7. Resultados

7.1 Tamaño de partícula

Parte de entender el comportamiento de nuestros materiales radicó en el tamaño de partícula que contenían, pues éste se convirtió en un factor fundamental en el coeficiente de difusividad efectivo, reflejándose tanto en el secado como en la cantidad de oxígeno que interactuó en la oxidación del material orgánico. De la misma manera fue determinante en la cantidad de humedad que absorbió y en la cantidad de agua utilizada para la fabricación del producto.

El tamaño de partícula tuvo una fuerte influencia en la interacción que ocurrió entre los óxidos presentes y los componentes de cada material, pues cuando era más pequeña la partícula, aumentaba su área de transferencia y mejoró la interacción de los óxidos, permitiendo que el desarrollo del producto fuera más rápido y eficiente, aunque si la partícula era demasiado pequeña provocaba problemas por falta de combustión del carbón que acompaña a la arena sílica en una zona central de la pieza de cerámica.

Arena Sílica	
Diámetro de partícula	**Porcentaje**
0.476 >	7.41
0.37	32.41
0.2855	19.23
0.1905	27.74
0.127 <	13.18

Tabla 10

Lodo	
Diámetro de partícula	**Porcentaje**
> 0.476	79.6
0.37	4.4
0.2855	11.8
0.1905	2.8
< 0.127	1.5

Tabla 11

Se determinó el tamaño de partícula que tiene cada material, sin embargo, para efectos de simplicidad se tomó como referencia un tamaño ponderado de partícula (la ponderación se realizó con los diámetros y porcentajes del material en las tablas

10 y 11), quedando para la arena sílica un diámetro ponderado de 0.279 mm, mientras que para el lodo un diámetro ponderado de 0.436 mm.

El tamaño de partícula del lodo fue mayor que el de la arena, repercutiendo esto en la interacción de partículas, humedad necesaria y difusividades de los productos. La diferencia que existió entre ambos materiales se vio representada en los resultados a las pruebas que se le hicieron a los ladrillos y a la tabla roca.

7.2 Composición de óxidos

El análisis de los óxidos que contienen los desechos que se utilizaron otorgó una explicación de los resultados encontrados. En el caso de las arenas se observó que la relación de dióxido de silicio con fundentes es alta (9.91). El efecto que esto generó en la producción de ladrillos fue que la temperatura a la que se trabajó tenía que ser mayor que los 900 °C utilizados normalmente para lograr que se alcanzara una buena maduración del ladrillo; lo cual se logra cuando todos los óxidos presentes en la mezcla llegan a homogenizarse y a realizar una buena fusión que resultara útil en el proceso.

En el caso del lodo existe una relación de silicio con fundentes favorable (0.66), lo cual reflejó que la temperatura a la que se tenía que trabajar para lograr una buena fusión de los óxidos era más baja que la necesaria para la arena. Este resulta un dato favorable para encontrar una mezcla eficiente entre la arena y el lodo, sin embargo también trae consigo una complicación, pues el alto contenido de carbono se vio reflejado en un aislamiento entre los óxidos fundentes, lo cual significó que la fusión entre los mismos se vería disminuida si se utilizaba un alto porcentaje de lodo.

Debido al material orgánico que contiene el lodo, al ser combinado con el de la arena se obtuvieron altas concentraciones de material orgánico. Esto se tomó en cuenta en cada uno de los ejercicios que se llevaron a cabo, pues si se usaba demasiada cantidad de ambos productos se disminuiría las características de resistencia del ladrillo y aumentaría la capacidad para absorber líquidos en su proceso de homogenización.

Para la producción de tabla roca, los compuestos inorgánicos y la celulosa presentes en el lodo propiciaron que al secarse el material se endureciera en un corto lapso de tiempo, sin embargo su alto contenido orgánico tuvo repercusiones, pues se convirtió en un material combustible en la presencia de fuego o de altas temperaturas, además de que absorbió una mayor cantidad de agua provocando así una mayor contracción al secado. Es por estas razones que fue necesaria la presencia de un material como el cemento o el yeso, que le dieran al lodo las características necesarias para poder ser utilizado y cubrir las necesidades de los materiales de construcción.

7.3 Materia orgánica

El lodo utilizado es desechado por la fábrica que se dedica a la producción de papel, y una de las principales características de éste es que se compone de un 61.86% de material orgánico, el cual se debe a su contenido de fibras cortas de celulosa, hemicelulosa y lignina, elementos esenciales en la producción de papel. Este material del que se habla tiene que ser desechado, pues no puede ser utilizado en la fabricación del papel debido a su contenido de contaminantes tales como tintas, pegamentos y polvos ajenos al proceso.

7.3.1 Ladrillos

Los compuestos orgánicos generalmente son materiales que tienden a absorber agua en caso de estar presentes en un medio húmedo. Dado que para el mezclado y moldeado de los componentes del ladrillo fue necesario adicionarle agua, esta característica de los materiales orgánicos se convirtió en un problema, pues como la mayoría del desecho lodoso es orgánico, la cantidad de agua necesaria (llamada plasticidad) aumentó. Este problema se reflejó también en la contracción al secado y cocción, pues en estos procesos el ladrillo se desprende del agua que absorbe inicialmente.

El material orgánico presentó una segunda dificultad, pues se carbonizó cuando se coció a altas temperaturas, dejando manchas blancas de papel en el interior del ladrillo. Este contenido disminuyó la capacidad de soportar cargas de compresión, pues no permitía un buen contacto entre los óxidos presentes alterando su fusión.

Por estas dos razones para la fabricación de ladrillos se debe de ocupar un porcentaje bajo de lodo, que tenga una buena aportación de óxidos fundentes y no represente un problema en absorción de agua y resistencia a la compresión.

7.3.2 Tabla roca

Para la fabricación de tabla roca el material orgánico aportó buenas propiedades al producto, pues la celulosa tiende a formar redes cuadriculadas que absorben la humedad, y al secarse se adhieren creando una pared molecular compacta, deshaciéndose así del agua unida físicamente y formando una estructura sólida resistente. Sin embargo, esta propiedad no limita a las fibras de volver a absorber

agua después de solidificarse, por lo que el panel se vio afectado ante la presencia de agua o de humedad posterior a su secado.

