



Elementos constructivos de materiales sostenibles para viviendas de interés social

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MATERIALES



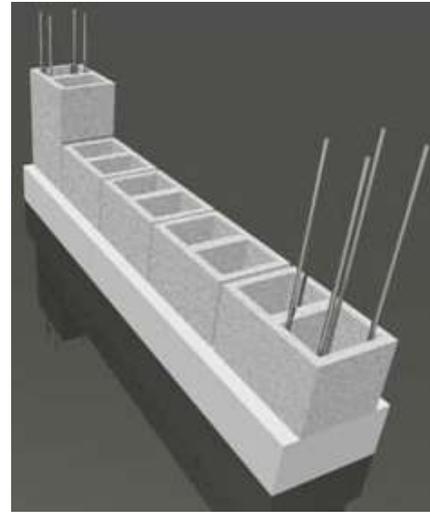
## **INTRODUCCIÓN**

La Universidad del Valle a través del Grupo de Investigación Materiales Compuestos de la Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería de Materiales en cooperación con el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universidad Politécnica de Valencia en el marco del proyecto “Utilización de ceniza de cáscara de arroz en la elaboración de materiales de construcción no convencionales para viviendas de interés social en el Valle del Cauca, Colombia” apoyado por la Conselleria de Benestar Social de la Generalitat Valenciana de Valencia, España, presenta a la comunidad esta cartilla con el propósito de ilustrar procesos de fabricación con tecnologías apropiadas de elementos para la construcción de vivienda utilizando materiales de construcción sostenibles tomando como base el uso de la ceniza de cascarilla de arroz como material suplementario y de complemento granulométrico. La edición de estas cartillas es apoyada por Arroz Blanquita de la empresa Arrocería La Esmeralda de Jamundí, Valle del Cauca, Colombia. En la primera parte se presentan los conceptos sobre materiales, cemento portland, cal, piedras para agregados, arcillas o suelo para adobes o para suelo cemento; igualmente, se menciona el uso de la ceniza de cascarilla de arroz como un desecho agroindustrial que podría ser utilizado como materia prima, igualmente lo sería otro material disponible localmente como otra ceniza, por ejemplo la del café o una procedente de un volcán o de un desecho como un residuo de demolición que contenga ladrillos. También se podría utilizar una fibra, como la que se usa para fabricar adobe o la de fique o la de piña para fabricar tejas o para reforzar bloque o placas para paneles y adobes, igualmente hay fibras sintéticas que se consiguen comercialmente y se desempeñan bien. Posteriormente al tratamiento de los materiales se comentan los procesos de fabricación de elementos de construcción con los materiales mencionados. Entre estos elementos se tienen: placas, tejas, bloques y panelería de ferrocemento. Se aclara que los resultados de su aplicación, dependerán de la capacidad profesional y técnica del personal que haga uso de ella. Por lo tanto sus autores no se hacen responsables por los riesgos que se deriven de la calidad de los materiales, métodos de constructivos o malas aplicaciones e interpretaciones de la información de este material.

## **MATERIALES**

### **Cemento**

El cemento Portland es un producto resultante de la transformación de minerales calcáreos (caliza), alúmina y sílice, los cuales se encuentran como arcillas en la naturaleza. El cemento es un material aglomerante con muy buenas propiedades de adherencia y cohesión que al reaccionar con el agua permite unir diferentes fragmentos minerales entre sí para formar una estructura compacta con resistencia y durabilidad adecuada. Entre los principales usos del cemento se encuentran elementos estructurales tales como vigas, columnas, Obras civiles (presas y túneles), prefabricados (Bloques, adoquines, baldosas) entre otros.



### Agregados o áridos

Los agregados o también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular que por lo general son obtenidos de la explotación de fuentes naturales. Entre estos se encuentran la arena, las gravas de río y diversas rocas y piedras naturales. De acuerdo con su tamaño son

clasificadas como agregados finos cuando las partículas tienen un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor a 0.07mm y grueso cuando estas tienen un diámetro mayor a 5 milímetros.



## Cal

La cal es un material aglomerante obtenido por la calcinación de rocas calcáreas de alta pureza, constituidas principalmente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Desde la antigüedad este material ha sido ampliamente usado en la construcción en la fabricación de prefabricados como hormigón celular y aireado, ladrillos silicocalcáreos y bloques de tierra comprimida. La cal para blanqueo es apropiada y se somete a un proceso de pudrición o de maduración. Para mezclar la cal con otros ingredientes, como el cemento o la arena, es necesario que esté podrida o madurada para que quede uniformemente distribuida por toda la mezcla y así evitar la formación de grumos dentro de ella.

La pudrición o maduración de la cal es un proceso en el cual cada partícula de cal queda dispersa dentro del agua. La cal podrida permite:

- Mejorar la trabajabilidad
- Retener la cantidad de agua en la mezcla permitiendo el endurecimiento adecuado del cemento
- A largo plazo impermeabilizar el objeto fabricado.
- Mayor incorporación de arena (menor costo) sin reducir la trabajabilidad.

### ¿Cómo se lleva a cabo el proceso de maduración?

Este proceso es muy sencillo, tan solo se necesita:

- Un bulto de cal hidratada
- Un recipiente grande (Puede ser una caneca de plástico)
- Agua

1. Llena 2/3 de la caneca con cal
2. Agrega agua hasta llenar la caneca
3. Revuelve el contenido dos veces al día durante una semana, ten en cuenta que durante este tiempo debes mantener sellada la caneca con una lona plástica para que el agua no se evapore y la cal no se contamine.
4. Luego de una semana la cal obtendrá una consistencia mantequilluda y estará lista para ser usada para la elaboración de distintos materiales.



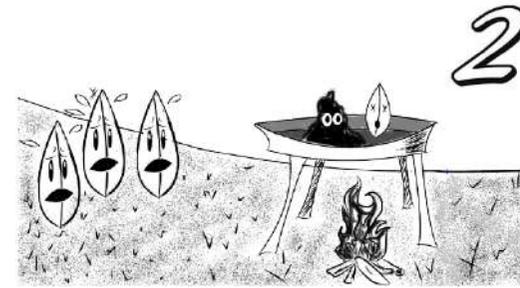
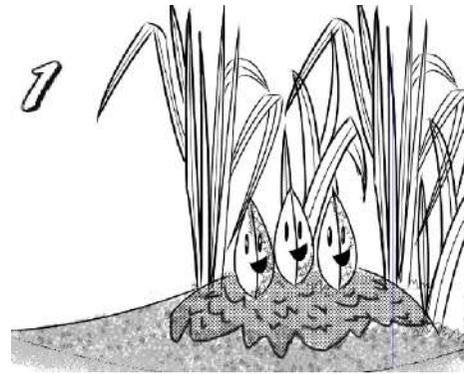
Nota: Antes de extraer la cantidad de cal necesaria para la mezcla se debe de retirar el agua que se encuentra en la superficie de la caneca.

