mezcladora, para conseguir una mejor consistencia una vez sea humedecida en ella, considerando que la mezcla entra de manera continua a la mezcladora, no se puede garantizar que la humedad sea uniforme por lo cual es necesario analizar el porcentaje de humedad de la mezcla, tras pasar por la mezcladora y luego de la etapa de moldeo.

No conocer el porcentaje de humedad de la mezcla permite la producción de ladrillos extruidos deformes o presencia de fisuras luego de la etapa de secado debido a un exceso de humedad que incrementa el porcentaje de contracción de secado.

Considerando la importancia de la humedad de la mezcla se determinó extraer muestras de la mezcla ya humedecida así como del ladrillo extruido, para proceder a pesar y secar las muestras en el laboratorio y determinar con los resultados obtenidos el porcentaje de humedad que se maneja antes y después de la etapa de moldeo.

3.2.3. Etapa de moldeo

En la etapa de moldeo interviene la extrusora la cual se encarga de desairar la masa formada por la mezcla junto con agua, compactando la masa y homogenizándola.

La máquina extrusora cuenta con un manómetro y un durómetro que permite conocer la dureza de la masa así como la presión aplicada para el moldeo.

Considerando que la humedad afecta en la etapa de moldeo es necesario registrar los valores de presión y dureza presentes según el porcentaje de humedad.

Por lo cual al momento de tomar una muestra de masa para determinar la humedad, se registrara en planilla los valores de la presión y dureza.

3.2.4. Dimensiones y pesos del ladrillo

La Cerámica San Luis tiene establecida las dimensiones y pesos del ladrillo extruido y cocido, sin embargo estas variables no se controlan con regularidad.

El control de las dimensiones y pesos del ladrillo extruido y cocido permite detectar la existencia de un problema en el proceso productivo, como un exceso de humedad, materia prima inadecuada entre otros.

Considerando la importancia del control de estas variables y su relación con las variables de las etapas anteriores, se determina extraer una a dos muestras del ladrillo extruido y de ladrillo cocido, para pesar, medir sus dimensiones (alto, ancho y largo) y registrarlas en planilla, considerando que se conoce el porcentaje de residuo, porcentaje de humedad, dureza y presión, para analizar su relación con estas variables en el caso de que las dimensiones y peso de la muestra estén fuera de los parámetros establecidos.

3.2.5. Etapa de secado

La etapa de secado es una de las más delicadas, ya que se debe priorizar un secado uniforme que solamente se da si las temperaturas y humedades dentro de cada cámara de secado estan dentro de los parámetros ya establecidos, además de que la materia prima, el porcentaje de residuo, la humedad y la homogenización sea la adecuada.

En la etapa de secado se consideró realizar controles de las temperaturas y humedades en cada cámara de secado, registrando los valores presentes en los sensores de cada sección de la cámara de secado para corroborar el decrecimiento de la humedad y el aumento de la temperatura a lo largo de la cámara.

En cada cámara de secado se pesara y medirán 2 ladrillos extruidos, para determinar en qué tiempo dejara de experimentar cambios en sus medidas. Se determinara el tiempo en que se reducirá su humedad a un valor menor al 3% para lo cual se determinara el peso aproximado del ladrillo al perder toda su humedad con el porcentaje de humedad determinado luego de la etapa de moldeo y se procederá a determinar los cambios del peso del ladrillo a través del tiempo.

3.3. Análisis de las etapas del proceso

3.3.1. Recepción de la arcilla y limo

Para la recepción de la materia prima se realizará una inspección del material para proceder a su aceptación.

3.3.1.1. Condiciones no aceptables de arcilla

- El material será rechazado, si presenta un exceso de piedras, ramas u otros.
- No debe tener presencia de arena.
- Los terrones de arcilla en su mayoría deben presentar un color plomo o ligeramente amarillo, caso contrario el material deberá ser rechazado, por presentar arcilla no adecuada para el moldeado es decir indicativos de sílice, exceso de limo u otros.

3.3.1.2. Condiciones aceptables del limo

- El material será rechazado, si presenta un exceso de piedras, ramas u otros.
- No debe tener presencia de arena.
- Se debe evitar el exceso de terrones de arcilla.
- El color característico del limo debe ser ligeramente amarillo.

3.3.2. Determinar el porcentaje de residuo

Determinar el porcentaje de residuo del limo y la arcilla, brinda la información necesaria para determinar el número de paladas que se requerirá de cada componente.

El porcentaje del residuo tanto en la arcilla como en el limo es una característica importante a evaluar, debido a su relación con la plasticidad y el secado. Las arcillas con un elevado porcentaje de residuo dan como resultado productos menos resistentes al secado, mientras que un bajo porcentaje de residuo se interpreta como elevada plasticidad brindando facilidad al conformar el producto, pero con contracciones elevadas durante el secado. Por lo cual determinar el porcentaje de residuo para la mezcla es de vital importancia.

Es así que la Cerámica San Luis a determinado que el porcentaje de residuo debe estar entre el 5% a 6%, ya que ha mostrado resultados favorables en el secado.

3.3.2.1. Obtención del residuo en la Cerámica San Luis

Si bien la arcilla y el limo aceptada para el proceso productivo son adecuadas, no significa que sean totalmente homogéneas. Con eso en cuenta, se procederá a tomar muestras de distintos puntos de los montículos de arcilla y limo, con el fin de que el resultado obtenido represente el porcentaje de residuo de cada montículo.

Las muestras son trituradas con ayuda de un mortero, luego se secan a fuego moderado para eliminar la humedad. Se pesa 200 gr. de la muestra que pasara por un tamiz Tyler 140 con ayuda de agua , la materia que no haya pasado el tamiz se secara a fuego moderado para posteriormente ser pesado y calcular el porcentaje de residuo del montículo.

Conociendo el porcentaje de residuo de la arcilla y limo se procederá a determinar el número de paladas de cada componente de modo que la mezcla de ambos presente un porcentaje de residuo entre el 5% al 6%.

Se procedió a determinar el residuo en la mezcla presente en producción, registrando los resultados obtenidos así como la contracción presente tras el secado y cocido del producto.

3.3.2.2. Análisis del porcentaje de residuo

Los datos registrados, permiten observar similitud en las contracciones de mezclas con un 5% a 5,5% de residuo.

Las muestras con 4% de residuo muestran porcentajes de contracción elevados a comparación de las muestras de 5% y 5,5%.

Las diferencias de porcentaje de contracción se aprecian mejor en la etapa de cocido, como en el caso de las muestras con 4% y 6,5% de residuo, que presentan valores similares en la etapa de secado, por lo cual se opta por tomar en cuenta la contracción en cocido.

Determinar el porcentaje de residuo es necesario, si bien un porcentaje de residuo no muestra el mismo porcentaje de contracción en los ladrillos, si existe similitud en las contracciones, demostrando que en valores altos de residuo la contracción es menor a comparación de ladrillos con un bajo porcentaje de residuo.

A continuación se presenta el análisis de la relación del residuo con las dimensiones y peso del ladrillo, considerando que la humedad de entrada esta entre 17% y 17,5%

3.3.2.3. Análisis del porcentaje de contracción húmedo a seco

Tabla III-1

Diferencia porcentual de las dimensiones de la muestras húmedo-seco

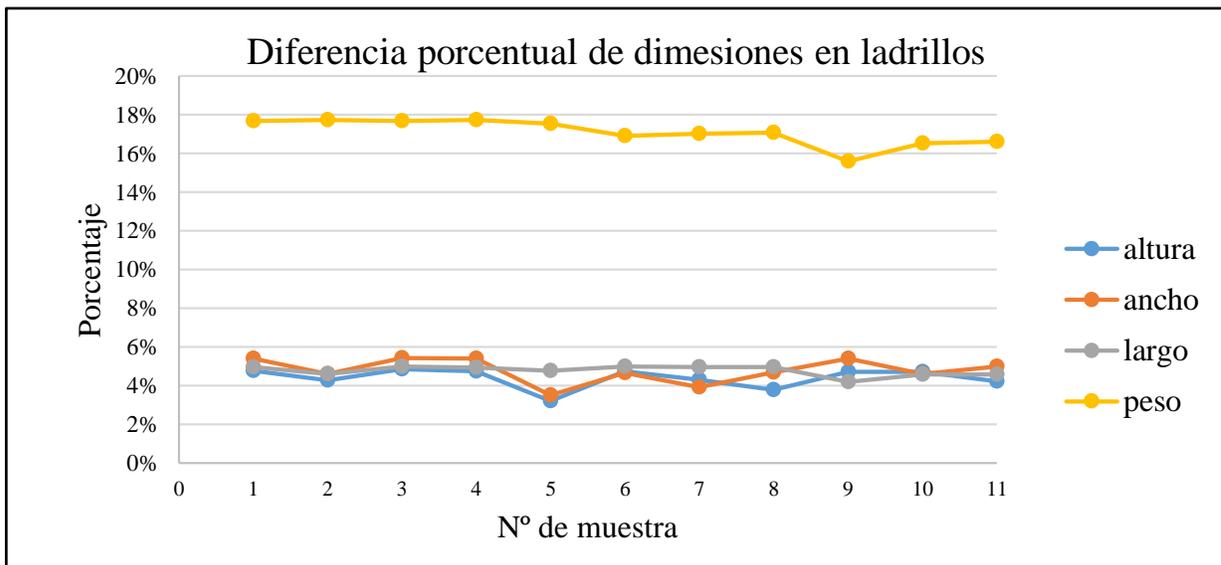
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuo	4%	4%	4%	4%	5,00%	5,50%	5,50%	5,50%	6,50%	6,50%	6,50%
altura	4,76%	4,28%	4,84%	4,74%	3,21%	4,74%	4,30%	3,78%	4,71%	4,71%	4,21%
ancho	5,38%	4,62%	5,43%	5,38%	3,50%	4,65%	3,91%	4,69%	5,38%	4,62%	5,00%
largo	4,96%	4,60%	4,98%	4,94%	4,78%	4,98%	4,96%	4,96%	4,18%	4,59%	4,56%

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Fig. 3-1

Gráfica diferencia porcentual de las dimensiones de la muestras húmedo-seco

Nota. Comparación de porcentaje de contracción de las muestras en función al

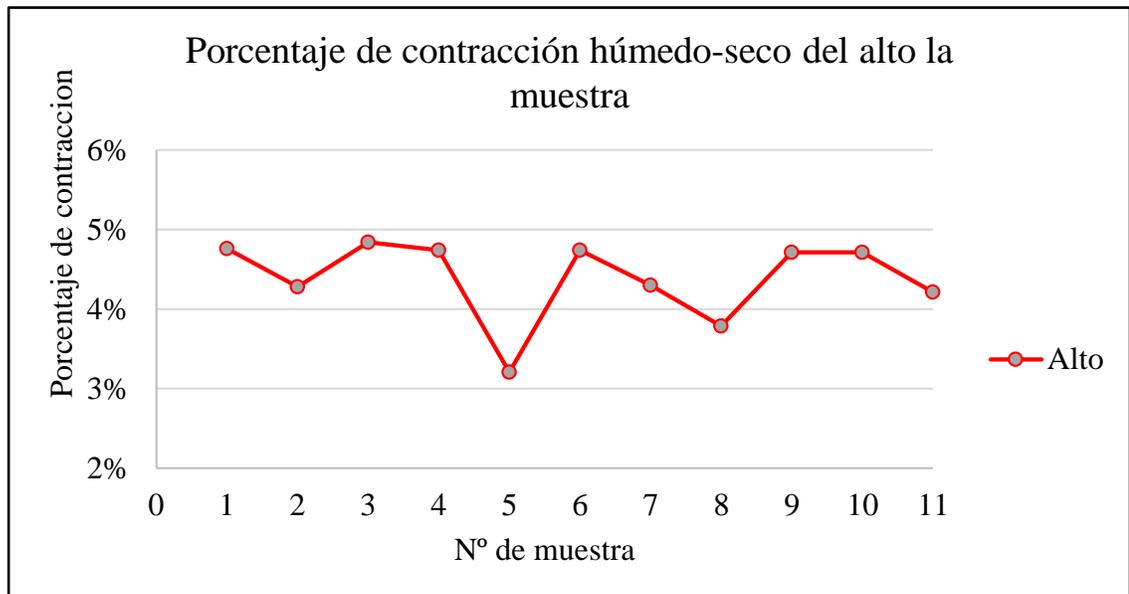


porcentaje de residuo. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Se considerara analizar el porcentaje de contracción del alto de la pieza, ya que es la parte que más cambios presenta.