Otra característica de los materiales orgánicos es que son inflamables, ya que en la presencia de una fuente de ignición como el fuego o temperaturas altas tienden a quemarse desprendiendo fuego y humo, situación poco deseable dentro de una construcción específicamente en caso de un incendio, pues aumentaría la velocidad en que éste se propagaría y generaría humo. Para disminuir esta característica que presenta el lodo fue necesario agregarle algún compuesto que lo reforzara, llegando así a la decisión de utilizar aglutinantes como el cemento y el yeso, los cuales le darían dureza y resistencia al producto y no aumenta demasiado el costo de producción si se usa en proporciones pequeñas.

7.4 Pérdidas por combustión

La arena sílica también presentó algunas dificultades, principalmente en la difusión del agua y en las pérdidas por combustión en la fabricación de ladrillos artesanales. Esto se reflejó en la cantidad de carbón encontrado en el interior del ladrillo cocido, representado como una mancha negra que tuvo un aumento directamente proporcional a la cantidad de arena utilizada.

Esto se puede explicar tomando en cuenta que el alto contenido de carbón en la arena provocó que el contacto existente entre los óxidos presentes fuera deficiente durante el proceso de fusión, alterando la homogeneidad de la pasta. Las pérdidas por combustión son un fenómeno de difusión en estado dinámico, que involucra la reacción de oxidación del carbón en fase heterogénea. La difusión del O_2 se lleva a través de los poros de la matriz arcillosa, donde entre más grande sea el poro mejor y más rápida será la difusión. La oxidación de la arena tomó lugar entre los 300 y

600 °C, periodo en el cual las perdidas por combustión llegan a su máximo, pues con la aproximación de la mezcla a los 700 °C aparece la fusión de los óxidos y con ello la reacciones en fase líquida, lo que hace que el tamaño de poro disminuya a tal grado que la difusión es cero.

El contenido de carbono disminuirá conforme mayor sea el tiempo entre 300 y 600 ° C, o bien aumentando el tamaño de poro, esto se logra mezclando partículas de mayor tamaño, pero existe un límite pues al aumentar el diámetro de partícula, se provoca una menor cohesión entre los óxidos fundentes haciendo que el contacto entre ellos disminuya, esto se manifiesta en un producto que se desgrana fácilmente.

7.5 Uso de lodos como composta

Inicialmente la empresa de papel con la que se trabajó intentó enterrar el material de desecho en un terreno contiguo para usarlo como complemento nutrimental de plantas, sin embargo, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales se lo prohibió. Como parte de este estudio se llevó a cabo una investigación de las razones por las que este material no debe de ser utilizado como parte de la tierra de cultivo.

El análisis químico realizado a una muestra del material de desecho con el que se trabajó indicó que la cantidad de inorgánicos es aproximadamente el 40% de la composición total del desecho. La mayoría de estos inorgánicos son sales, las cuales otorgan pocos beneficios a la tierra de cultivo. A continuación se detallaran las razones por las que la aportación de sales al suelo no es una práctica benéfica:

La contaminación de tierra por medio de sales genera lo que llamamos suelos salinos o “álcali blanco”, y son aquellos donde el crecimiento de las plantas está limitado por la cantidad de sales solubles, éstos se pueden transformar en suelos normales con lixiviar el exceso de sales de la zona radicular. El pH de los suelos salinos, generalmente, es menor de 8.5 (el pH de nuestro material es de 7.59) y normalmente se encuentra bien floculado. Las plantas que crecen en dichos suelos parecen atrofiadas, las hojas son gruesas y presentan un color verde oscuro. A veces se presentan reducciones importantes en el crecimiento sin que se observen cambios significativos en la apariencia de los vegetales.

Ante esta situación se suele recomendar la práctica de lavar el suelo. Pero esta práctica aunque simple y fácil de recomendar es extremadamente difícil de llevar a la práctica. La práctica de lavado, si bien en principio es benéfica, implica varios problemas y situaciones difíciles de manejar como son:

- Necesidad de un exceso de agua, la cual no siempre está disponible en la cantidad y la calidad necesaria.
- Contaminación de las aguas freáticas con excesos de nutrientes que se lavan simultáneamente con los elementos que se necesitan lavar. (Nitratos, Fosfatos, etc.)
- Anoxia del sistema radicular de las plantas durante el tiempo que dure el lavado.
- Arrastre de sustancias agrotóxicas a las aguas subterráneas.
- Erosión interna del perfil del suelo que se somete al lavado.

Como objetivo del lavado tenemos la evacuación de una o más sales perjudiciales del perfil del suelo, y como requisitos para que un lavado pueda ser exitoso tenemos:

- Necesidad de un nivel freático lo suficientemente profundo para que permita la evacuación del agua de lavado.
- Necesidad de una adecuada velocidad de infiltración que permita realizar el lavado en tiempos razonables.
- Necesidad de una adecuada estabilidad estructural del suelo que garantice que no se destruirá la estructura del suelo durante el lavado.
- Necesidad de un agua de superior calidad (en cuanto a la salinidad se refiere) a la del suelo que se pretende lavar.

Las sales del suelo y del agua reducen la disponibilidad de agua a las plantas a tal punto que afectan los rendimientos, todo porque las sales se acumulan en la zona radicular a una concentración tal que ocasiona pérdidas en la producción. Si la extracción de agua por las raíces se reduce mucho, las plantas disminuyen su crecimiento y llegan a presentar síntomas similares a los provocados por una sequía, tales como marchitamiento o coloración verdiazulada oscura y, algunas veces, hojas cerosas y de mayor espesor.

Las sales que contribuyen a crear un problema de salinidad son solubles y transportadas fácilmente en el agua. Una parte de las sales acumuladas en el suelo por los riegos anteriores puede ser lixiviada por debajo de la zona radicular, siempre y cuando se aplique una mayor cantidad de agua que la consumida por el cultivo durante su periodo vegetativo. Así, el proceso de

lixiviación o lavado de sales es la operación fundamental en el control de los problemas relacionados con la salinidad.

La concentración de sales aumenta con la profundidad, debido a que el agua de riego evapotranspirada por el cultivo, deja sus sales en la zona radicular, para ser desplazadas por los riego subsecuentes a la parte inferior de la misma, en donde se acumulan hasta ser arrastradas hacia las capas inferiores a mayores profundidades.