## **Cascarilla de arroz**

La cascarilla de Arroz es un subproducto agrícola del proceso de trilla del arroz paddy empleado en la obtención del arroz blanco. Aproximadamente por cada 5 toneladas de arroz se genera 1 tonelada de cascarilla. La cascarilla de arroz puede ser empleada en la elaboración de abono orgánico, caucho, aislantes térmicos y acústicos, elementos prefabricados, entre otros. También puede ser usada para reforzar tejas y placas, moliéndola previamente en un molino casero (como el que se utiliza para moler maíz para arepas) y sometiéndola luego a un tratamiento con agua cal, donde se deja hervir en esta por diez minutos. Así de esta manera la protegeremos de los hongos, las bacterias y de ataques químicos.

### ***Obtención de ceniza de cascarilla de arroz.***

La ceniza bien quemada y molida finamente la ceniza de cascarilla sirve como un material llamado puzolana para reemplazar en una pequeña cantidad al cemento y así producir elementos de construcción más económicos. Esta ceniza se puede obtener haciendo una pre-quema a cielo abierto de la cascarilla hasta un color gris, así se puede obtener aproximadamente una tonelada de ceniza de cascarilla de arroz por cada 5 toneladas de cascarilla de arroz quemadas. También se pueden usar otros métodos más sofisticados para obtenerla industrialmente y de paso se hace un aprovechamiento térmico para reemplazar combustibles fósiles con ventajas para el medio ambiente. Con la ceniza de cascarilla también se pueden hacer morteros con cal. La cascarilla también sirve como reemplazo de la arena fina para mejorar el comportamiento de los morteros y de los concretos u hormigones.



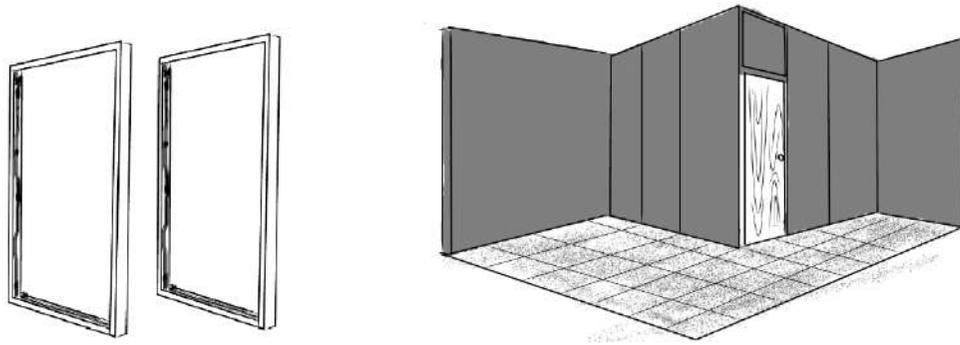
## FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

Ya hemos tratado de los diferentes materiales que serán empleados para la elaboración de nuestros elementos prefabricados (Adoquines, Bloques, Placas y Tejas). Así que en esta sección describiremos los diferentes procesos que debemos seguir para la elaboración de cada uno de estos

### PLACAS PARA PANELERÍA

#### *¿Qué es un panel?*

El panel es un elemento que se utiliza para hacer divisiones dentro de la casa permitiendo la adecuación de espacios. Este elemento contiene una placa elaborada de cemento, arena, cal hidratada, agua y en este caso ceniza de ceniza de cascarilla de arroz.

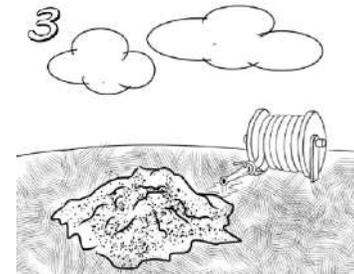
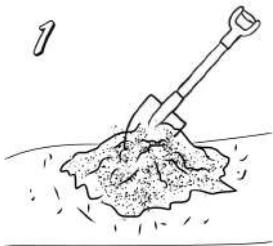


### ***¿Cómo se elabora una placa para panel?***

Para fabricar nuestra placa necesitamos un molde en el cual verter la mezcla. Este molde puede ser elaborado uniendo perfiles de aluminio o de madera para formar un marco y empleando como base una lámina de triplex o una de *superboard* o una metálica de acero. Esta lámina se cubre con un plástico para que la mezcla se desprenda con facilidad, se debe cuidar que no queden arrugas en el plástico. Las dimensiones de cada placa dependen del tamaño del muro o del área del espacio a separar. Se sugiere un tamaño mínimo de 8 centímetros.

### **Preparación de la mezcla**

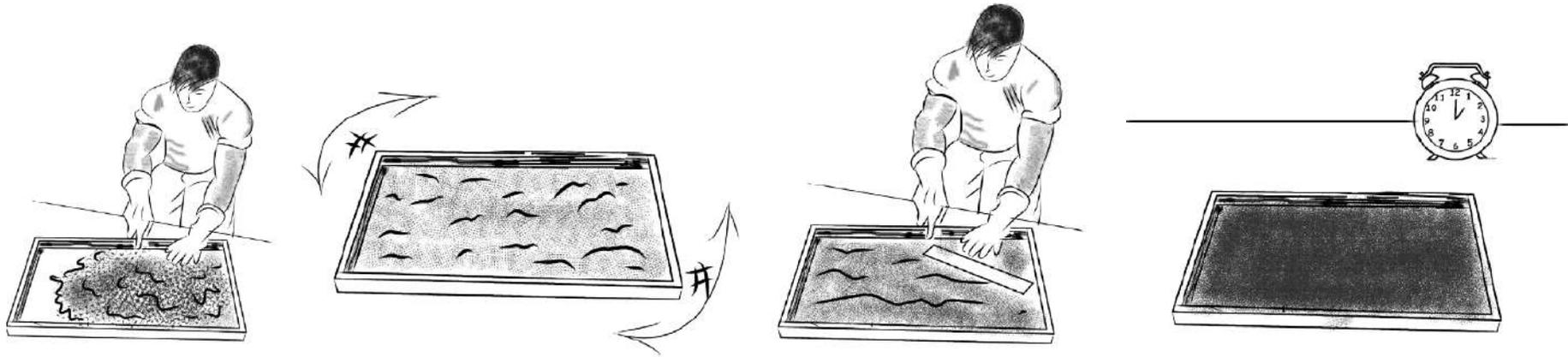
Para preparar la mezcla se utilizaran baldes con capacidad de 10 litros. Utilizando una dosificación en volumen de materias primas como se muestra en la figura, se mezclan con pala: 1 balde de cemento,  $\frac{1}{4}$  de balde de ceniza de cascarilla de arroz,  $\frac{1}{4}$  de balde de arena,  $\frac{1}{2}$  balde de cal podrida,  $\frac{1}{3}$  de balde de agua. En caso de emplear cascarilla en verde recuerde realizar el proceso de inmunización. Luego de ello agrega la cal madurada procurando distribuirla uniformemente por toda la mezcla. Verter agua y mezclar hasta obtener una mezcla con consistencia similar a la del barro.



