



# MANUAL DE SUPERADOBE

74 páginas de teoría sobre los domos y más de 90 imágenes y fotos.

Por Miguel Ciudad formado  
en el curso de Calearth en  
Banyoles (Girona) en  
septiembre de 2011

- 1. Introducción**
- 2. Primeros pasos:**
  - 2.1. Análisis de la tierra**
  - 2.2. Orientación solar**
- 3. Diseño**
- 4. Cimentación:**
  - 4.1 Impermeabilización**
  - 4.2 Drenaje**
- 5. Estabilización química: La tierra, la cal y el agua**
- 6. Ejes horizontal y vertical del Domo**
- 7. Contrafuertes y ábsides. Colocación ejes domo central y 4 ábsides.**
- 8. Técnica de construcción con sacos y alambre de espino**
- 9. Principio del arco; análisis geométrico y funcionamiento estructural**
- 10. Puertas, ventanas y claraboya**
- 11. Doble piso con vigas**
- 12. Impermeabilización del Domo**
- 13. Revoco exterior e interior**
- 14. Calefacción y "aire acondicionado"**
- 15. Fabricación de herramientas**
- 16. El ciclo de la cal**
- 17. Agradecimientos y bibliografía**

## -1- Introducción

He de dar la gracias a Nader Khalili y a Calearth por dar a conocer todo acerca de los Domos. Mi experiencia con dos grandes profesores Aaron y Marco en el curso de Calearth en Banyoles de 2011, además de ilustradoras fueron una grata experiencia vital.

Sugerir que estos apuntes son un resumen extraído de dos libros: "*Sandbag Shelter*" de Nader Khalili y "*Earthbag Building - The Tools, Tricks and Techniques*" de Kaki Hunter y Donald Kiffmeyer<sup>1</sup>, en combinación con mi experiencia haciendo domos.

Este último libro "Earthbag Building" tiene 260 páginas y es el pilar sobre adobe y superadobe.

Este libro pretende resumir la teoría para que cualquier persona pueda hacerse su propia casa y aprenda todo lo necesario.

Nader Khalili tenía un sueño el cual era enseñar la técnica y que a su vez, aquel que la conozca, lo difunda. De ahí este manual y de ahí los talleres que realizo.

En el desarrollo de varios talleres realizados durante un año, me he dado cuenta, que todos podemos hacernos nuestra propia casa y ganar confianza en nosotros mismos. He disfrutado con alumn@s que han ganado confianza y se ven capaces de hacerse su propia casa.

Mis ganas de aprender no se quedan en superadobe quiero dominar las casas de balas de paja, cob, tapial, adobe tradicional, etc...

## -2- Primeros pasos: Análisis de la tierra y orientación

### -2.1- Análisis de la tierra donde vamos a hacer el Domo

Hay que tener en cuenta que los domos se hacen con la tierra que se retira para hacer los cimientos y la que se acumula al allanar la zona de construcción. Aún así el domo demanda más cantidad; un domo de 4 metros de diámetro consume unas 40 toneladas tierra.

Es importante saber su porcentaje de grava, arena y arcilla. Se debe hacer varias pruebas en el terreno en el lugar de la cimentación y la zona de extracción para asegurarnos que no haya variaciones granulométricas.

¿Cómo hacerlo? Es tan sencillo como recoger la tierra sin restos de materia orgánica a unos 30 cm de profundidad y en un tarro de cristal, mejor cuadrado que cilíndrico, mezclarla con agua y dejar reposar 3 días (*Fig.1*). Si añadimos sal el proceso se acelera, unas 3 cucharadas en un bote normal de garbanzos, por ejemplo.

**Roca:** Agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión

**Suelo:** Agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en el agua.

En la práctica, no existe diferencia tan simple entre roca y suelo. Aun las rocas más rígidas y fuertes pueden debilitarse al sufrir el proceso de meteorización, y algunos suelos muy endurecidos pueden presentar resistencias comparables a las de la roca meteorizada.

**Agregado:** Se emplea para designar una masa de suelo. Los agregados de suelo pueden definir textura, estructura, compacidad, consistencia y humedad.

**Bolones:** Fragmentos de roca entre 80 y 300 mm.

**Grava:** Agregados sin cohesión de fragmentos granulares, poco o no alterados, de rocas y minerales, cuyos tamaños varían entre 5 y 80 mm.

**Arena:** Agregados sin cohesión, cuyos tamaños varían entre 0.08 y 5 mm.

**Limos:** Suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad y de tamaño comprendido entre 0.005 y 0.08 mm.

**Arcillas:** Son agregados de partículas pequeñísimas derivadas de la descomposición química de las rocas, son plásticas y el tamaño de sus partículas es menor a 0.005 mm

**Granulometría:** Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen una muestra de suelo



Figura1. Separación por decantación





**Foto1: Pruebas en vaso de plástico** o en un trozo de saco de rafia de los usados en el domo. Y un tarro con tierra para ver su granulometría.