Otro tipo de problemas que se presentan al usar este material como complemento nutritivo de tierra de cultivo son los siguientes:

- La relación ideal de Carbono:Nitrógeno debe de ser 30:1, mientras que la cantidad de Carbono presente en el material excede este rango (42:1). Esta situación hace necesario el agregarle compuestos nitrados como NH_4OH, encareciendo así el proceso.
- Según los estudios publicados por el Dr. Gregoy K. Evanylo de la Universidad de Virginia, el lodo de desecho es un material que absorbe una gran cantidad de humedad, por lo que el riego con la cantidad de agua tradicionalmente utilizada se vuelve insuficiente. Sería necesario usar hasta un 50% más de agua para lograr los niveles necesarios para garantizar que las plantas recibirán la cantidad necesaria de agua, de la misma forma reporta que en caso de incorporarse a la tierra este material, es necesario llevar a cabo un proceso de composteo, lo cual toma un tiempo aproximado entre ocho y doce semanas, haciendo el proceso más lento y pesado.

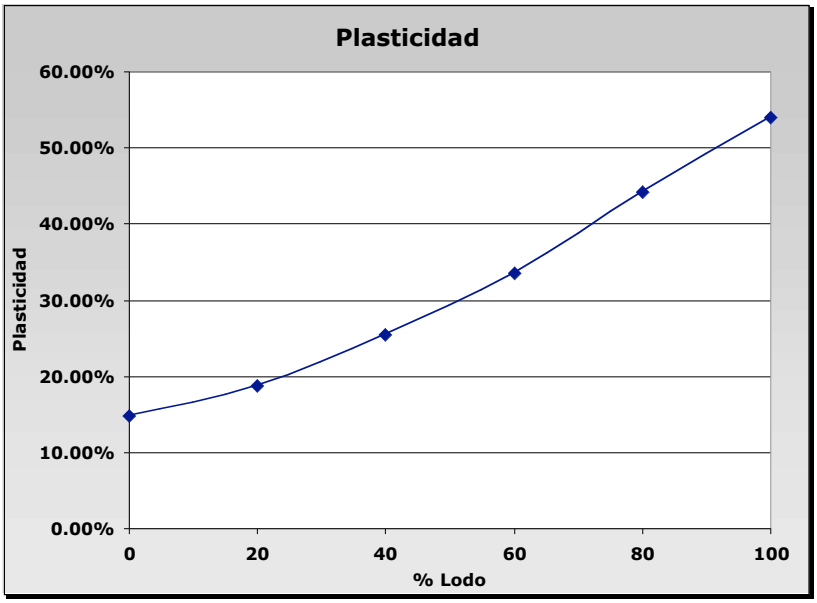
El proceso de utilización de los residuos de una planta de papel como materia prima es una investigación relativamente nueva, por lo que se ha intentado usar en varios productos, uno de ellos el de complemento nutritivo de la tierra debido a su alto contenido orgánico, sin embargo, como se ha explicado, a mediano plazo resulta un proceso poco recomendable y costoso.

7.6 Ladrillo artesanal

Los primeros experimentos que se realizaron fueron generar ladrillos para construcción a partir de arcilla y lodo de desecho de la empresa de papel. La idea era conocer el comportamiento y las tendencias que presentaría el lodo y así poder realizar una buena determinación de su utilidad.

La primera medición que se le realizó fue plasticidad. Se midió la cantidad de agua que se le agregó a la pasta hasta que quedara lista para ser moldeada en forma de ladrillo. El resultado fue que entre más lodo contenía el ladrillo, mayor era la cantidad de agua necesaria, lo cual se puede ver en la gráfica 1. Esto nos advierte que, en caso de querer trabajar con un alto porcentaje de material, sería necesario el uso de una mayor cantidad de agua.

Gráfica 1



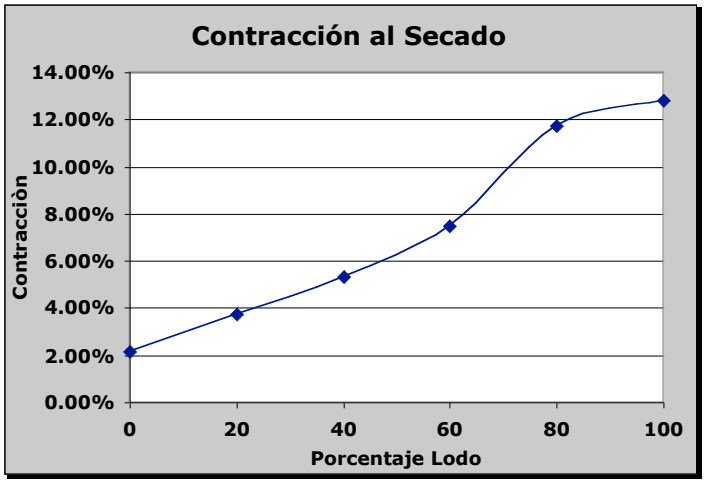
Posterior a la medición de plasticidad, se realizó el proceso de secado para observar su comportamiento. Las observaciones al respecto fueron las esperadas, entre más lodo contenía nuestro ladrillo, mayor era la contracción que se encontraba, puesto que se desprende de toda el agua que se encontraba unida a él, confirmando la relación directa que existe entre la cantidad de agua agregada y la contracción que se alcanzaba al secarse. De acuerdo a los resultados que se ven en la gráfica 2, se puede determinar que no es conveniente usar mucho lodo en el proceso, pues aumenta la probabilidad de agrietamiento en el producto y reduce demasiado el tamaño de nuestro ladrillo.

Si se utiliza el criterio de Nosova para determinar la sensibilidad de las arcillas al secado, se tiene que la arena sílica 2 tiene un índice Ks menor a la unidad (tabla 12), es decir tiene poca sensibilidad al momento de ser secado y por lo tanto no existen probabilidades de que se presenté agrietamiento en el proceso de secado y cocción. El lodo presentó un valor de Ks cercano a la unidad, lo cual se interpretó como una alerta en el manejo adecuado del material para evitar agrietamientos.