Fig. 3-2

Gráfica porcentaje de contracción húmedo-seco del alto de la muestra



Nota. Comparación de porcentaje de contracción del alto de las muestras en función al residuo. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

El porcentaje de contracción muestra:

Cuadro III-1

Observaciones del porcentaje de contracción en el alto de las muestras

N° de muestras	% de residuo	Varianza	Desviación	Media	Observaciones
1-4	4%	0,0006%	0,25%	4,66%	El porcentaje de contracción se mantiene entre 4% a 5%,
5-9	5% - 5,5%	0,0044%	0,66%	4,01%	El porcentaje de contracción se mantiene entre 4% a 5%
10-12	6,5%	0,0008%	0,29%	4,54%	Se presentan valores entre el 4% al 5%,

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tras el análisis se determina la desviación según el porcentaje de residuo, en estado húmedo a seco la desviación estándar no sobrepasa el 0,5 % en los ladrillos de 4% a 6,5% de contracción en las muestras, demostrando que la relación entre el porcentaje de contracción y el porcentaje de residuo.

Sin embargo los ladrillos de 5% a 5,5% presentan una desviación estándar de 0,66% que es superior a 0,5% pero inferior al 1% de contracción , esto se debe a que una muestra tiene una contracción más baja que la de los otros ladrillo con la misma cantidad de residuo , lo cual se debe a la heterogeneidad de la mezcla.

3.3.2.4. Análisis del porcentaje de contracción húmedo ha cocido

Tabla III-2

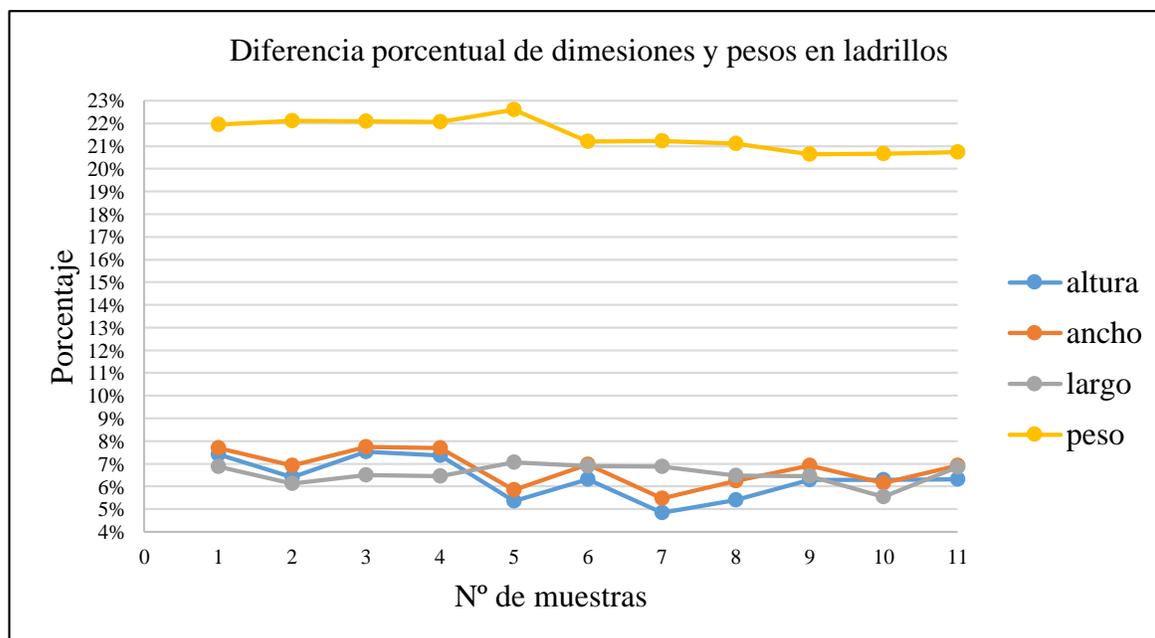
Gráfica diferencia porcentual de las dimensiones y pesos de la muestras húmedo-cocido

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuo	4%	4%	4%	4%	5,00%	5,50%	5,50%	5,50%	6,50%	6,50%	6,50%
altura	7,41%	6,42%	7,53%	7,37%	5,35%	6,32%	4,84%	5,41%	6,28%	6,28%	6,32%
ancho	7,69%	6,92%	7,75%	7,69%	5,84%	6,98%	5,47%	6,25%	6,92%	6,15%	6,92%
largo	6,87%	6,13%	6,51%	6,46%	7,07%	6,90%	6,87%	6,49%	6,46%	5,54%	6,84%

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Fig. 3-3

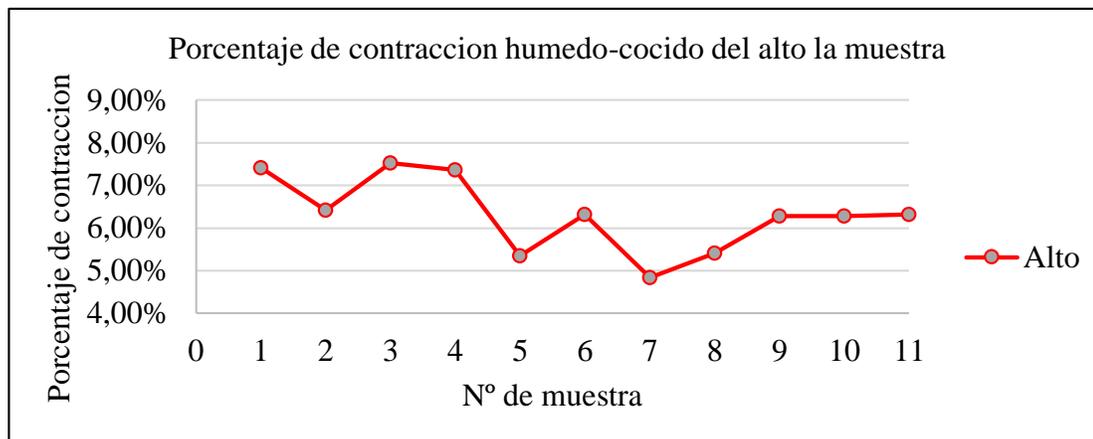
Diferencia porcentual de las dimensiones y pesos de la muestras húmedo-cocido



Nota. Comparación de porcentaje de contracción de las muestras en función al porcentaje de residuo. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Fig. 3-4

Gráfica porcentaje de contracción húmedo-cocido del alto la muestra



Nota. Comparación de porcentaje de contracción del alto de las muestras en función al residuo. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

El porcentaje de contracción muestra:

Cuadro III-2

Observaciones del porcentaje de contracción en el alto de las muestras

Nº de muestras	% de residuo	Varianza	Desviación	Media	Observaciones
1-4	4%	0,0026%	0,51%	7,51%	El porcentaje de contracción se mantiene entre 6% a 7%
5	5%	0,0038%	0,62%	5,48%	El porcentaje de contracción se mantiene entre 5% a 6%,
6-9	5,5%				Se presentan valores entre el 5% al 7%,
10-11	6,5%	0%	0,02%	6,29%	Se presentan valores entre el 6% al 7% y un dato inferior al 6%

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tras el análisis se determina la desviación según el porcentaje de residuo, es así que la desviación estándar no sobrepasa el 1% de contracción en las muestras con residuo de 4%,5% y 5,5%, demostrando que la relación entre el porcentaje de contracción y el porcentaje de residuo.

En el caso de las muestras de 6,5% de residuo el valor de contracción es de 0,02%, es decir la variación es mínima.

3.3.3. Presión de moldeado y dureza

Para el moldeo de la pieza es necesario que la mezcla pase por la extrusora donde se homogenizara y se desairara, para una compactación mejor.

La máquina extrusora cuenta con un manómetro para el control de la presión de vacío aplicada a la mezcla, la presión afecta en la resistencia del producto y la contracción que se pueda presentar en el secado del producto, esto debido a la relación de plasticidad, humedad y presión.

Los parámetros de presión estan establecidos en valores mayores 2 kgf/cm² y un valor mayor a 15 en el durómetro, esto considerando la relación de que a mayor porcentaje de humedad menor será la presión extrusión y a mayor presión mayor será el valor presentado en el durómetro.

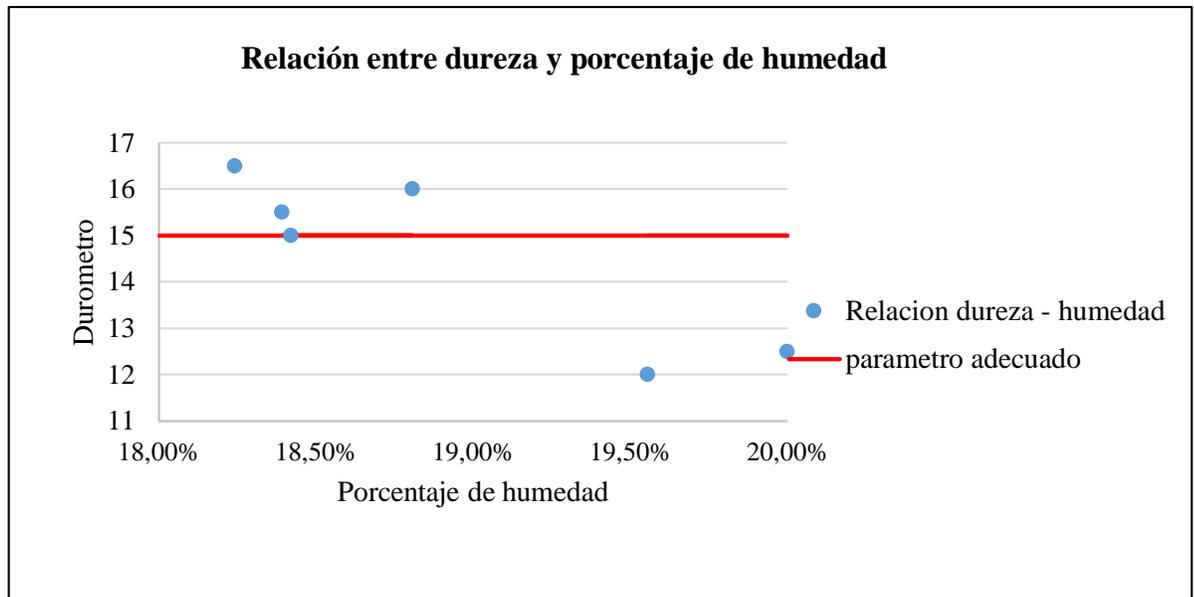
Tabla III-3*Registro de presión, dureza y porcentaje de humedad*

N°	Presión (kgf/cm2)	Durómetro	Humedad
1	1,6	12,5	20,00%
2	2,0	14,0	18,00%
3	2,1	14,5	18,11%
4	2,3	15,5	18,39%
5	2,3	15,0	18,25
6	2,5	16,0	18,81%
7	2,5	16,5	18,24%
8	2,5	16,0	18,38
9	2,6	15,0	18,42%
10	3,4	12,0	19,56%

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Fig. 3-5

Gráfica de control de dureza con relación a la humedad



Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

3.3.3.1. Análisis de la presión de moldeo

De los valores registrados destacan la muestra 6 con un valor debajo del parámetro establecido y la muestra 10 con un valor demasiado elevado.