### Moldeo de la placa

1. Para dar forma a la placa la mezcla debe ser vaciada y repartida uniformemente en el interior del molde procurando llenarlo completamente.
2. Se retiran las burbujas atrapadas en el interior levantando el molde y balanceándolo sobre la mesa.

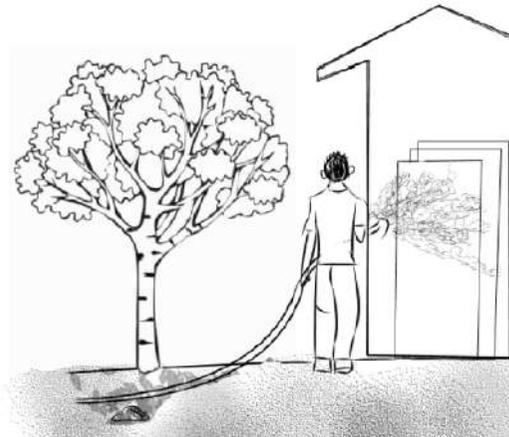
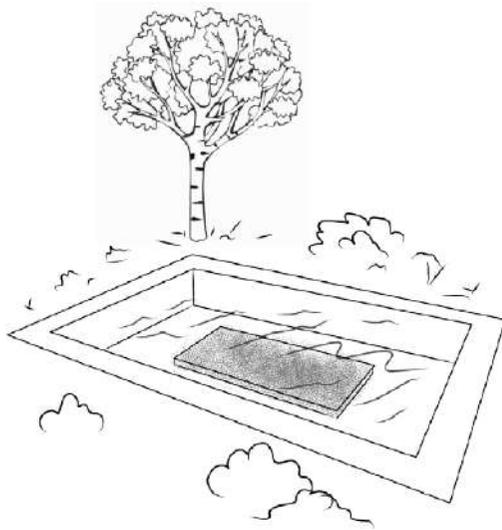
3. Con el fin de nivelar la superficie se pasa una regla metálica o de madera a lo largo y a lo ancho hasta dar un terminado liso.



Finalmente la mezcla se deja en el molde durante un periodo de doce horas hasta que se endurezca protegiéndola del salpicado de agua y de se seque al sol, lo mejor es cubrir el molde con sacos de fique humedecidos. Pasado este tiempo la placa puede ser desmoldada y transportada al sitio de curado.

### **CURADO**

El curado del material permite que la pieza desarrolle su resistencia mecánica. Este proceso se puede llevar a cabo mediante dos formas: Transportar la placa a un estanque con agua y dejarla sumergida por un periodo de 20 días o cubrir las placas con costales o mantas y regarlas periódicamente con una manguera durante el mismo lapso.



## TEJAS

### ¿Qué es una teja?

La teja es un elemento que se emplea para techar casas y edificios. De igual manera que los otros elementos prefabricados nombrados anteriormente; esta también es fabricada con cemento, arena, cal hidratada, agua y ceniza de cascarilla. Entre los diferentes tipos de teja se encuentran la teja mixta, cobija, ventilación.

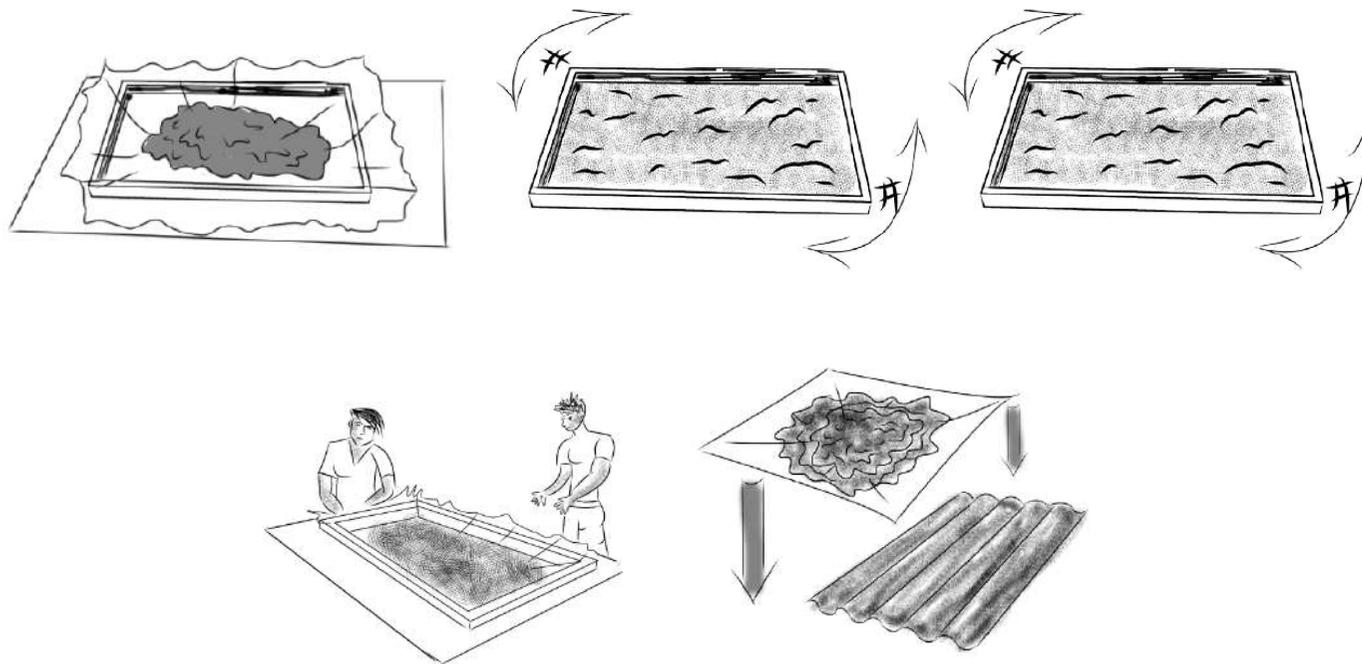
Para la elaboración de las tejas se empleara un molde elaborado con perfiles de aluminio o de madera y una lámina triplex.