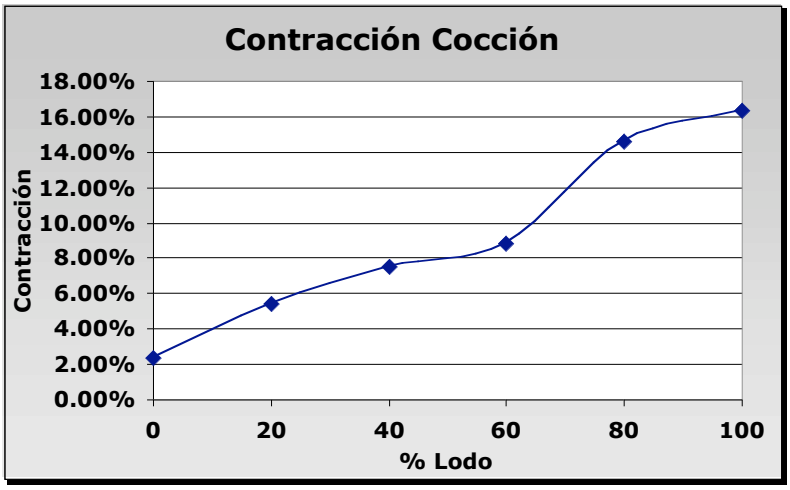
Tabla 12

Material	Ks
Arena	0.51
Lodo	0.917

Gráfica 2



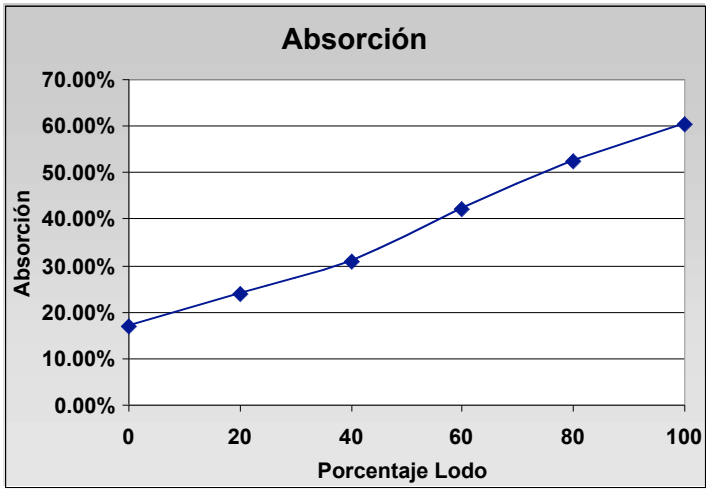
Posteriormente se llevó a cabo la cocción para llegar al ladrillo que finalmente se usaría en construcción. Se midió el ladrillo antes y después de ser cocido para comparar y conocer la contracción alcanzada. El resultado va de acuerdo tanto a la plasticidad de fabricación como a la contracción de secado, es decir que se contrae proporcionalmente a la cantidad de agua agregada inicialmente, lo cual confirma que la cantidad de lodo a usarse debe ser en pequeñas cantidades, pues al encontrar contracciones mayores al 10% es común encontrar agrietamiento en el ladrillo. Estos resultados se ilustran en la gráfica 3.



Gráfica 3

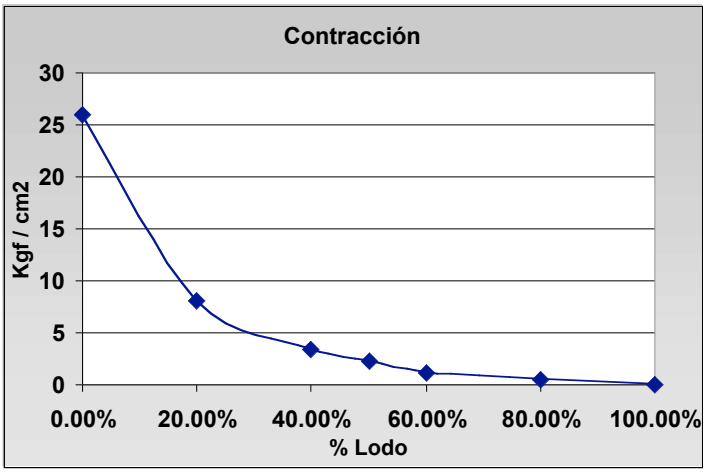
El siguiente análisis que se le realizó al producto fue absorción de agua. La gráfica 4 indicó el nivel de maduración que alcanzó el biscocho fabricado, indicando una clara tendencia a absorber más agua cuando se usaba una mayor cantidad de lodo, pues éste pese a su alto contenido de fundentes, aumenta la absorción del material, lo cual se debe a los residuos de fibra que el lodo dejaba en el interior del ladrillo una vez que éste era cocido y que al final del proceso seguía permitiendo que el ladrillo absorbiera agua.

Gráfica 4



Una vez concluidas las pruebas de absorción se realizó la prueba resistencia a la contracción, que fue la de mayor relevancia en el proceso. Al realizarlas se determinó que la cantidad de lodo disminuyó dramáticamente la resistencia que presentaba el ladrillo a la compresión. Esto se debe a que más de la mitad del lodo son fibras, quedando al final como manchas blancas que presentaban los ladrillos en su interior, y al contener una mayor cantidad de estas fibras, la fusión entre los óxidos se hacía más deficiente, disminuyendo su resistencia. Los resultados indicaron una vez más, que es conveniente utilizar el lodo en pequeñas cantidades para mantener una buena resistencia. En los resultados de resistencia aplicado a los ladrillos hechos a base únicamente de arcilla se obtuvo un valor promedio de 26 kg_f/cm^2, siendo el valor más bajo de 19 kg_f/cm^2. Tomando este último valor como referencia se realizó una regresión lineal en la gráfica 5 y se encontró que para igualarlo es necesario aplicar un porcentaje de lodo igual a 7%, por lo que se recomienda utilizar este desecho en porcentajes no mayores a dicho valor.

Gráfica 5



En lo que respecta a la efectividad de combustión, representaron buenos resultados, pues al partir el ladrillo se encontró un color uniforme, sin embargo, entre más cantidad de lodo se utilizaba, mayor era la cantidad de pequeñas manchas blancas fibrosas encontradas en la estructura del ladrillo, lo cual no afectó el color del producto o en su combustión, sino que se reflejó en la resistencia a la compresión.

Después de realizar los experimentos mencionados con el lodo se realizó el análisis del mismo para determinar su capacidad de ser combinado con la arena sílica. Para esto se tomaron como referencia los resultados reportados por el maestro Miguel Ángel Gutiérrez en su tesis de licenciatura, donde se dedicó a la determinación del uso de esta arena en la fabricación de ladrillos y se llega a la conclusión de que es posible utilizar las arenas de tipo dos en un porcentaje máximo de 30%.