Detectar estas anomalías da lugar al análisis de la causa de estos valores, esto se debe a la granulometría presente en mezcla así como la humedad de moldeo.

Si la mezcla presenta una granulometría fina absorbe más agua, en el caso de las muestras 6 y 10, se puede observar que el porcentaje de humedad es más elevado o que el porcentaje habitual, influenciando a su vez los valores presentes en el durómetro.

Considerando que el valor de dureza debe mantenerse arriba de los 15, se determina que el parámetro para la presión debería de ser entre $2,3 \text{ kgf/cm}^2$ a 3 kgf/cm^2 .

3.3.4. Humedad en la mezcla

La humedad de moldeo no solamente se relaciona con la consistencia de la mezcla, también es importante al evaluar la contracción del producto, un exceso de humedad

resulta en una mayor contracción de las de dimensiones del producto incrementando el riesgo de fisuras.

Se determina en el área de producción el porcentaje de la humedad de mezcla.

Tabla III-4

Porcentaje de humedad en el proceso productivo

Fecha	Humedad en la mezcladora			Humedad en moldeo		
	Peso de masa humedad (gr)	Peso de masa seca (gr)	Porcentaje de humedad	Peso de masa humedad (gr)	Peso de masa seca (gr)	Porcentaje de humedad
20/09/2022	654	531	18,81%	200	165	17,50%
22/09/2022	775	620	20,00%	200	162	19,00%
03/10/2022	751	614	18,24%	200	165	17,50%
03/10/2022	574	467	18,64%	200	166	17,00%
11/10/2022	721	580	19,56%	200	163	18,50%

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

3.3.4.1. Análisis de la humedad

Tras el análisis de los registros en producción, se determinó que el porcentaje de agua utilizado en la mezcladora es del 20% llegando incluso a 18%.

Una vez la mezcla es moldeada pierde cierto porcentaje de humedad por lo cual tiende a presentar 17% a 17,5 % de humedad a la entrada del secadero.

Es necesario el control de humedad de la mezcla, para corregir la mezcla en caso de exceso o falta de esta, tras el análisis de la humedad presente en proceso y los conocimientos teóricos, se establece que el proceso debe trabajar con un parámetro entre el 18% al 19% de humedad, tomando en cuenta la relación de la humedad con la presión y dureza.

3.3.5. Dimensiones y pesos ladrillo extruido

En la Cerámica San Luis se cuenta con 2 líneas de producción que se utilizan discontinuamente y solo una línea es usada para los ladrillos de 6 huecos, por lo cual solo se cuenta con un molde para el turno de producción, esto supondría que todos los ladrillos extruidos presentan las medidas establecidas por el molde así como los mismos pesos, pero como se mencionó anteriormente el hecho de que no exista una homogeneidad total en la mezcla afecta las dimensiones y pesos.

El proceso tiene establecido los parámetros en lo que respecta las dimensiones y peso del ladrillo extruido, si un ladrillo presentase dimensiones o pesos con una gran diferencia de los parámetros ya establecidos, puede indicar un problema que puede ser corregido a tiempo.

Para el desarrollo del presente proyecto se registraron las dimensiones y pesos de los ladrillos extruidos antes de empezar la etapa de secado.

Tabla III-5*Parámetros del ladrillo extruido normal de 6 huecos*

Parámetros húmedo			
L6HR-Normal	mínimo	optimo	máximo
Peso	4650	4800	4950
Ancho	12,7	13	13,3
Alto	18,6	19	19,2
Largo	25,7	26	26,3

Nota. Fuente: La Cerámica San Luis.**3.3.5.1. Análisis dimensiones y peso húmedo****3.3.5.1.1. Peso**

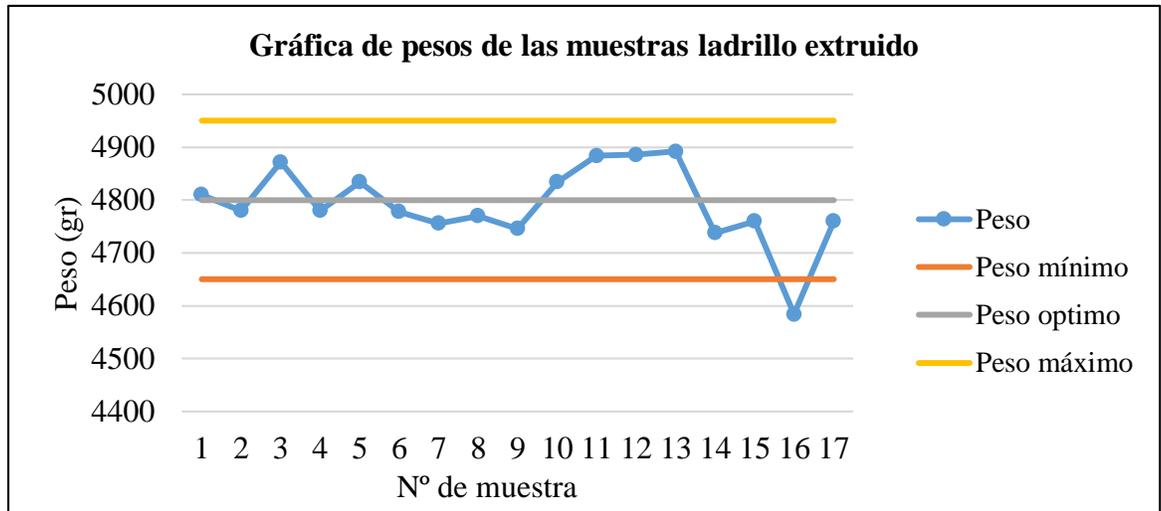
Se idéntica que la muestra 16 está fuera de los parámetros de peso, esto se puede deber a la gran influencia de las variables que intervienen antes de moldeo, es decir la mezcla no puede ser homogénea por el hecho de que no es posible mantener constantes los valores de las variables que intervienen, sin embargo si es posible tratar de que estos valores no varíen en gran medida.

Con esto dicho la muestra 16 está fuera de los parámetros por una variación, ya sea en la humedad, porcentaje de residuo, composición u otro, sin embargo sus dimensiones se mantiene dentro de los parámetros establecidos.

Considerando el seguimiento de la muestra es posible confirmar que una vez cocida, sus dimensiones estaban dentro de los parámetros establecidos, sin embargo su peso se mantuvo lejos del parámetro, tras la prueba de resistencia se puede deducir que el peso no afecta la resistencia siempre y cuando este no diste demasiado de los parámetros.

Fig. 3-6

Gráfica de pesos de las muestras



Nota. Identificación de pesos de muestras fuera de parámetros. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

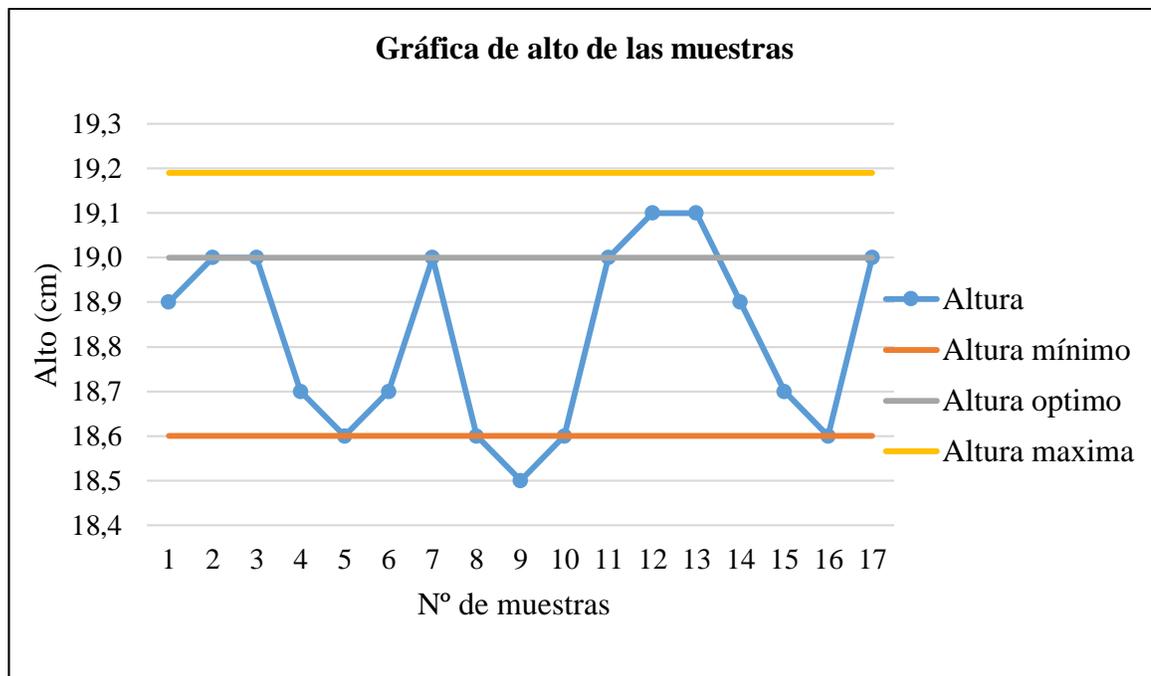
3.3.5.1.2. Alto

El alto de la muestra 9, no está dentro de los parámetros, esta dista 1mm del parámetro establecido, sin embargo las muestras posteriores no presentaron esta medida por lo cual se puede decir que esto se debe a una variación en la mezcla.

Considerando el seguimiento de esta muestra hasta la etapa de cocido, las dimensiones y peso de la muestra se mantienen dentro de los parámetros de cocido, sin embargo el alto de esta muestra cocida es más pequeña a comparación de las otras muestra del mismo día.

Fig. 3-7

Gráfica de alto de las muestras



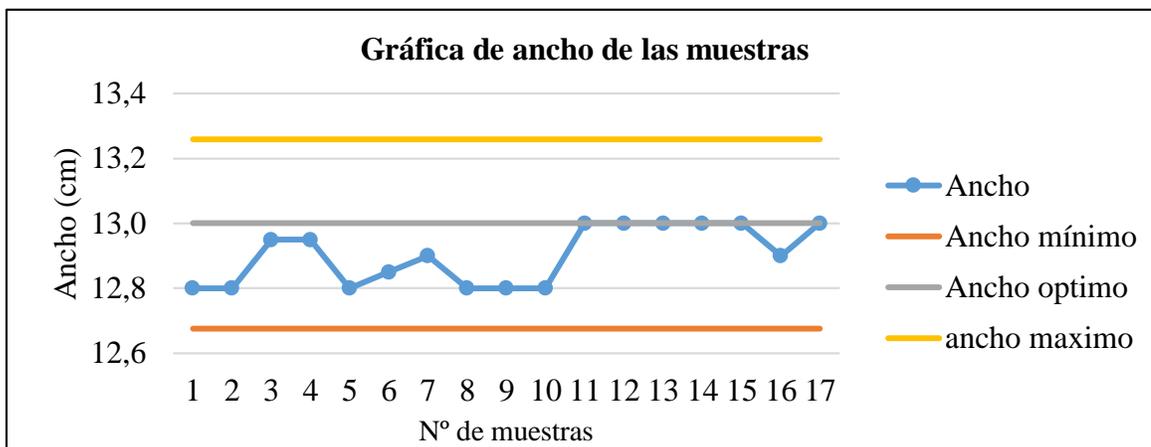
Nota. Identificación de alto de muestras fuera de parámetros. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

3.3.5.1.3. Ancho

El ancho de todas las muestras se encuentra dentro de los parámetros establecidos, es decir es la variable menos afectada por las variaciones que pueda experimentar la mezcla.