### TEJA LARGA ONDULADA O CORRUGADA

La teja ondulada es un elemento que se utiliza para techar y en su fabricación se emplean cemento, ceniza de cascarilla de arroz, cal hidratada, arena, agua y fibra de refuerzo, que puede ser trozos de fibra de fique o cabuya, fibra de piña, cascarilla de arroz molida, fibras de plástico, entre otras. Las cantidades para la mezcla son: 1 balde de cemento, ½ balde de arena o de cascarilla de arroz- o mezcla de ambas, sin exceder el ½ balde-, ¼ de balde de cal podrida, 1/3 de balde de agua y 1 balde de fibra (cortada entre ½ y 2 centímetros). La fibra debe haber sido tratada con la cal, como se ha mencionado. El contenido de agua puede ajustarse ligeramente, pues no todas las arenas ni todos los cementos son iguales, y la fibra absorbe agua también.

El procedimiento de preparación consiste en:

1. Poner el cemento y la arena juntos- puede hacerse en una media caneca cortada a lo largo por la mitad- hasta que el tono del color sea parejo.
2. Se agrega el fique esparciéndolo por toda la mezcla, sin dejar de revolver con la pala se le añade la cal podrida, se le agrega el agua, y se sigue revolviendo hasta obtener una consistencia similar al barro.
3. Luego, sobre el molde se coloca un plástico grueso y sobre este se vierte la mezcla esparciéndola de manera uniforme con el palustre hasta que el molde quede lleno completamente. Se retiran las burbujas de aire atrapadas en el interior levantando ligeramente el marco y golpeándolo suavemente. También, en un proceso un poquito más tecnificado se puede vibrar en una mesa vibradora.
4. Se nivela la superficie pasándole una regla metálica o de madera a lo largo y a lo ancho hasta dar un terminado liso.
5. Se levanta la placa con el plástico tomándolo por los extremos con el fin de facilitar el transporte de la placa a un segundo molde en el cual le dará su forma definitiva. Este último puede ser una teja de asbesto-cemento o de acrílico.
6. Se coloca el plástico sobre la teja de asbesto y de forma manual se esparce por toda la superficie hasta dar la forma de la teja.
7. Finalmente en este molde la teja se deja endurecer durante 12 horas y después se procede a desmoldar la teja retirándola del molde sobre el cual está apoyada para luego transportarla con mucho cuidado para dejarla curar por 20 días. El curado se hace cubriendo las tejas con costales mojados, que se riegan periódicamente, o sumergiendo las tejas en agua. Cuando sean elaboradas tejas grandes, estas deben de ser manejadas entre dos personas. Un manejo adecuado previene la rotura de las tejas.
8. Pasados los 20 días, las tejas se deben almacenar en un lugar cubierto y fresco, para que cuando se vayan a instalar estén secas y más resistentes a la manipulación.

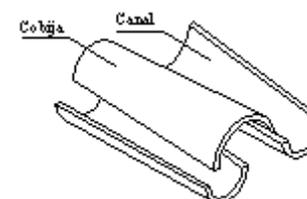
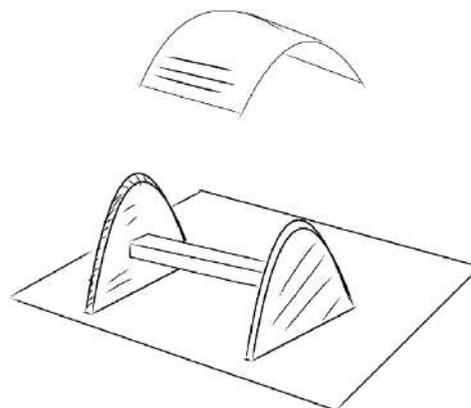
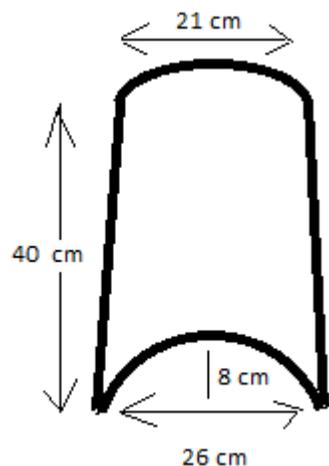


## TEJA ESPAÑOLA O ARABE

La teja árabe es la teja común de barro que se utiliza para techar cubiertas inclinadas. La mezcla será preparada empleando las mismas proporciones de materiales y siguiendo el mismo procedimiento de mezcla descrito anteriormente para fabricar tejas onduladas, se puede omitir el uso de la fibra de refuerzo. La teja española o árabe tiene corrientemente las siguientes dimensiones: 40 centímetros de longitud, 26 centímetros en el arco mayor y 21 centímetros en el arco menor, tiene 8 centímetros de altura. El espesor puede variar entre 6 y 10 milímetros.