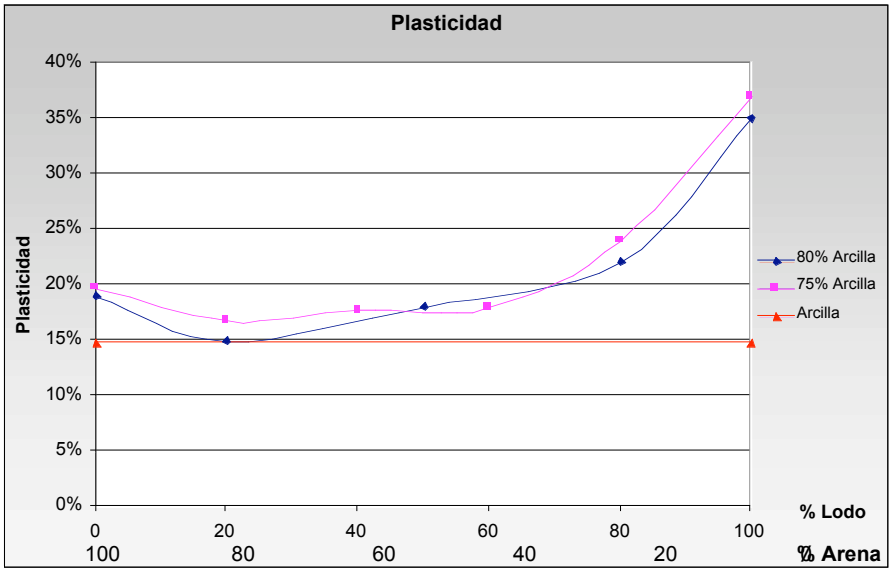
La metodología que se siguió fue realizando ladrillos con un 80 y 75% de arcilla, siendo el porcentaje restante combinaciones de arena con lodo para observar los cambios generados por ambos productos. El principal beneficio encontrado de la arena fue el tener un buen tamaño de partícula que permitió una buena interacción entre los óxidos presentes, pero su desventaja radicó en la alta cantidad de sílice contenida, es aquí donde resultó ser de mucha utilidad el lodo, pues contiene una mayor cantidad de fundentes que disminuían el punto de fusión de la sílice.

Los resultados alcanzados en este proceso de investigación se muestran a continuación, siguiendo el mismo orden de análisis que en el estudio de los lodos expuesto anteriormente.

En el análisis de la plasticidad, en ambos casos (75 y 80% arcilla) se encontró una tendencia similar, en la que se observó que la plasticidad comenzó descendiendo, para posteriormente aumentar al mismo ritmo que se aumenta la cantidad de lodo al producto terminando con valores muy altos. El descenso observado al iniciar a adicionar lodo y su posterior aumento en el valor de la plasticidad se debió a dos razones; a que el lodo adicionado contiene en si determinada cantidad de humedad y a que las partículas del lodo son más gruesas. Esto provocó que al adicionar este material en pequeñas cantidades su humedad y su tamaño de partícula disminuyeran la plasticidad del molde, pero al ir aumentando el porcentaje de este

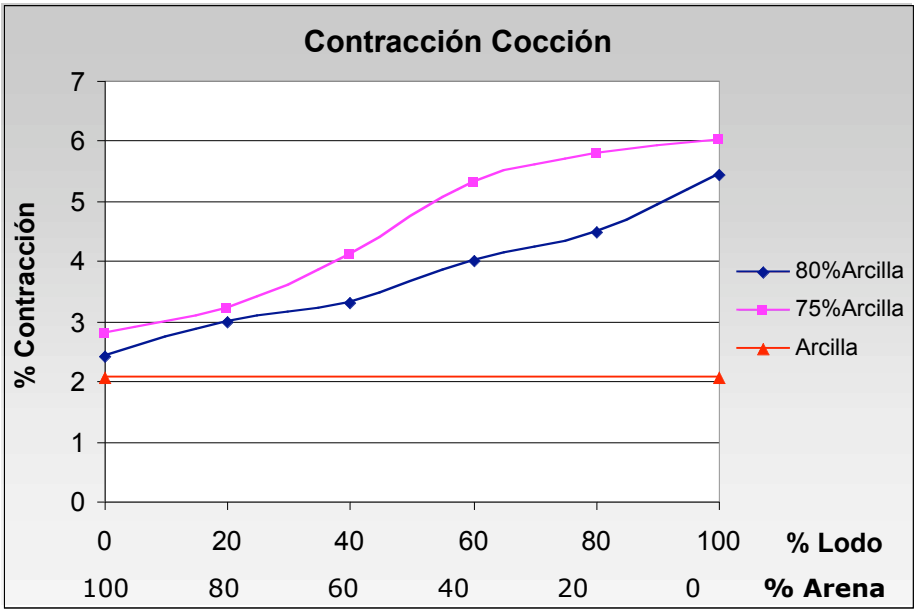
desecho, el agua necesaria para formar la pasta se hizo mayor debido a las necesidades del lodo, que al encontrarse en grandes porcentajes requirió de una mayor cantidad de líquido. En la gráfica 6 se observó que entre menos arcilla contenía el material, la tendencia de la gráfica era de desplazarse hacia arriba a valores porcentuales mayores.

Gráfica 6



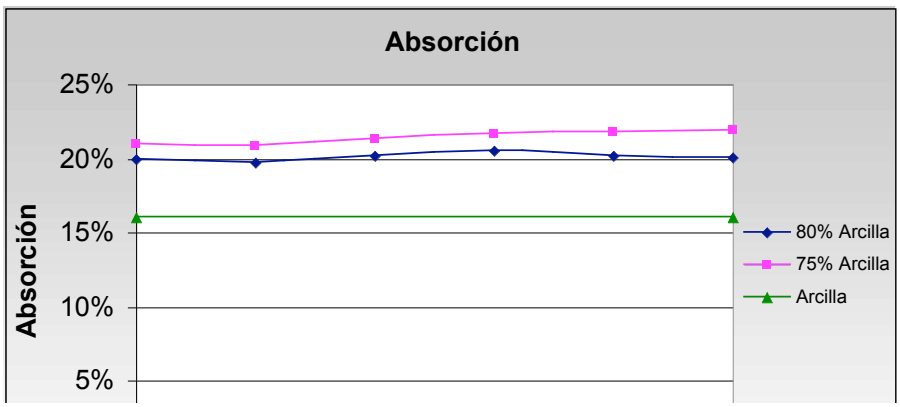
Al realizar el estudio de contracción a la cocción se encontró que ésta disminuyó conforme se utilizaba menor cantidad de lodo en la mezcla. La contracción máxima alcanzada resultó ser un valor lo suficientemente alto como para provocar que el ladrillo se fracturara. Al comparar los resultados obtenidos al variar la cantidad de arcilla (75 u 80%) en la gráfica 7 se observaron resultados similares, la única variación fue que la línea de 75% de arcilla se recorrió hacia arriba. Estos valores altos se produjeron debido a que el lodo es un material muy propenso a la contracción gracias a su alto contenido de humedad.