Fig. 3-8

Gráfica de ancho de las muestras



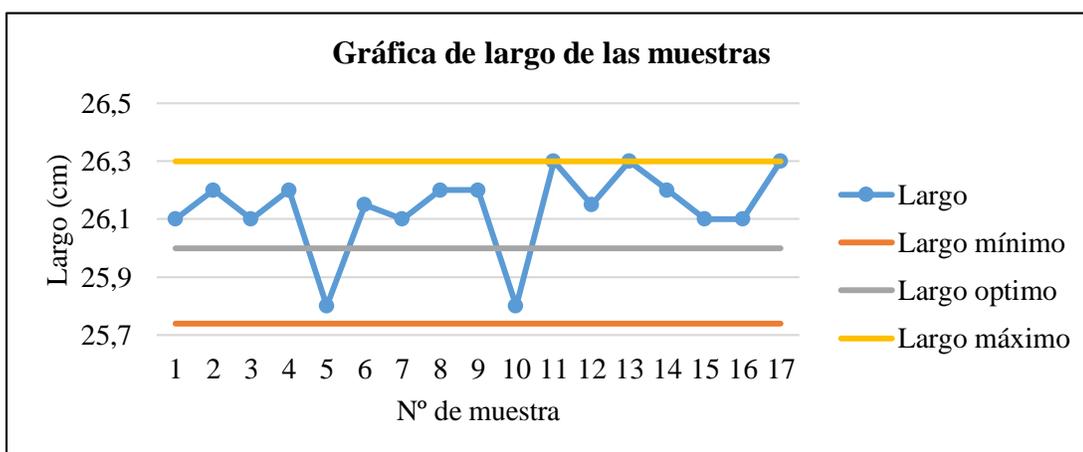
Nota. Identificación de ancho de muestras fuera de parámetros. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

3.3.5.1.4. Largo

El largo de todas las muestras se encuentra dentro de los parámetros establecidos, esta variable no solo depende de un moldeo adecuado sino también de un cortado adecuado.

Fig. 3-9

Gráfica de largo de las muestras



Nota. Identificación de pesos de muestras fuera de parámetros. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

3.3.6. Secado

Es la etapa que conlleva mayor tiempo de todo el proceso, ya que un secado adecuado debe darse de manera uniforme para lo cual la eliminación de agua no debe darse de manera brusca con altas temperaturas, éstas deben ser bajas al inicio del secado e irán aumentando con el transcurso del tiempo.

La etapa de secado es una de las etapas más delicadas, el secado debe tener un parámetro de temperaturas de 50 °C a 65 °C en la etapa final, en caso de un aumento de temperaturas fuera de los parámetros, se debe corregir para evitar un secado irregular que provoque fisuras.

Si esta etapa se presentan problemas puede convertirse en un cuello de botella, en esta etapa interviene el porcentaje de residuo, la humedad, homogenización de la mezcla, uniformidad de secado, entre otras.

Se registró el tiempo de secado de los ladrillos en cada cámara, además del comportamiento de los ladrillos en cada cámara.

Tabla III-6

Horas totales de secado ladrillo

Cámara	Fecha de inicio	Hora	Fecha de salida	Hora	Total de horas
1	22/09/2022	10:05	24/09/2022	13:30	51,42
1	03/10/2022	09:36	05/10/2022	17:00	47,99
2	22/09/2022	09:36	24/09/2022	08:53	47,28
2	22/09/2022	09:36	24/09/2022	08:53	47,28
3	22/09/2022	10:25	24/09/2022	11:00	48,58
3	22/09/2022	10:25	24/09/2022	09:05	46,67
4	22/09/2022	11:30	24/09/2022	17:00	52,43
4	03/10/2022	09:36	05/10/2022	08:00	46,00

5	22/09/2022	10:25	24/09/2022	11:10	46,18
5	22/09/2022	10:25	24/09/2022	09:16	44,28
5	03/10/2022	09:36	05/10/2022	08:00	46,00

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

3.3.6.1. Análisis Cámaras de secado

Se realizó un seguimiento de temperaturas y humedades presentes en cada cámara de secado, tomado en cuenta 5 puntos de control que distan un aproximado de 13 metros.

Tras el análisis de los datos presentes en anexos se determina:

- El punto crítico, donde la pieza deja de contraerse sin embargo aún experimenta cambios en el peso, este punto también se puede identificar en la intersección de las curvas de temperatura y humedad.
- Tiempo de secado
- Tiempo requerido para alcanzar una humedad residual menor al 3% en los ladrillos.

Cuadro III-3

Datos de las cámaras de secado

Datos	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	Cámara 4	Cámara 5
Punto crítico	Entre los valores de 40 a 50	Entre los valores de 40 a 50	Entre los valores de 30-40	Entre los valores de 30-40	Entre los valores de 30-40
Tiempo de secado	Mayor a las 50 horas	Mayor a las 47 horas	Mayor a las 46 horas	Mayor a las 46 horas	Mayor a las 44 horas
Tiempo alcance de humedad residual	Aproximadamente 45,42 horas	Aproximadamente 47 horas	Aproximadamente 45 horas.	Aproximadamente 33 horas	Aproximadamente 27 horas
Tiempo para el punto crítico	Aproximadamente 30 horas	Aproximadamente 32,5 horas	Aproximadamente 27 horas	Aproximadamente 26 horas	Aproximadamente 18,3 horas

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Tras el análisis de los datos registrados se determina que las cámaras 1 y 2 son las más lentas

Ya que se tiene establecido sacar tres estantes por fila a medida que ingresan estantes de material húmedo para evitar cambios brusco en las temperaturas en el secado.

3.3.7. Dimensiones y pesos ladrillo seco

Es necesario analizar la situación actual del proceso por lo cual, se analizaron los dimensiones y pesos de los ladrillo una vez que salen de los secaderos.

Tabla III-7

Datos de dimensiones y pesos

Muestra	Peso	Alto	Ancho	Largo
Promedio	3953,60	18,00	12,30	24,95
Máximo	4124	18,2	12,5	25,2
Mínimo	3782	17,8	12,1	24,8
Moda	3968	18	12,3	25
Varianza	7308,52	0,01	0,01	0,01
Desviación estándar	85,49	0,09	0,10	0,10

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Se deduce de los registros que la diferencia de las dimensiones de cada muestra solo difiere en 0,1 cm, así también la diferencia del peso difiere en 85.49 gr.

Las modas de cada variable sobrepasan los parámetros establecidos para el producto final, lo cual significa que hay mayor probabilidad de alcanzar estos parámetros.

3.3.8. Parámetros dimensiones y pesos ladrillo cocido

La Cerámica San Luis cuenta con parámetros establecidos para el ladrillo cocido es por eso que se analizaran si las muestras cumplen con estos parámetros.

3.3.8.1. Peso

Tabla III-8

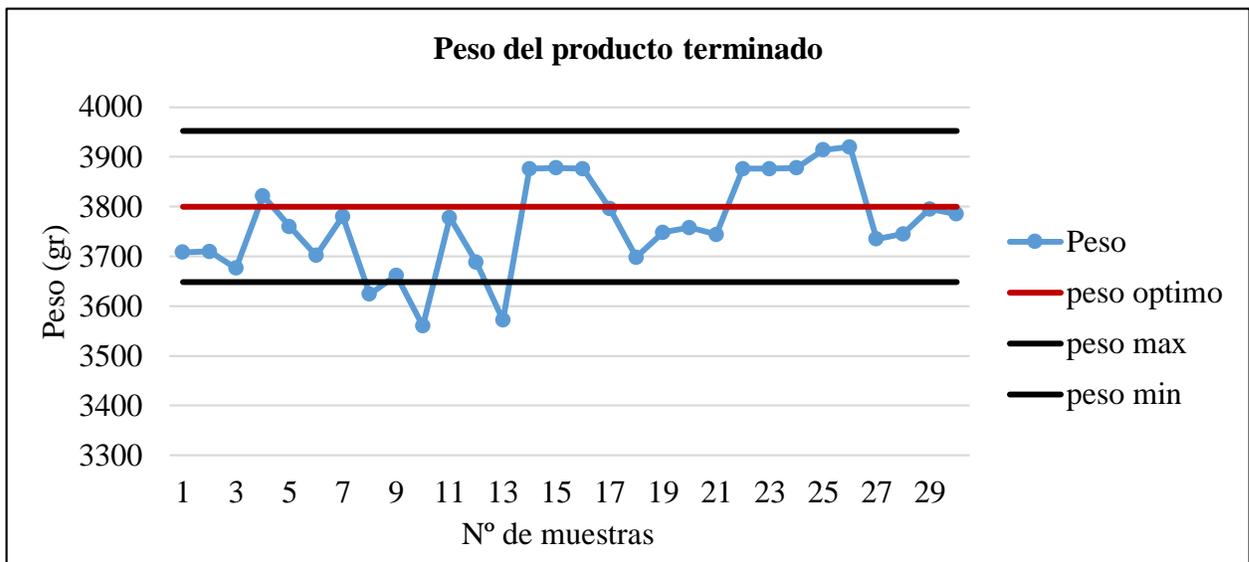
Parámetros de peso del producto terminado

Peso máximo	Peso mínimo
3920	3560

Nota. Fuente: la Cerámica San Luis.

Fig. 3-10

Datos de peso de producto terminado



Nota. Identificación de peso de producto terminado fuera de parámetros. Fuente:

elaborado con datos tomados en la Cerámica San Lui

Tabla III-9*Datos de peso de producto terminado*

Promedio	Moda	Varianza	Desviación estándar
3764,67	3876	9220,64	96,02

Nota. Fuente: la Cerámica San Luis.**3.3.8.1.1. Análisis de los datos registrados**

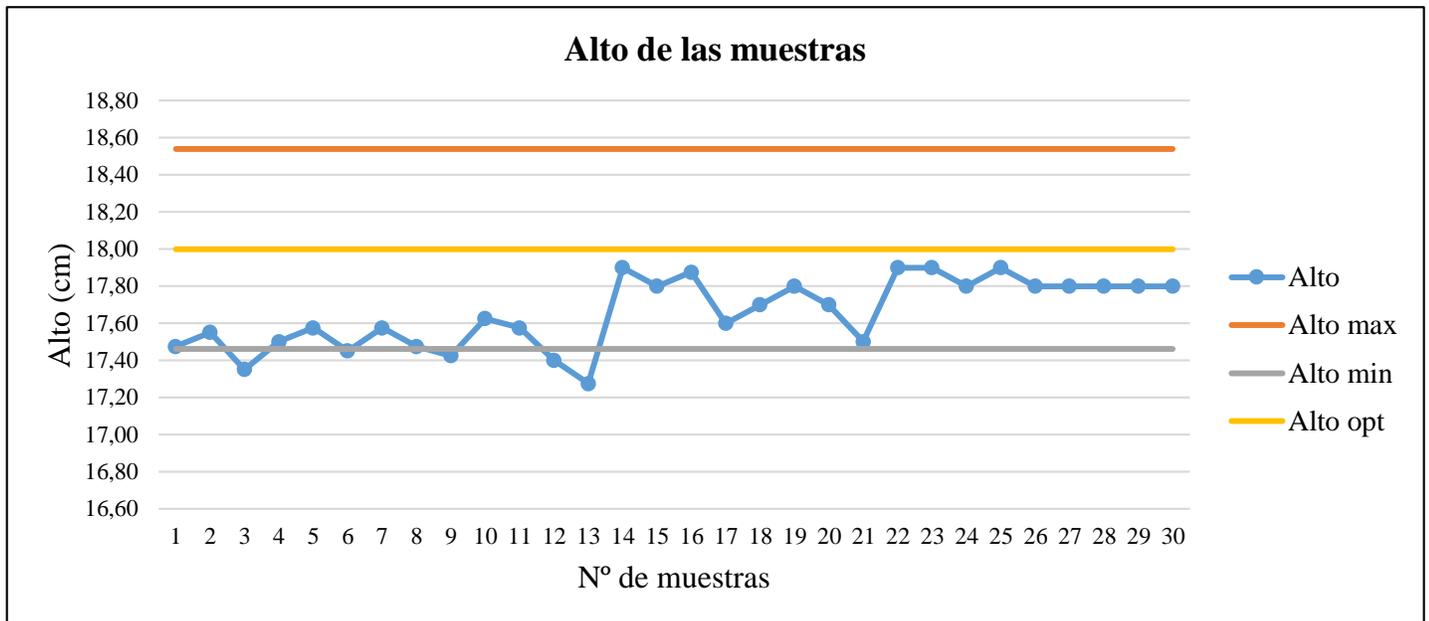
Tras el análisis de los datos registrados, se detectó 3 muestras fuera de los parámetros, esto debido a que el ladrillo seco ya contaba con un peso inferior al peso óptimo, esto se puede deber a la heterogeneidad en las variables involucradas como lo son la humedad, presión, porcentaje de residuo, entre otros.