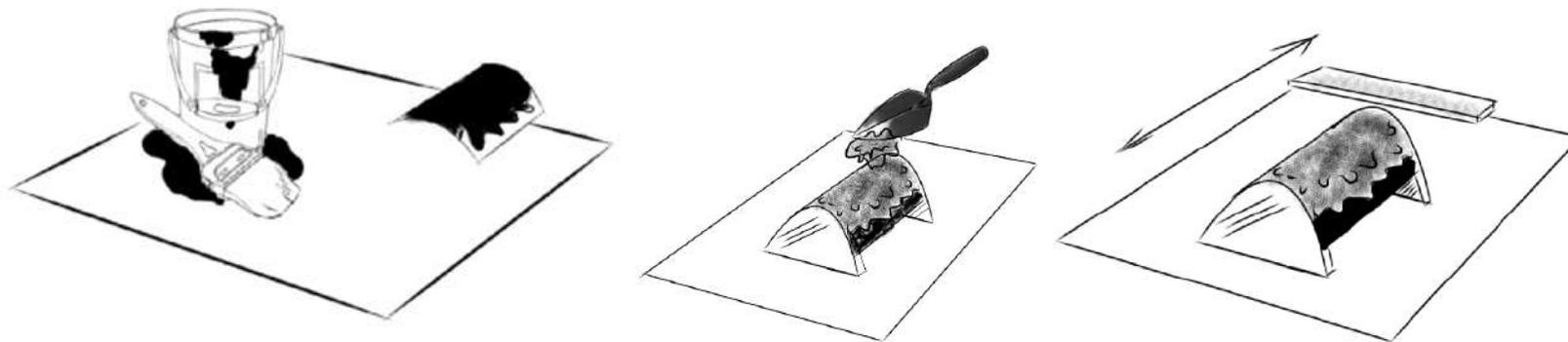
### Moldeo de teja española

Para la elaboración de este tipo de tejas se necesita un molde- sobre el cual se verterá la mezcla- constituido por un burro o estructura de soporte metálico o de madera y una lámina metálica curvada con la forma de la teja y con pestañas en sus lados con altura equivalente al espesor de la teja.



El proceso de moldeo consta de los siguientes pasos:

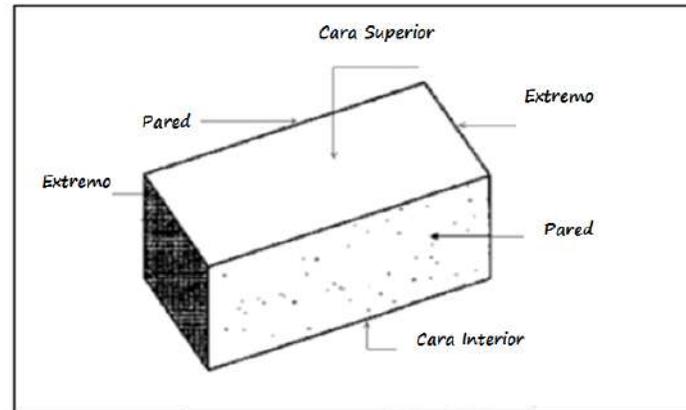
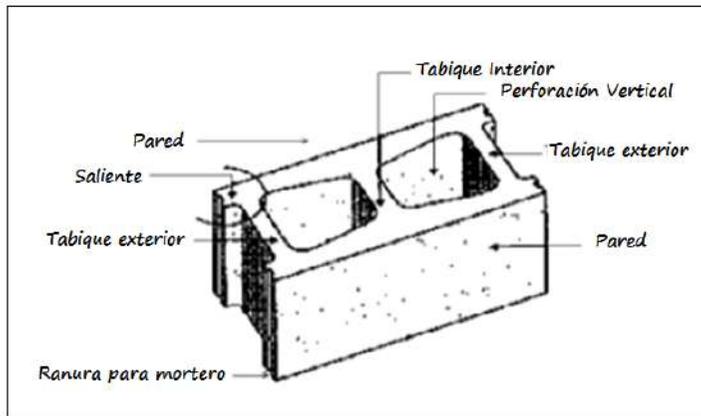
1. Limpiar la lámina y aplicar una capa de aceite o ACPM con el fin de que la teja pueda ser desmoldada fácilmente.
2. Sobre la lámina verter una cantidad de la mezcla y repartirla uniformemente con un palustre tratando de que el molde quede lleno completamente.
3. Enrasar la superficie con una regla a lo largo y a lo ancho
4. Retirar la lámina del burro y colocarla en un sitio cubierto y seco durante ocho horas para que la mezcla endurezca.
5. Una vez la mezcla ha endurecido con mucho cuidado la teja se desmolda y se lleva al sitio en el cual se realizará el curado por siete días, en forma análoga a como se describió anteriormente para la elaboración de placas..



## BLOQUES

### ¿Qué es un bloque?

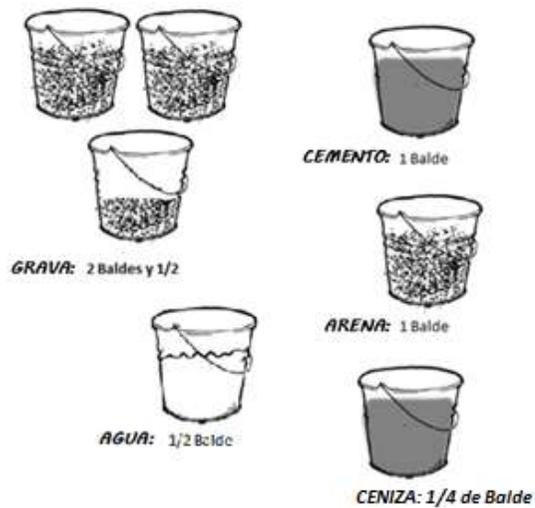
Un bloque es un elemento prefabricado de concreto con forma de prisma recto, que puede ser macizo o poseer una o más perforaciones. Se utiliza para elaborar mampostería (por lo general muros) y son los responsables de las propiedades mecánicas y estéticas de dichas mamposterías. Los bloques pueden ser elaborados de forma manual o tecnificada. En esta última categoría se hace uso de máquinas de vibro compactación o bloqueras y de la máquina CIMVA-RAM. Ambas permiten la obtención de materiales altamente densificados mediante la aplicación de presión.



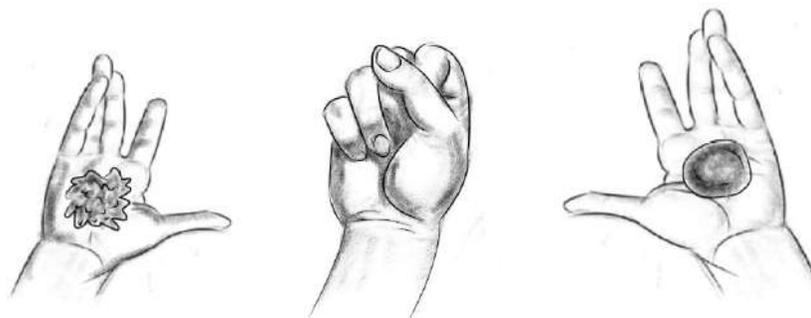
### Preparación de la mezcla

Las cantidades para la mezcla las vamos a manejar por volúmenes, es decir que vamos a medir nuestros materiales con baldes, con capacidad de 10 litros. La base para esta medida va a ser el cemento. Así, si utilizamos un balde (con capacidad de 10 litros) de cemento, la cantidad del resto de materiales (Agua, arena, gravilla y ceniza de cascarilla ) será: 1 balde de cemento,  $\frac{1}{4}$  de balde de ceniza, 1 balde de arena,  $2 \frac{1}{2}$  baldes de gravilla menuda,  $\frac{1}{2}$  balde de agua.