Gráfica 7



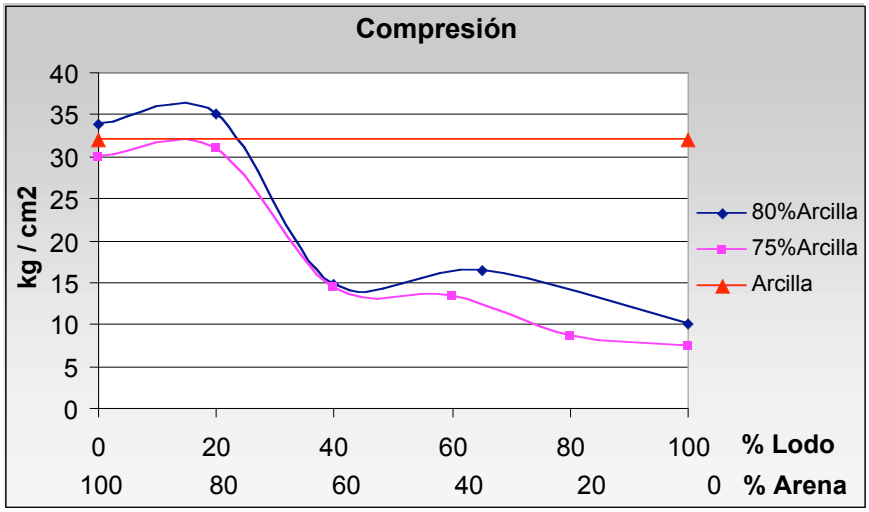
Las pruebas de absorción que le fueron hechas al material indicaron el grado de madurez que alcanzó el biscocho. En los resultados representados en la gráfica 8 se observó que las mezclas realizadas presentaron una absorción un poco mayor que la deseada, siendo que entre menor fue la cantidad de arcilla utilizada en la fórmula del material, disminuía la separación de los resultados con respecto al blanco. La razón de esta separación es la alta tendencia que presentó el lodo a absorber debido a su alto contenido orgánico. Se vio poca variación en los resultados, representados casi con una línea horizontal, lo cual indicó que el grado de maduración que se alcanzó no varió mucho, gracias a la compensación que existe entre los fundentes del lodo y la sílice de la arena.

Gráfica 8



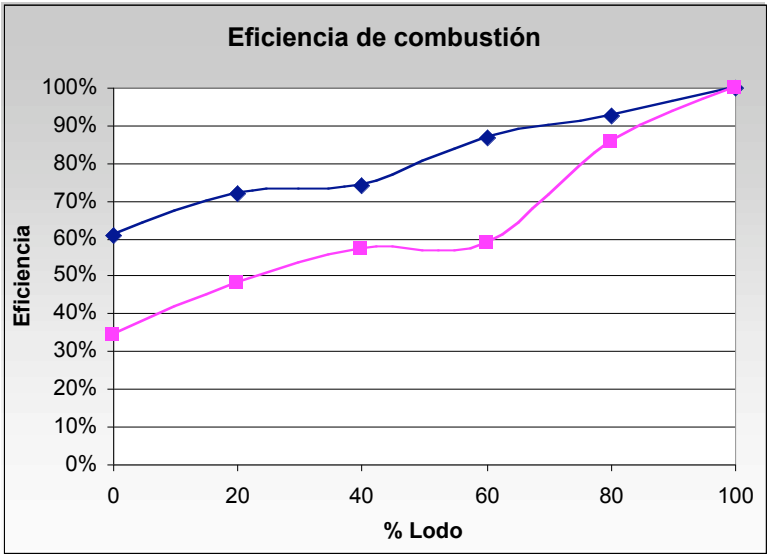
La prueba de compresión fue una de las pruebas más importantes, pues indicó la resistencia que presentó el ladrillo a soportar determinada cantidad de peso antes de romperse. Los resultados encontrados en la gráfica 9 nos indicaron que la combinación de 6% de lodo con 14% de arena los resultados más altos, y que mientras aumentaba la cantidad de lodo y disminuía la de arena la resistencia decaía. La razón de que esto sucediera fue debido a que el tamaño de partícula de la arena es menor, y que las partículas pequeñas otorgaron al ladrillo una mayor resistencia gracias al nivel de compactación que alcanzaban. Por otro lado, el nivel de bentonita disminuyó conforme se le restaba arena a la mezcla, siendo este otro factor, ya que la bentonita es una arcilla pura, formada por silicatos hidratados de sodio, calcio o magnesio, ésta tiene excelentes propiedades plásticas, impermeables y de resistencia; estas características permiten que se ocupe como agente aglutinante en la formación de moldes para la fundición.

Gráfica 9



Finalmente al ladrillo se le realizó una última medición; la eficiencia de la mezcla tomando en cuenta la pérdida por combustión, análisis igual de importante que la resistencia debido a que el material arenoso presentó algunos problemas representados por una mancha negra en el interior del ladrillo lo cual implicó una mala maduración del material. Los resultados encontrados en la gráfica 10 demostraron que entre mayor era la cantidad de lodo que se le agregaba a la mezcla, mayor era la eficiencia que presentaba, pues la mayoría del contenido inorgánico del lodo contiene fundentes que permitieron una buena maduración del ladrillo a las temperaturas trabajadas. El efecto fue confirmado al realizar ladrillos únicamente con arcilla y lodo, ya que la eficiencia en estos casos fue completa, demostrado al partir el ladrillo y no encontrar manchas negras en su interior.