Se debe tener en cuenta que al realizar un muestreo de aceptación todo aquel lote que presente cierto número de ladrillos que no cumplan con los parámetros, ya no podrá ser considerado lote de primera calidad.

3.3.8.2. Alto**Tabla III-10***Parámetros del alto del producto terminado*

Alto máximo	Alto mínimo	Alto óptimo
18,5	17,46	18

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Fig. 3-11*Datos de alto de producto terminado*

Nota. Identificación de alto de producto terminado fuera de parámetros. Fuente:

elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis

Tabla III-11*Datos del alto de producto terminado*

Promedio	Moda	Varianza	Desviación estándar
17,65	17,8	0,03	0,19

Nota. Fuente: la Cerámica San Luis.

3.3.8.2.1. Análisis de los datos registrados

Tras el análisis de los datos registrados, se detectó 3 muestras fuera de los parámetros, esto se puede deber a variaciones en la mezcla o al secado.

Considerando que estas muestras están fuera de los parámetros se clasificarían como muestras de segunda calidad, a la hora de hacer muestreo por lotes.

3.3.8.3. Ancho

Tabla III-12

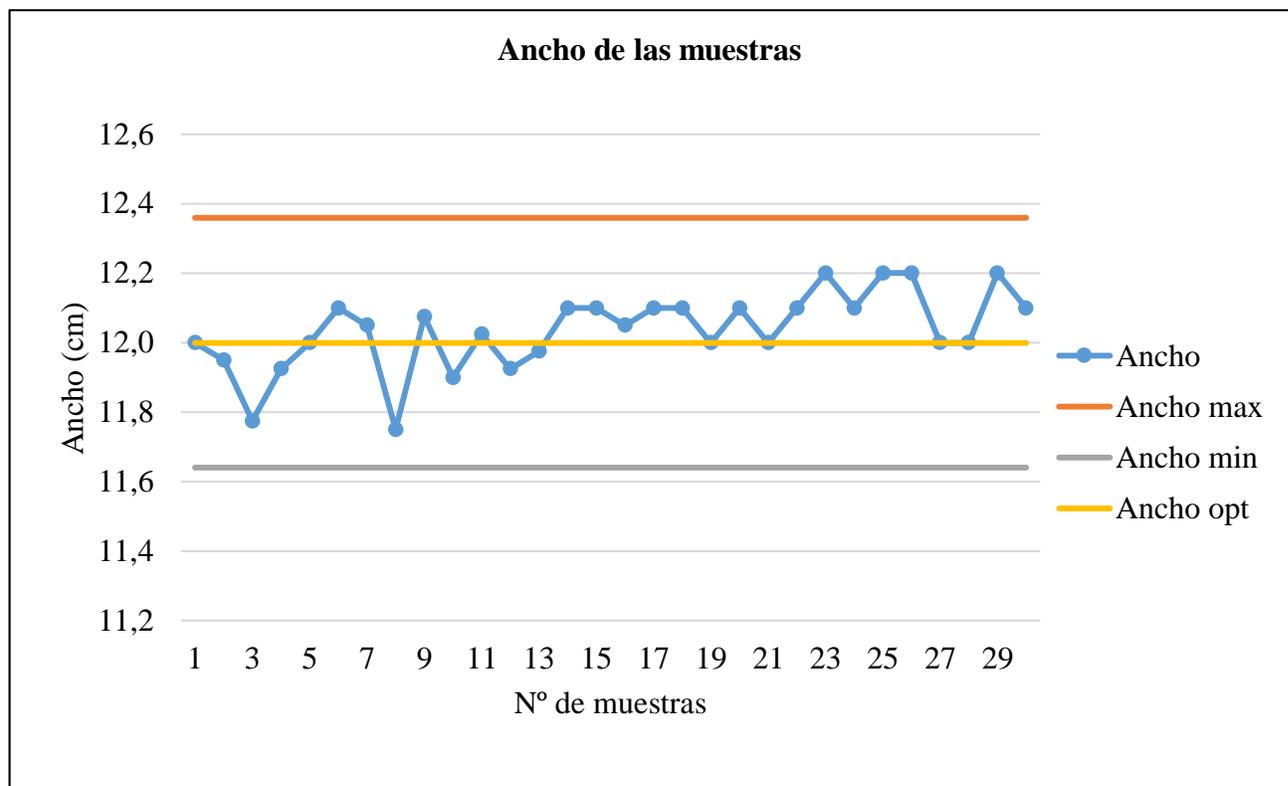
Parámetros del ancho del producto terminado

Ancho máximo	Ancho mínimo	Ancho óptimo
12,36	11,64	12

Nota. Fuente: la Cerámica San Luis.

Fig. 3-12

Datos de ancho de producto terminado



Nota. Identificación del ancho de producto terminado fuera de parámetros. Fuente:

elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Tabla III-13*Datos del ancho de producto terminado*

Promedio	Moda	Varianza	Desviación estándar
12,04	12,1	0,01	0,11

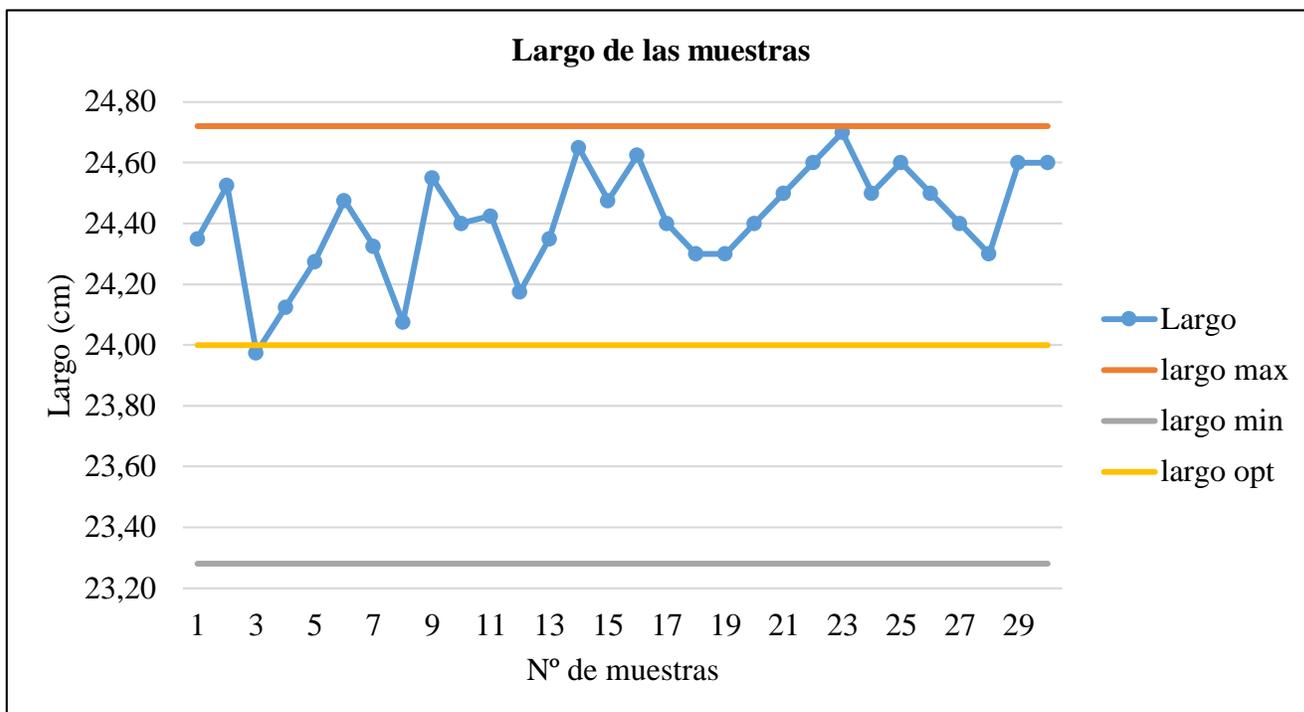
Nota. Fuente: la Cerámica San Luis.**3.3.8.3.1. Análisis de los datos registrados**

La curva muestra que los datos están dentro de los parámetros establecidos, por lo cual el ancho es una de las partes del ladrillo que se mantiene en valores más o menos cercanos, esto también ocurre en la etapa de secado, demostrando que el ancho del ladrillo no experimenta variaciones elevadas a comparación de las otras variables.

3.3.8.4. Largo**Tabla III-14***Parámetros del largo de producto terminado*

Largo Max	Largo Min	Largo Opt
24,72	23	24

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Fig. 3-13*Datos de largo de producto terminado*

Nota. Identificación de largo de producto terminado fuera de parámetros. Fuente:

elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Tabla III-15*Datos del largo del producto terminado*

Promedio	Moda	Varianza	Desviación estándar
24,42	24,4	0,03	0,18

Nota. Fuente: la Cerámica San Luis

3.3.8.4.1. Análisis de los datos registrados

El largo de las muestras se mantiene dentro de los parámetros, a pesar que esto no se da en lo alto.

Se determina que a la parte del ladrillo que más contracciones experimenta es el alto, por lo cual a la hora de comparar el porcentaje de contracción de los ladrillos se recomienda que se opte por comparar el alto.

3.3.9. Presión parámetros

Para el desarrollo de presente proyecto, se analizó cual es la resistencia de los ladrillos de la Cerámica San Luis, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla III-16

Resultados resistencia de ladrillo

Fecha De Moldeo	Fecha De Salida de cocción	Peso Cocido	Altura	Ancho	Largo	Residuo	MPAS	KN
03/10/2022	06/10/2022	3876	17,9	12,1	24,7	6,5%	2	88,3
03/10/2022	06/10/2022	3878	17,8	12,1	24,6	6,5%	1,22	54,3
03/10/2022	06/10/2022	3876	17,9	12,1	24,6	6,5%	1,02	45,3
desconocido	06/10/2022	3914	17,9	12,2	24,6	5,50%	1,11	48,4
desconocido	06/10/2022	3920	17,8	12,2	24,5	5,50%	1,27	56,1
20/09/2022	27/09/2022	3698	17,7	12,1	24,5	5,5%	3,26	139,5
22/09/2022	27/09/2022	3744	17,8	12	24,4	5,00%	1,16	33,9
22/09/2022	27/09/2022	3748	17,8	12	24,3	5,00%	0,98	28,9
11/10/2022	14/10/2022	3700	17,5	12,1	24,3	4,0%	0,76	32,7

11/10/2022	14/10/2022	3565	17,5	11,9	24,3	4,0%	3,66	155,6
11/10/2022	14/10/2022	3700	17,5	12,1	24,4	4,0%	2,24	95,5
11/10/2022	14/10/2022	3680	17,4	12,1	23,9	5,50%	1,67	69,5
11/10/2022	14/10/2022	3670	17,4	11,7	24	5,50%	2,99	125,1

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Como se puede observar solo 5 ladrillos cumplen con el requerimiento de la normativa de Icnorca.