Cuando ya tengamos nuestros materiales listos, colocamos el cemento, la ceniza de cascarilla y la arena sobre una superficie limpia y los mezclaremos con una pala, en ese momento agregaremos nuestra ceniza repartiéndola uniformemente por toda la mezcla sin dejar de revolver con la pala.



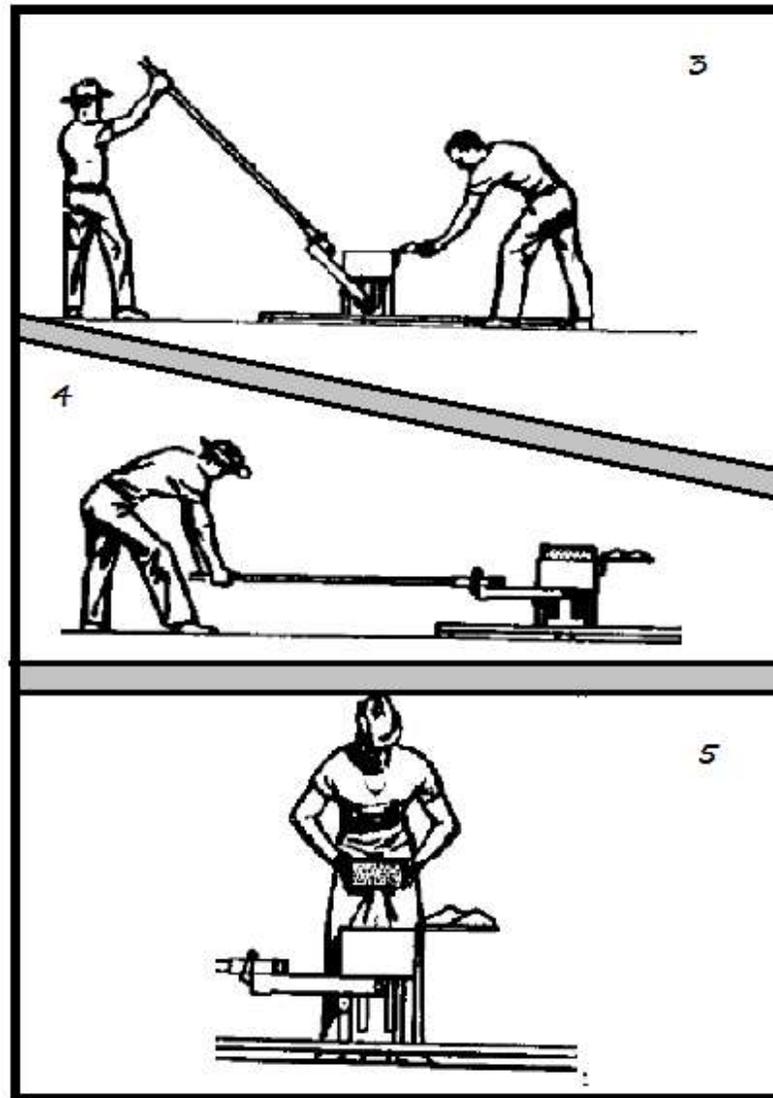
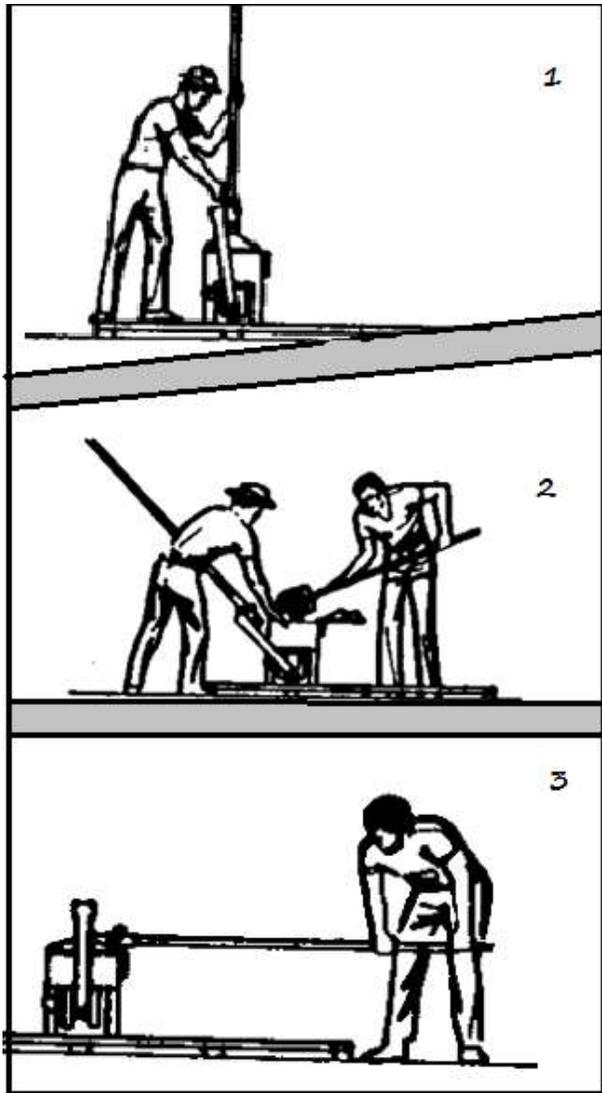
Cuando se obtenga un color uniforme en la mezcla se le agregara la gravilla y se continuara mezclando. Finalmente se hace un arrume en forma de cono para incorporar el agua y se mezcla hasta que el agua se distribuya bien. La forma de comprobar que la humedad que tiene la mezcla es la adecuada, es coger un poco de la mezcla en la mano y apretarla fuertemente, al hacer esto la mezcla debe de quedar apelmazada sin escurrirse. En caso de que el puñado se desmorone se le deberá de agregar más agua.