Gráfica 10

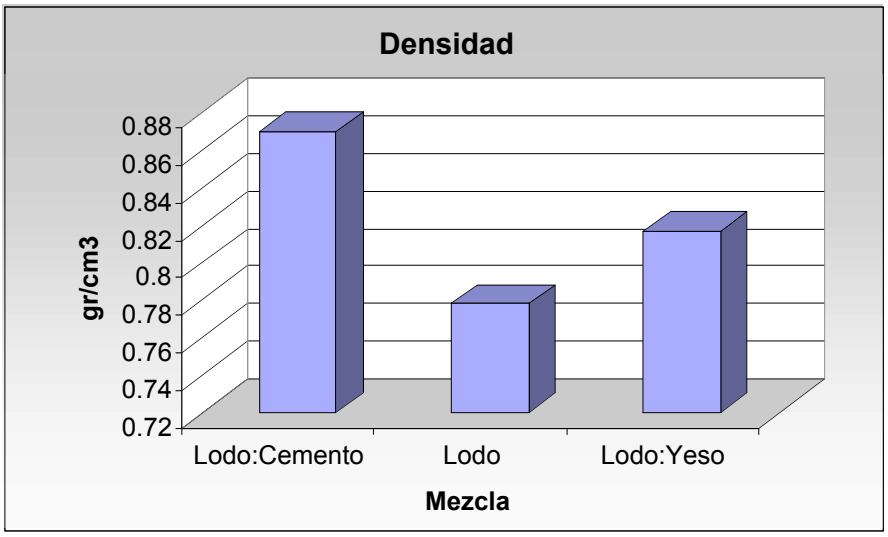


7.7 Tabla roca

Al igual que en el caso de los ladrillos, los primeros experimentos que se llevaron a cabo para la fabricación de tabla roca fue utilizando solo el lodo de la empresa de

papel, de esta manera se logró familiarizarse y entender el comportamiento de este material al ser utilizado como materia prima en la producción de páneles, para posteriormente llevar a cabo experimentación utilizando materiales aglutinantes que mejoren las características del lodo. Dichos materiales aglutinantes fueron el cemento y el yeso. Ambos materiales se probaron por separado, ya que el cemento y el yeso no pueden ser utilizados en una misma mezcla porque el yeso contiene anhídrido sulfúrico, el cual reacciona con los aluminatos hidratados del cemento, formando una etringita secundaria, compuesto expansivo que provoca la desintegración del producto endurecido.

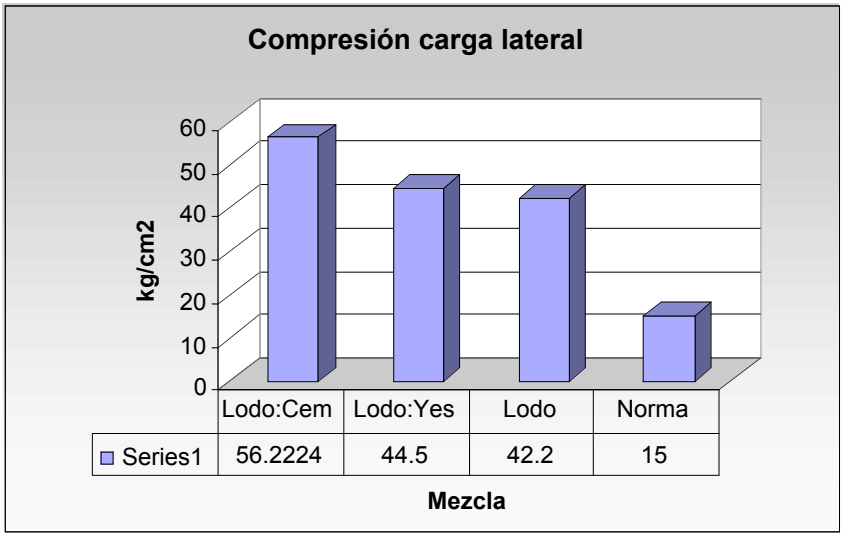
La primera medición al material fue su densidad, la cual resulta de vital importancia pues, al ser utilizada en espacios cerrados es conveniente que tenga un peso ligero, para no encarecer el proceso de transporte y almacenaje, así como el de instalación del producto final. Los resultados alcanzados según la gráfica 11 demostraron que la mezcla que tiene una densidad mayor es la que contiene cemento. Sin embargo aún así los resultados obtenidos son menores al de la madera (1.56 gr/cm^3), material que fue tomado como referencia debido a su uso común en la industria de la construcción así como en la fabricación de tabla roca.



Gráfica 11

Posteriormente se midió la resistencia a la carga lateral que alcanzan los páneles. Esta medida resultó fundamental, pues parte de su fragilidad puede residir al poner determinado peso sobre la tabla o por uno de sus costados, y en caso de que el material resultara débil, una ruptura en el mismo sería inevitable. Los resultados de la gráfica 12 indicaron que la mezcla que se realizó con cemento dio mejores resistencias en la práctica, sin embargo los resultados alcanzados únicamente usando lodo y combinado el mismo con yeso también resultaron satisfactorios comparados con los registrados en la norma mexicana.

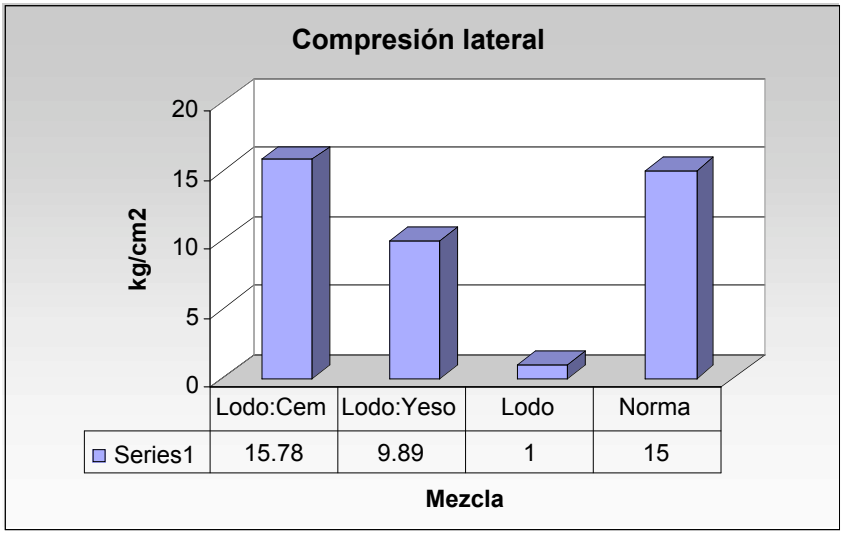
Gráfica 12



Otra medida que se llevó a cabo fue la resistencia al fuego de la tabla roca generada. La incursión de esta medida se debió a cuestiones preventivas y de seguridad, pues en caso de un incendio es necesario que el producto no genere más fuego, y que de igual forma, no desprenda gases tóxicos que puedan resultar nocivos a las personas dentro del edificio o construcción. En los resultados se observó que el material lodoso no puede ser utilizado como materia prima única, pues debido a su alto contenido de celulosa se convirtió en un material combustible y se incendiaba ante la presencia de fuego, por lo que fue necesario agregarle otros materiales aglutinantes que formaran una capa de cristales que recubriera las fibras