Los resultados bajos se deben a problemas de venteado en el horno, el cual se está corrigiendo actualmente para minimizar el efecto de venteo y obtener ladrillos más resistentes.

Los ladrillos de 4% residuo, cumplieron con lo requerido, esto debido a la composición de la materia prima, así como medidas que se tomaron para reducir el efecto de venteo.

Esto se puede demostrar con los últimos datos registrados, donde los ladrillos demostraron valores iguales o mayores a 2MPas.

3.3.10. Absorción de humedad

La absorción permite conocer si una pieza es demasiado porosa, una pieza porosa es menos duradera en construcción.

Según la Icnorca el parámetro adecuado es de 8% a 15%

Tabla III-17*Porcentaje de absorción de humedad del producto terminado*

Peso cocido	Peso húmedo	Absorción
3676	4033	9,71%
3748	4135	10,33%
3758	4126	9,79%
3802	4153	9,23%
3794	4164	9,75%
3796	4172	9,91%
3828	4206	9,87%

Nota. Fuente: elaborado con datos tomados en la Cerámica San Luis.

Según el análisis de los resultados los ladrillos cuentan con buena absorción del agua.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA

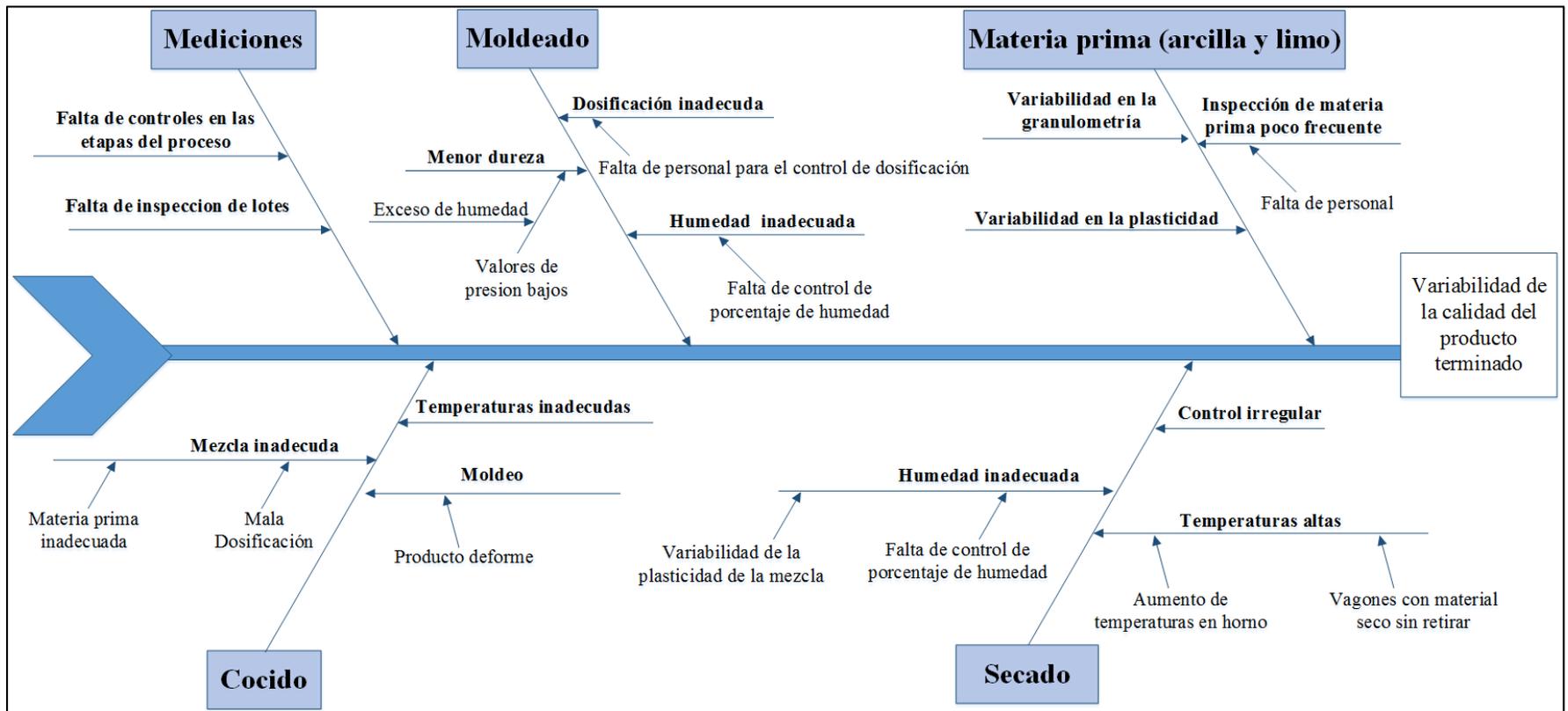
PROPUESTA

4. Desarrollo de la propuesta

4.1. Diagrama de Ishikawa

Fig. 4-1

Diagrama de Ishikawa



Nota. Análisis de los problemas en las etapas del proceso. Fuente: elaboración propia.

Tras el análisis del proceso productivo se realizó el diagrama de Ishikawa para identificar los problemas que se presentan en el proceso productivo así como sus causas, de esta manera se pueden definir los puntos de control.

4.1.1. Materia prima (arcilla y limo)

4.1.1.1. Recepción de la materia prima

Es necesario garantizar la calidad de la materia prima que será utilizada en el proceso productivo, esto se determina durante la recepción de la materia prima a través de una inspección general donde se verifica que la materia prima no contenga exceso de arcilla mala, piedras, ramas o arena.

El control de porcentaje de residuo queda invalido al contar con materia prima inadecuada debido a que un exceso de terrones de arcilla mala o arena genera grandes cambios en el porcentaje de residuo, tal es el caso de la recepción de un lote de limo con exceso de terrones de arcilla que presento un porcentaje de residuo inferior al 3% considerando que el porcentaje de un buen limo sobrepasa el 10%.

4.1.1.2. Porcentaje de residuo

La característica más importante de la materia prima es la plasticidad que esta posee y puede ser estimada al determinar el porcentaje de residuo, como se demostró en los análisis de la contracción del ladrillo que a mayor porcentaje de residuo menor será el grado de contracción.

La plasticidad de la arcilla aumenta con la humedad que se le proporciona por lo cual aumenta el grado de contracción y el riesgo de fisuras en la etapa de secado esto fue demostrado durante el tiempo en que la Cerámica San Luis experimento un exceso de ladrillos fisurados en la etapa de secado donde se concluyó en un primer análisis realizado que la arcilla era más plástica a comparación de los años anteriores y que al humedecerla esta plasticidad aumentaba.

Luego de la aplicación del porcentaje de residuo para regular la plasticidad de la arcilla con el uso de la arena, la cantidad de ladrillos fisurados disminuyo, con el remplazo de

la arena por el limo y la calibración de las cámaras de secado la cantidad de ladrillos fisurados se ha reducido significativamente.

4.1.2. Moldeado

Como se mencionó anteriormente la plasticidad se reduce a medida que aumenta el porcentaje de humedad e inversamente la presión disminuye al igual que la dureza del ladrillo extruido.

Como se demostró con los registros realizados porcentajes de 18% de humedad presenta mayor dureza que porcentajes de 20% de humedad.

La relación de la humedad con la dureza y presión, determina como indicador del porcentaje de humedad a la dureza, sin embargo es necesario controlar regularmente los registros de la humedad y presión presente en el proceso.

4.1.3. Mediciones

Corroborar que las dimensiones y pesos del ladrillo extruido y cocido estén dentro de los parámetros permite garantizar que el producto terminado corresponda a las expectativas del cliente e identificar si existe un exceso de humedad, problemas con la materia prima o el cocido.

4.1.4. Secado

En la etapa de secado interviene la humedad de moldeo y el porcentaje de residuo de la mezcla por lo cual es de vital importancia controlar estas variables ya mencionadas con anterioridad.

En el diagrama de Ishikawa se identificó la necesidad de un control regular de las temperaturas y humedades de las cámaras de secado para garantizar la detección de temperaturas inadecuadas.

Sin importar si el porcentaje de residuo y la humedad sean adecuados si las temperaturas de las cámaras de secado son demasiado altas produce el secado irregular del ladrillo dando como resultado ladrillo partidos y fisurados, por lo cual es necesario un control regular de temperaturas considerando que están aumentando al aumentar las

temperaturas en horno, al concentrar calor por vagones sin retirar o por retirado en exceso de vagones.

4.1.5. Cocido

En la etapa de cocido intervienen todas las variables mencionadas con anterioridad, es la etapa donde se demuestra si el proceso productivo fue realizado correctamente.

4.2. Puntos de control

4.2.1. Recepción del limo y arcilla

Si bien un análisis completo de los componentes para la mezcla garantizaría la calidad en la producción, no se puede realizar a cada montículo recibido, por el tiempo y costo que conllevan tales pruebas. Es así que se determina que el procedimiento actual debe conservarse y mejorarse con un registro adecuado de las inspecciones realizadas.

Para este punto se propone el manual de procedimientos y funciones en anexos.

4.2.2. Análisis de punto de control en el porcentaje de residuo

Tras el análisis, se observó que diferentes porcentajes de residuo afectan en el porcentaje de contracción, así como la humedad y las condiciones del secado,

Lo cambios estan más presentes en el alto de las piezas, las piezas con 4% presentaron menor altura que las piezas con porcentaje de residuos superiores, sin embargo no presentaron defectos en la etapa de secado ni la etapa de cocción.

Si bien el la Cerámica San Luis se trabaja con un parámetro de 5 a 6 % de residuo, se concluye que siempre y cuando los componentes de la mezcla sean adecuados es posible trabajar en parámetros de 4% a 6,5%.

Es necesario conservar las actividades realizadas para conocer el porcentaje de residuo, garantizado un secado óptimo y evitando ladrillos que presenten un porcentaje de contracción elevado, sin embargo debe contarse con un manual de funciones y procedimientos, planillas de registro de residuo y de ser posible optimizar el proceso de secado del residuo para este punto control.

Tabla IV-1*Parámetros de porcentaje de residuo aceptable*

Porcentaje de residuo aceptable	
Porcentaje de residuo mínimo	Porcentaje de residuo máximo
5%	6%

Nota. Fuente: La Cerámica San Luis.**4.2.3. Análisis de control del moldeo de la mezcla**

Como se demostró tras el análisis de los datos registrados de la presión, porcentaje de humedad de la mezcla y dureza existe una relación entre estas variables, es así que la dureza de los ladrillos determinada por el durómetro de la extrusora debe presentar valores mayores a 15 es decir una pieza con mayor dureza es ideal para la producción ya que significa una mayor compactación de la mezcla minimizando la presencia de aire en el ladrillo, a mayor dureza mayor es la presión y menor es el porcentaje de humedad de la mezcla, los resultados del análisis determinaron que una humedad excesiva muestra menor dureza.

El parámetro adecuado para el durómetro es mayor a 15, considerando los datos presentados en la tabla III-3, se puede justificar que valores de humedad entre el 18% al 19% son adecuados para obtener presiones en la extrusora en el parámetro adecuado.