**PROCESO DE MOLDEO MEDIANTE LA MÁQUINA BLOQUERA MANUAL CINVA-RAM**

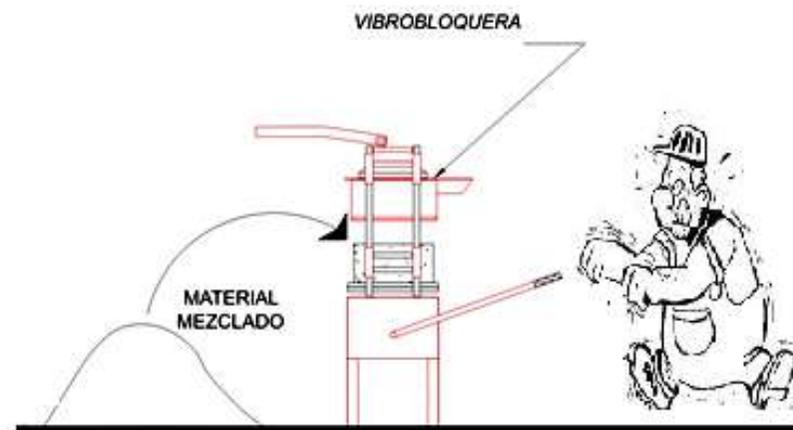
1. Una vez se ha elaborado la mezcla, utilizando una pala se llenará la cavidad del molde de la maquina CINVA-RAM hasta el tope, se limpiaran los excesos.
2. Cierra la cavidad del molde colocando la palanca en posición vertical. Lleva la palanca hacia abajo colocándola de forma paralela al suelo, así de esta manera se aplicará la presión necesaria para conformar el bloque. Si la cavidad del molde ha sido llenada adecuadamente no será necesario ejercer mucha fuerza.
3. Regresa la palanca a su posición original y gira la cubierta posterior, abre el molde.
4. Nuevamente mueve la palanca hasta colocarla paralela al suelo para eyectar el bloque.
5. Retira el bloque y llévalo a su lugar donde será almacenado por un periodo de 8 horas y finalmente Luego de las ocho horas llévalo a su lugar de curado.





## PROCESO DE MOLDEO POR VIBROCOMPACTACIÓN

1. Una vez preparada la mezcla esta se verterá dentro de la cavidad de la máquina Vibrocompactadora o bloquera.
2. Una vez dicha cavidad se encuentre a tope, se enrasa.
3. Se enciende la máquina para que esta ejerza vibración presión sobre la mezcla permitiendo la conformación los bloques.
4. Finalmente se apaga y se extraen las piezas conformadas.
5. Los bloques se llevaran a curar siguiendo el proceso descrito en apartados anteriores.

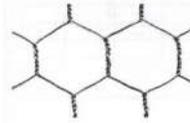


## FERROCEMENTO

### ¿Qué es el ferrocemento?

El ferrocemento es un tipo de construcción de mortero reforzado, con espesores delgados (2-4 cm), en el cual generalmente el mortero hidráulico está reforzado con capas de malla continua de diámetro relativamente pequeño. La malla puede ser metálica o de otros materiales adecuados. Entre los diferentes tipos de malla que se pueden emplear se encuentran: La malla hexagonal, la malla de metal expandido y la malla cuadrada. En nuestro medio, la más común es la denominada malla pollito.

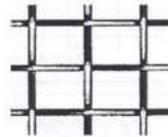
*Malla Hexagonal angosta (Malla de gallinero)*



*Malla de metal expandido*



*Malla cuadrada tejida*



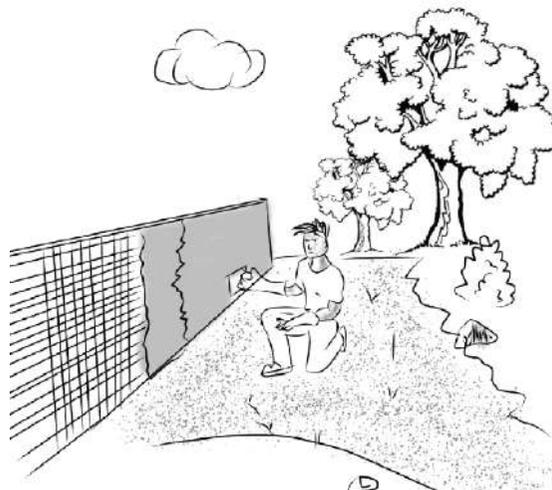
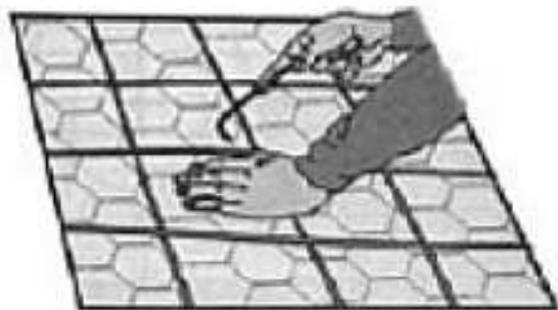
### **Preparación de la mezcla**