de celulosa. La mezcla en la que se utilizó cemento mostró una resistencia favorable, pues después de mantenerse al fuego no presentó flamas ni gases que pudieran resultar nocivos, el único efecto observado fue un gradual cambio de coloración del material tornándose de un color obscuro. En el caso del yeso el material se consumió más rápido que el cemento, sin presentar humo ni fuego durante el proceso, sin embargo, al momento de retirarlo del fuego si se observó un poco de humo que se desprendía del material.

Finalmente se hizo una última medición. Los moldes de tabla roca fueron depositados en un balde con agua por un lapso de una hora, para después dejarlos secar por dos horas y someterlos a pruebas de compresión. Los resultados encontrados en la gráfica 13 indicaron un descenso en la resistencia de los materiales, pues al volver a ser sometidos a la prueba de compresión lateral su capacidad de resistencia fue menor. Esto nos indicó que pese a usar aglutinantes, el material orgánico sigue conservando su capacidad de absorber agua, y aunque después de dos días a la intemperie vuelve a secarse y a retomar su resistencia, termina siendo no recomendable su uso a la intemperie con cualquiera de las mezclas probadas, pues podría provocar serios problemas estructurales. Se sugiere su uso solo de forma interna en una construcción.



Gráfica 13

La finalidad principal de trabajar con estos materiales fue el formular procesos de fabricación de ladrillos y tabla roca de forma industrial, logrando así un beneficio real en la economía de las industrias y en el impacto ambiental causado por las mismas. De esta forma, los ingenieros Ramón Olivas y Ezequiel Rodríguez llevaron a cabo un análisis económico y ambiental de la producción de ladrillos usando material de desecho, planteando así el diagrama de flujo para la producción industrial de estos materiales. En el caso de la tabla roca, y como parte de esta tesis, se diseño un tren que podría ser tomado en cuenta como punto de inicio en el caso de realizar un trabajo similar para la producción de este producto de forma industrial, el cual se muestra en la figura 5.

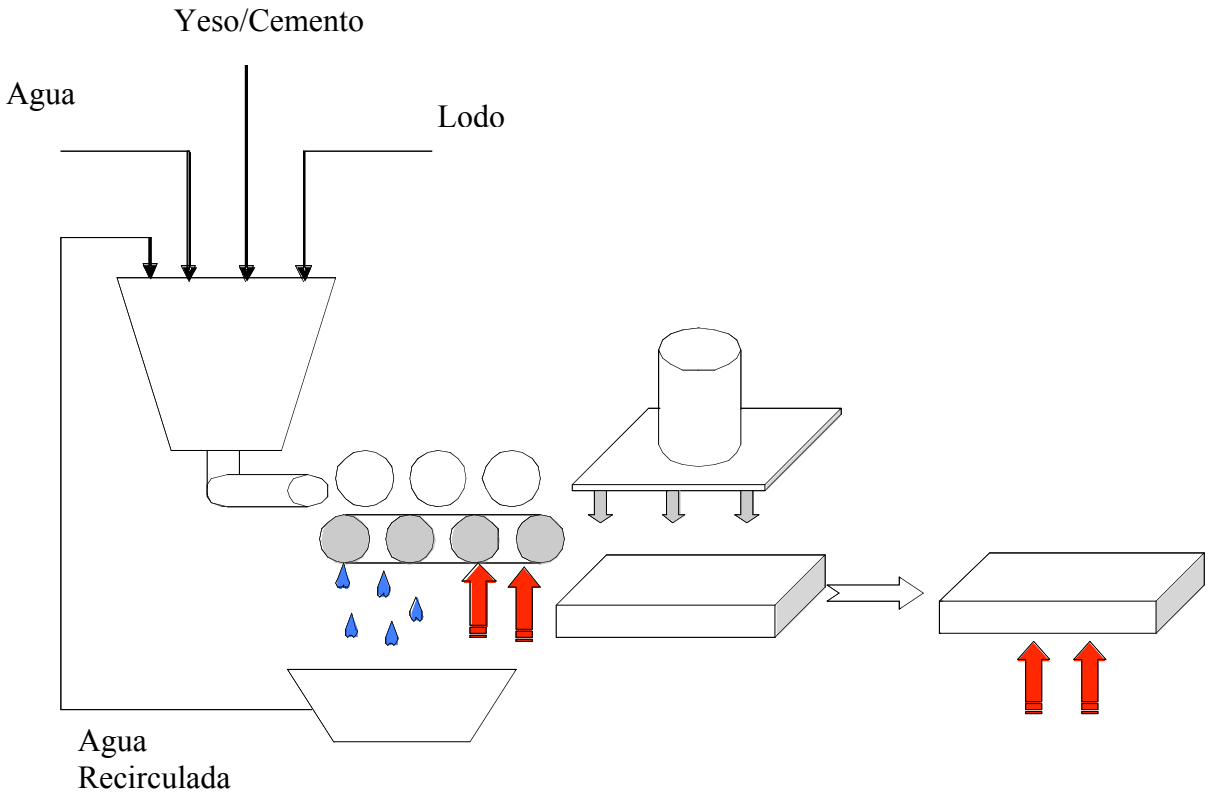


Figura 5

El proceso consiste en un tanque agitador en el que se mezcla el lodo con alguno de los aglutinantes (yeso o cemento), diluyéndolos en agua. A la salida del tanque el material pasa por una banda con rodillos, cuya función es eliminar el exceso de humedad de la mezcla, el agua desechada es recolectada en un depósito, recirculando esta agua al tanque agitador. En la última parte de la banda el lodo es expuesto a vapor para secar el material y dejarlo en condiciones de ser moldeado. Después el material es depositado en un molde y comprimido por medio de una prensa para adquirir las dimensiones y el acabado necesario. Finalmente el lodo es expuesto a vapor o a altas temperaturas para su secado completo.