Tabla IV-2*Tabla de parámetros de moldeo*

Variables	Mínimo	Máximo
durómetro	15	>15
Presión	2 kg/cm ²	3 kg/cm ²
Porcentaje de humedad	18%	19%

Nota. Fuente: La Cerámica San Luis

4.2.4. Punto de control de dimensiones y peso del ladrillo húmedo

Es necesario conocer las dimensiones y pesos de los ladrillos recién moldeados, para identificar posibles fallas en la máquina de extrusión o el molde, además de que los ladrillos serán controlados en el secadero para verificar un secado adecuado.

Además de que es necesario determinar el porcentaje de humedad del ladrillo para corroborar que se trabaja con los parámetros adecuados (17% a 17,5%).

4.2.5. Control de porcentaje de no conformes tras la etapa de moldeo

Tras la etapa de moldeo se puede presentar ladrillo extruido no conforme, sin el control adecuado de los parámetros anteriormente mencionados o por otros factores relacionados con la maquinaria, por lo cual se propondrá un control de ladrillos extruidos no conformes para poder contar con un indicador clave que permita medir la efectividad del sistema de control de calidad, tras la etapa de moldeo.

4.2.6. Análisis de punto de control de calidad en secaderos

Los ladrillos medidos y pesados en el anterior punto pasaran a ser objeto de prueba para verificar el secado adecuado en cada cámara.

Estos ladrillos se revisaran dos veces por turno. Además de que brindara la posibilidad de estimar si los vagones por delante del vagón del ladrillo prueba pueden ser retirados o no.

Las temperaturas y humedades deben ser controladas y registradas cada cierto tiempo, para detectar cambios bruscos en la temperatura y corregirlos antes de que afecte la producción

4.2.7. Control de dimensiones y peso del ladrillo seco

Los ladrillos húmedos de prueba deben ser medidos y pesados para determinar el porcentaje de humedad en el ladrillo, así como el porcentaje de contracción y las condiciones en las que se encuentran, de esta manera se puede crear una base de datos con el registro de estas variables, además de garantizar que el la humedad de los ladrillos en el vagón contienen un valor de humedad menor al 3 % una vez sale del secadero.

4.2.8. Control de porcentaje de no conformes tras la etapa de secado

Durante la carga de ladrillos secos a los vagones que entraran a horno, se separa el ladrillo seco no conforme para posteriormente ser desechados, durante esta etapa es necesario realizar un registro del porcentaje del ladrillo seco no conforme para contar con un indicador clave que permita medir la efectividad del sistema de control de calidad tras la etapa de preparación de la mezcla, moldeo y secado, garantizando que cada parámetro es controlado adecuadamente.

4.2.9. Control de curva de temperaturas del horno

El cocido es una de las etapas que conlleva mayor tiempo, en esta se adquieren las propiedades deseadas para el producto además permite saber si las etapas anteriores fueron realizadas correctamente.

Si en la etapa de cocido se presentan problemas, esto dará como resultado ladrillos con baja resistencia, fisurados, desconchados, partidos, entre otros.

El cocido de los ladrillos primero pasa por una etapa de calentamiento, para luego pasar a una zona de altas temperaturas donde las piezas serán cocidas y posteriormente habrá un descenso de temperatura para un enfriamiento gradual de las piezas, si se prestasen altas temperaturas en la entrada o salida del horno se produciría un choque térmico dando como resultados, ladrillos partidos.

El personal de quema realiza el control y registró las temperaturas que indican las termocuplas, para verificar que la curva de temperaturas del tablero de control no presente deformaciones, con el objetivo de evitar temperaturas inadecuadas en el horno, este punto de control debe conservarse debido a su vital importancia.

4.2.10. Muestreo por lote

Según la norma boliviana de la Iborca APNB 1211001, los lotes son aceptados si pasan el muestreo respectivo.

Realizar un muestreo de aceptación implica, determinar el número de muestras identificando el tipo de muestreo (reducido, normal y riguroso), para esto se siguen las siguientes reglas:

- **Normal-Reducida**
Si 10 ensayos son aceptados según el requerimiento es posible pasar a muestreo reducido.
- **Normal-Rigurosa**
Si de 5 ensayos más de 1 es rechazado se debe pasar a muestreo riguroso.
- **Reducido - normal**
- Si el último ensayo realizado no es aceptado se debe pasar a normal.
- **Rigurosa normal**
- Si de 5 ensayos todos son aceptados según el requerimiento se debe pasar a normal.

Tabla IV-3*Tamaño de muestras*

Limite aceptable de calidad 10									
Tamaño del lote	Tipo de muestreo	Muestra	Act 1	Re 1	Act 2	Re 2	Número de unidades para método de ensayo		
Hasta 1200- 35000	normal	primera	5	0	3	3	4	Dimensiones	5
		segunda	5						
	rigurosa	primera	5	0	2	1	2	Compresión	3
		segunda	5						
	reducida	primera	2	0	2	1	2	Absorción	2
		segunda	2						

Nota. Fuente: Norma boliviana 1211001

4.2.10.1. Resistencia del producto terminado

Una de las características más importantes del ladrillo es conocer su resistencia, de esto depende su durabilidad que a su vez es sinónimo de calidad para los clientes.

Actualmente en la Cerámica San Luis no se cuenta con el equipo necesario para conocer la resistencia de los ladrillos, sin embargo debe considerarse la adquisición de este equipo, para garantizar que efectos como el venteo, se estén minimizando adecuadamente evitando productos por debajo de la resistencia requerida.

La resistencia mínima para ladrillos de 6 huecos es de 2 MPas.

Los ladrillos de la Cerámica San Luis demostraron que pueden alcanzar esa resistencia siempre y cuando no se presenten problemas en el horno.

4.2.10.2. Absorción de agua

La absorción permite conocer el porcentaje de permeabilidad de los ladrillos, si estos valores sobrepasan el parámetro de 8% a 15% establecidos por la normativa boliviana Inhorca APNB 1211001, se entiende que los ladrillos son menos resistentes a la intemperie debido a que son más porosos.

El análisis realizado a los ladrillos de seguimiento presentó un porcentaje de absorción dentro de los parámetros.

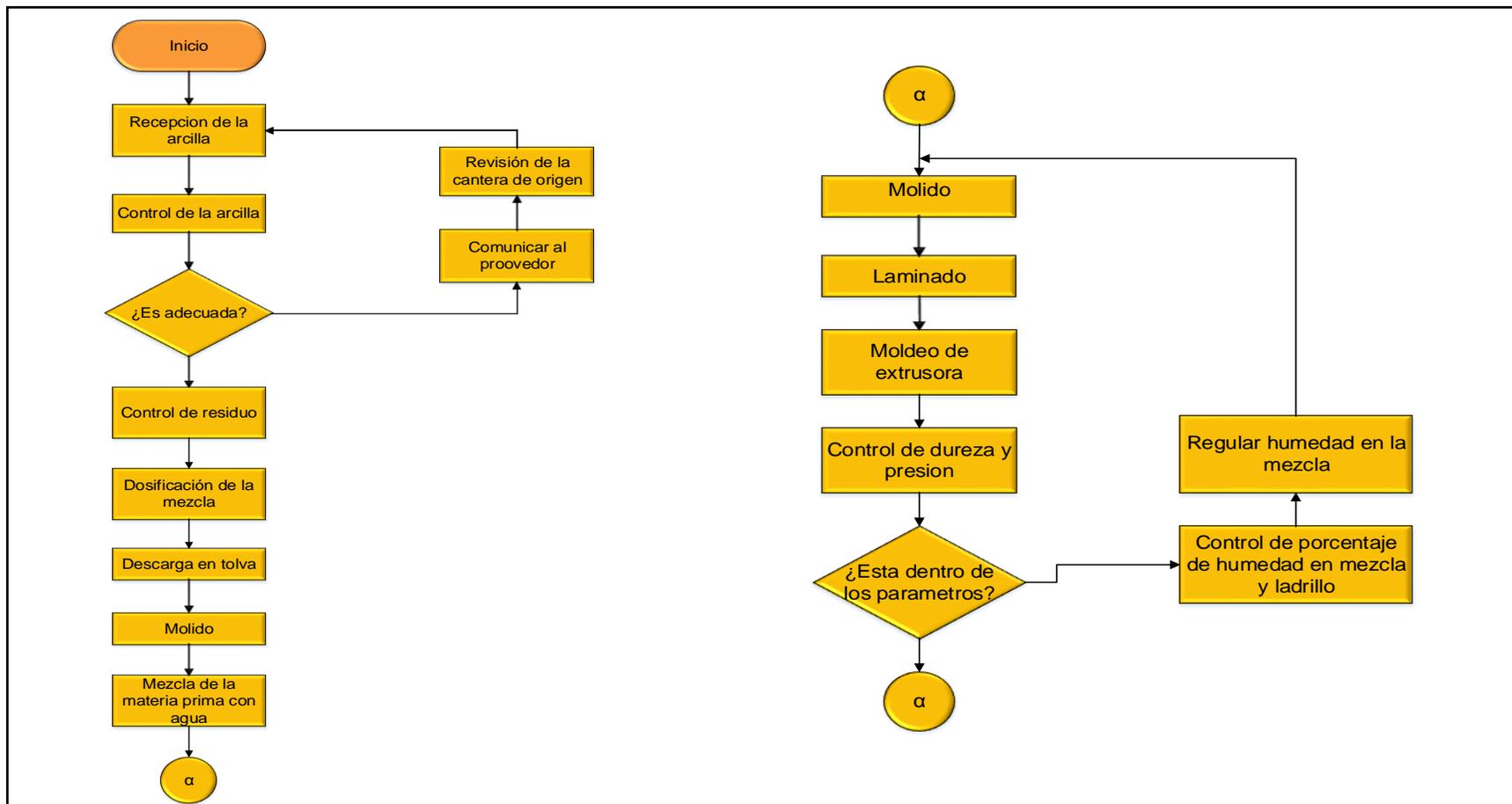
4.2.11. Control de porcentaje de no conformes del producto