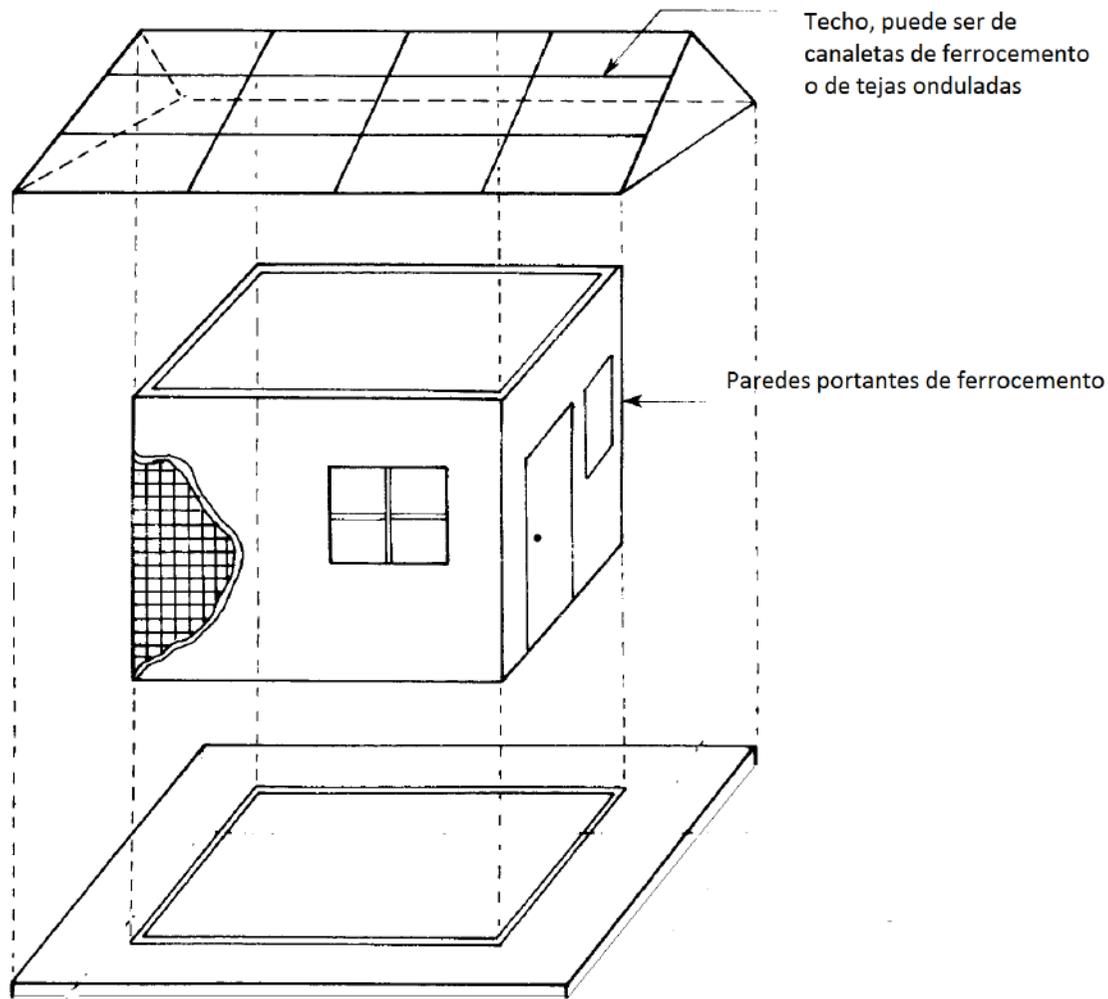
A diferencia de las mezclas que se emplearon en la elaboración de los elementos prefabricados en esta mezcla no se utilizará gravilla, por tanto nuestra mezcla será preparada con cemento, ceniza, arena y agua. La proporción de cemento- arena generalmente varía de una parte de cemento a 1 ½ - 2 partes de arena. La relación agua/cemento debe ser la más baja posible para tener buena calidad y trabajabilidad, preferiblemente el contenido de agua debe ser alrededor del 40% con respecto al del cemento en peso.

Las proporciones a manejar en el taller serán: 1 balde de cemento, ¼ de balde de ceniza de cascarilla de arroz, 1 ½ baldes de arena, ½ balde de agua.

### **Moldeo de un panel de ferrocemento**

Para la elaboración de los elementos primero se debe de construir el esqueleto de la estructura, para ellos se elabora un marco con perfiles de madera y a este se le fija un retículo a manera de malla de varilla de acero con diámetros entre 5 y 9 milímetros, tanto para el refuerzo longitudinal como para el transversa, con separación entre 8 y 25 centímetros para el esqueleto y entre dos y ocho mallas galvanizadas dependiendo del diseño, que se reparten a cada lado del esqueleto de acero, amarrada a este con alambre dulce a tramos entre 15 y 30 cm. Una vez el esqueleto de nuestra estructura está listo con las mallas se procede a aplicar la mezcla de mortero de manera manual, llenando todas las cavidades de la malla. La mezcla se deja endurecer durante 8 horas protegiendo la superficie con sacos de fique húmedos, y finalmente se hace el curado por unos siete días, humedeciendo con frecuencia para evitar que se agriete.





Izquierda. Casa con paredes en ferrocemento (Adaptado de "L. Robles- Austriaco et al. Ferrocement Floating House. International Ferrocement Information Center. Do It Yourself Series. Booklet Number 10. Bangkok, Thailand, 1991.). A la derecha, casa diseño especial con ferrocemento

## ADOBES DE ARCILLA Y DE SUELO CEMENTO

La producción de ladrillos a base de tierra cruda, sin la adición de fibras, viene ganando, cada vez más, un espacio notable en la bioconstrucción como una opción ecológica. Se define como *adobe*, al bloque macizo de tierra sin cocer el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos. Se ha empleado una adición entre 4 a 12% de cemento y/o cal para hacer más resistente el comportamiento frente a la acción del agua, una adición de tan solo un 5% de cemento se considera suficiente para lograr su estabilización. Un material arcilloso adicionado con cemento portland se denomina suelo-cemento. El moldeo del adobe se puede hacer en forma manual en moldes de madera o compactando con la máquina CINVA-RAM, siguiendo los pasos descritos para esta.

Para mejorar la ductilidad del adobe, su dosificación puede incluir una fibra de refuerzo como fibras de fique, coco, cascarilla de arroz o paja. Se recomienda una longitud de las fibras inferior a 2 centímetros, no es necesario hacer tratamiento alguno a la fibra. La cantidad de fibra es la máxima posible de mezclar. Se ha encontrado que con 1% de paja en peso el adobe tiene capacidad de absorber energía y la resistencia mecánica de bloques de este mejoransustancialmente respecto a los bloques no reforzados. Fibras como la de fique, en proporciones de un 4% en peso, pueden mejorar significativamente la ductilidad y aumentar la resistencia a la compresión. Por otro lado las fibras también ayudan a controlar los problemas de expansión y contracción que tiene lugar durante el proceso de secado del adobe.

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo-cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce. Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso del suelo. Los *suelos eficientes* para la producción de adobe son los que reaccionan ante una proporción relativamente pequeña de cemento y entre estos podemos citar:

- Suelos arenosos y suelos con grava
- Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas
- Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad

Los suelos arenosos y suelos con grava son suelos con aproximadamente entre un 10% y un 35% de limo y arcilla combinados, tienen las características más favorables y generalmente requieren la mínima cantidad de cemento para un endurecimiento apropiado. Los suelos arenosos con deficiencia de partículas finas, tales como arenas de playas, permiten obtener un buen suelo cemento a pesar de que la cantidad de cemento necesario será mayor que para los arenosos normales. Los suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad permiten preparar un suelo-cemento satisfactorio, pero mientras más arcilloso, mayor será el porcentaje de cemento que necesitará nuestra mezcla.

Al incorporar cal al suelo se obtiene una mejora en las propiedades mecánicas, la efectividad de la mejora depende de la cantidad de cal añadido, la efectividad de compactación, el tiempo de curado y la naturaleza de suelo tratado. Los resultados obtenidos sugieren que el tratamiento con cal aumenta la presión de preconsolidación de suelos. Además, la adición de cal incrementa la resistencia a la cizalladura.



Casa con muros de adobe en Oropesa, Cusco, Perú.