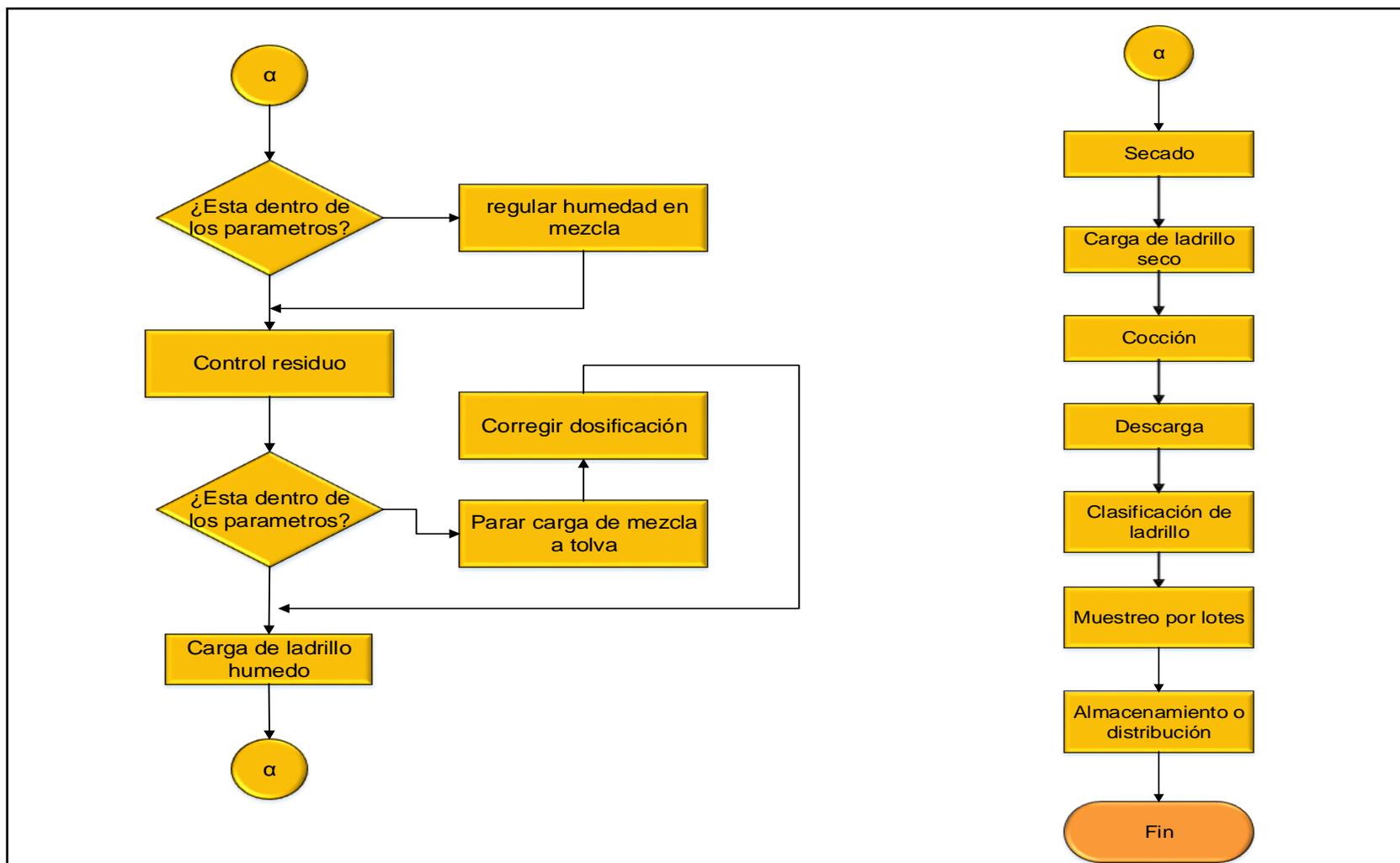
Tras la salida del horno, desechan el producto no conforme que presente características que comprometan su resistividad (fisuras, desconchados o partidos), y se procede a apilar el producto según su calidad, por lo cual se propone el registro y determinación del porcentaje de producto no conforme (desechados) y el registro de la cantidad de producto de segunda calidad. Esta información podrá ser utilizada como un indicador clave que garantiza la efectividad del sistema de control de calidad en todas sus etapas permitiendo conocer el porcentaje de producto de primera calidad.

4.2.12. Diagrama de flujo propuesto

Fig. 4-2

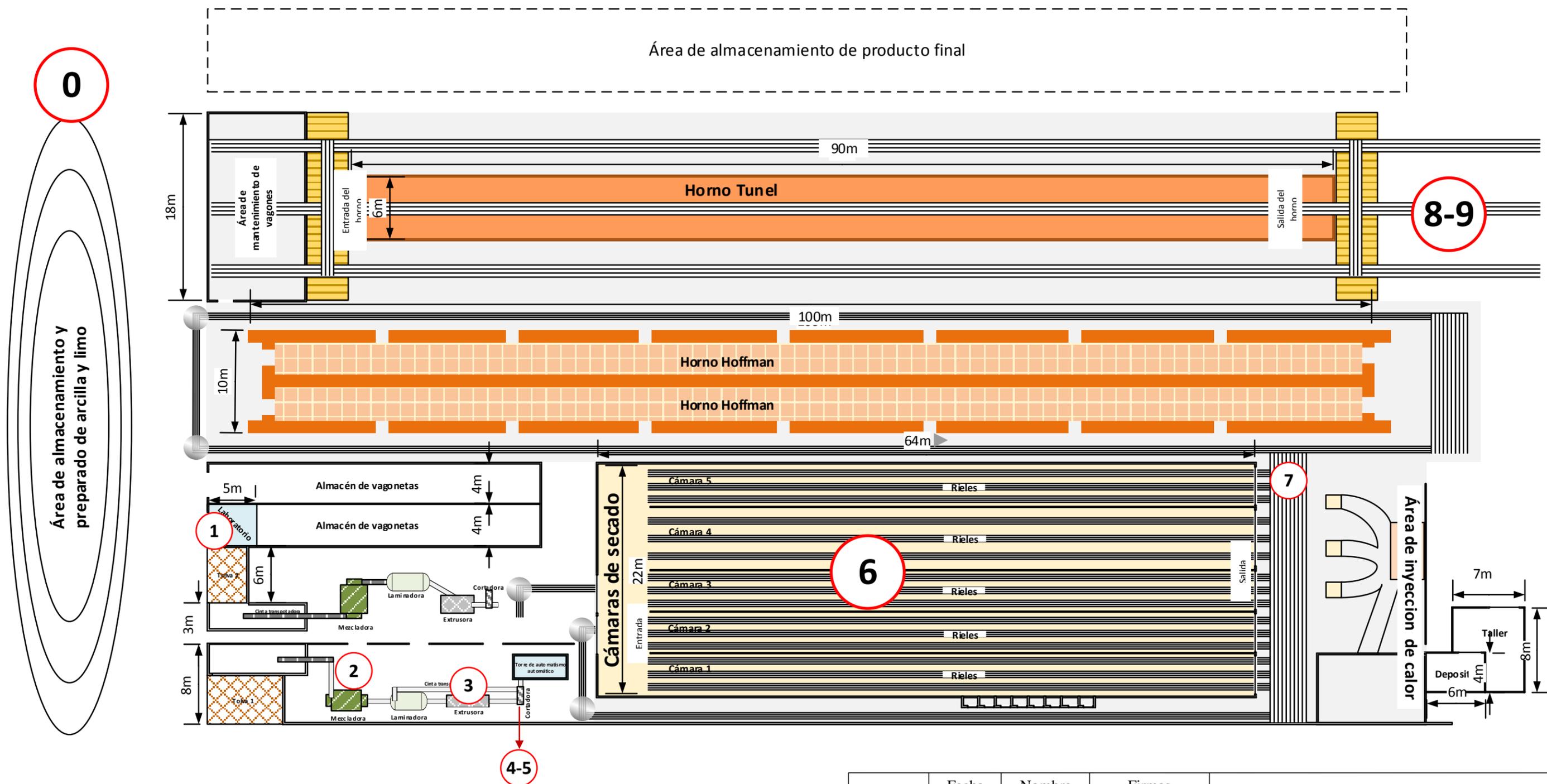
Diagrama de flujo propuesto





Nota. Actividades propuestas conforme al análisis realizado Fuente: Elaboración propia.

4.2.10. Puntos de control en Lay out



	Fecha	Nombre	Firmas	CERÁMICA "SAN LUIS" S.R.L
Dibujado	01/11/2022	Maria Chuca		
Comprobado	02/12/2022	Maria Chuca		
ESCALA	LAY OUT PLANTA DE LA CERÁMICA "SAN LUIS" S.R.L			Nº 1
1:25				

4.2.14. Parámetros de puntos de control

Tabla IV-4

Parámetros de puntos de control

Nº	Ubicación	Descripción	Valor óptimo	Valor mínimo	Valor máximo
0	Área de almacenamiento de materia prima	Inspección de la materia prima	-	-	-
1	Laboratorio	Residuo aceptable de la mezcla	>5%	5%	6%
2	Salida de amasadora	Humedad de la mezcla	>18%	18%	19%
3	Extrusora	Dureza	-	15	>15
		Presión de extrusión	-	2 kg/cm ²	3 kg/cm ²
4	Salida de extrusora	Humedad de moldeo	-	17%	17,5%
5	Salida de extrusora	Peso ladrillo extruido	4800 gr	4650 gr	4950 gr
		Ancho ladrillo extruido	13 cm	12,7 cm	13,3 cm
		Alto ladrillo extruido	19 cm	18,6 cm	19,2 cm
		Largo ladrillo extruido	26 cm	25,7 cm	26,3 cm
Control de porcentaje de no conformes (moldeo)			90%	80%	100%

6	Entrada de cámaras de secado	Temperaturas y humedad en cámaras de secaderos	-	20 °C	65°C
			100%	80%	-
7	Salida de cámaras de secado	Peso ladrillo seco	-	3774	4080
		Ancho ladrillo seco	-	12	12,4
		Alto ladrillo seco	-	17,7	18,2
		Largo ladrillo seco	-	24,8	25,2
Control de porcentaje de no conformes (secado)			90%	80%	100%
8	Salida de horno	Peso ladrillo cocido	3800 gr	3648 gr	3952 gr
		Ancho ladrillo cocido	12 cm	11,64 cm	12,36 cm
		Alto ladrillo cocido	18 cm	17,46 cm	18,5 cm
		Largo ladrillo cocido	24 cm	23 cm	24,72 cm
9	Salida de horno	Resistencia de producto terminado	2 MPas.	1,4 MPas	1,5 MPas
		Absorción de humedad del producto terminado		8%	15%
Control de porcentaje de no conformes (producto terminado)			90%	80%	100%

Nota. Fuente: elaborado en base a los datos de La Cerámica San Luis.

4.2.15. Presupuesto

Considerando la solución propuesta se da a conocer el costo que estimaría conllevar la solución:

Tabla IV-5

Presupuesto de implementación del sistema de control de calidad

Nº	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
1. Costo de materiales y equipos					
1.1	Balanza Analítica	Glb	1	3466	3466
1.2	Balanza	Glb	2	250	500
1.3	Pirometro	Glb	1	260	260
1.4	Calibrador	Glb	2	170	340
1.5	Malla Tyler 140	Glb	1	3000	3000
1.6	Recipientes	Glb	4	80	320
Subtotal de costos de materiales y equipos					4420
2. Costos de auxiliares					
2.1	tablero	Glb	10	15	150
2.2	Linterna	Glb	1	45	45
Subtotal de costos auxiliares					195
3. costos auxiliares mensuales					
3.1	papel	Mes	12	30	360
Subtotal de costos auxiliares mensuales					360
4. Costos de personal					
4.1	Personal En Laboratorio	Mes	1	2250	2250
4.2	Auxiliar del supervisor	Mes	1	2250	2250
4.3	Encargado de control de producto terminado	Mes	1	2250	2250
Subtotal de costos de personal					6750
Total (Bs)					11725

Nota. Fuente: elaboración propia.

El costo de implementar la presente propuesta es de 11725 Bs, considerando que parte del costo de implementación son gastos mensuales de 7110 Bs

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

1. Las etapas que requieren de un punto de control son: etapa de recepción de la materia prima, preparado de la mezcla, amasado (hidratación de la mezcla), extrusión, moldeo, secado, cocido y clasificación
2. La Cerámica San Luis tiene determinado los parámetros de residuo, dureza, temperaturas de secado, humedad residual, temperaturas de cocido, dimensiones y peso del ladrillo.
3. Se determinaron los parámetros de las variables como presión de extrusión, humedad de la mezcla, absorción de humedad y resistencia del producto terminado, tras el análisis de los datos registrados y utilizando como apoyo las Norma Boliviana para ladrillos huecos.
4. El secado es una de las etapas más delicadas del proceso productivo por lo cual el control de humedades y temperaturas de cada cámara es de vital importancia para evitar producto defectuoso
5. Para comprobar los resultados del sistema de control de calidad propuesto, se analizará la información que brindara el muestreo de aceptación del producto terminado.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda invertir en el equipamiento del laboratorio para agilizar los procedimientos y brindar resultados más precisos
2. Conocer la resistencia del producto final garantiza el correcto desarrollo del proceso, por lo cual es necesario subcontratar el servicio o adquirir una prensa de compresión.
3. Es necesario contar con personal que desarrolle únicamente las actividades establecidas para el control de calidad.
4. La implementación de un sistema de control de calidad implica dar a conocer a todo el personal la importancia de su participación en este y de que la comunicación entre el personal es de vital importancia.