Para saber el porcentaje de la granulometría se utiliza una regla. Se mide a un lado del tarro desde el aparte inferior hasta la parte superior de la tierra almacenada, esa longitud será el 100% de la tierra. Después se miden los centímetros de arena y grava y, mediante una regla de tres, se obtiene el porcentaje de grava y arena. Lo mismo para la arcilla. Es importante observar que no haya líneas negras depositadas entre la línea de separación de la arena a la arcilla, eso nos indicaría que hay limo. El limo es pésimo para la mezcla de superadobe.

Tenemos que tener un 30% de arcilla y un 70% de arena. Pero un 20% y un 80% siempre que se supere la prueba de estabilidad con cal.

Para las pruebas de resistencia se realizan dos métodos:

**-1- En vasos de plástico**

**-2- En saco de rafia (el que usamos en la construcción)**

## **-1- En vasos de plástico**

Se realiza la mezcla al llamado 20% (realmente es un 18,18%) con 10 cucharadas de cuchara sopera por 2 de cal disuelta en 1 ó 2 cucharadas de agua y se mezcla en un vaso de plástico, se añade el agua poco a poco hasta obtener una mezcla plástica. Se tapa con un plástico fino y se realizan varios agujeros con una aguja fina. Se deja fraguar al menos una semana refugiado del sol.

Al pasar el fraguado se sumerge el bloque en un recipiente con agua durante 3 días. Posteriormente observamos su estado y lo sacamos y vemos si hay erosión y se desmenuza fácilmente en las manos. Aplicando presión se colapsará pero si se deja secar al sol estará tan pétrea como lo era antes de sumergirla en agua. Realizamos varias muestras y es conveniente hacerlas si la tierra utilizada en la construcción cambia de color y/o de granulometría.

## **-2- En saco de rafia**

Se corta un tramo de saco de rafia de unos 1,5 metros. Y se introduce la mezcla de tierra 5 paladas de tierra por 1 de cal. Se puede realizar en cubos de idéntico volumen. En este caso disminuimos la cantidad de volumen pero no su porcentaje la relación es la misma 10 a 2 y para hacer esta prueba 5 a 1.

La mezcla se realiza en la hormigonera. Hay que compactar bien fuerte la muestra es como si hiciéramos super\_adobe en una escala pequeña.



**Foto2: Pruebas en el saco** (un tramo de 1,5 m aprox). Doblamos los extremos para llenarlo de mezcla y compactamos.

### **Una última prueba extra.**

Sé que el cemento es lo peor, que en su fabricación se contamina. Pero yo recomiendo usar un poco en las 2 primeras tiradas del domo conjuntamente con cal, es la llamada mezcla "bastarda".

¿El motivo? Mediante el uso del cemento la tierra estabilizada fragua muy rápido y alcanza una resistencia mayor. Eso sí, hay que aislar bien, el cemento es muy sensible a la humedad. Hay que aislarlo muy bien de la humedad (ver el capítulo 4).

En el caso de las primeras tiradas (2 tiradas mínimo) de la cimentación, se usa una mezcla "bastarda" (cemento y cal). De esta forma, se consigue un fraguado rápido de las primeras tiradas.

Para el resto del domo solo se usará cal siempre apagada.

Haremos una prueba con esta mezcla será 10 de tierra, 2 de cal y 1 de cemento.

Para hacer la prueba en el saco serán 5 de tierra, 1 de cal y ½ de cemento.

Fijaros en cómo se hace la mezcla para la prueba en saco de la mezcla bastarda en la fotografía 3.



**Foto 3: Mezcla bastarda en prueba de saco.**

---

Este manual tiene registrado el texto en la propiedad intelectual. Queda prohibido su uso y su venta para usarlo en cursos lucrativos.

De esta forma se puede seguir cargando tiradas de super\_adobe, ya que, estas dos tiradas fraguan en 48 horas. La mezcla con cal y tierra fragua en 2 semanas y sigue fraguando durante meses.

Si no se quiere utilizar cemento, se ha de dejar fraguar las dos primeras tiradas del domo, al menos 1 semana. Si podemos dejar pasar 2 semanas mejor. Siempre en periodos de primavera y/o verano con temperaturas medias superior a 16°.

Yo lo he hecho sin cemento y es seguro, eso sí, utilicé cal hidráulica de "cementos el tigre" si se usa cal viva en la mezcla hemos de asegurarnos un periodo largo para dejar fraguar estas primeras tiradas.

## **Conclusiones**

El uso de la cal con tierra ha sido utilizado desde hace milenios. Solo en este último siglo se ha desplazado el uso de la cal por el del cemento. El cemento no transpira y en su fabricación se utiliza mucha energía y en su mezcla se incorporan silicatos de aluminio y acelerantes que son contaminantes.

La cal permite el paso de la humedad ambiental de una casa y el domo "respira" el fenómeno se denomina transpirabilidad. Eso elimina la posibilidad de humedades. Pero tiene la facultad de no dejar pasar el agua de lluvia convirtiendo nuestro domo en un Goretex natural.

La cal aérea es cal pura  $\text{Ca(OH)}_2$  que surge de la calcinación de roca cálcica  $\text{CaCO}_3$ . **No se recomienda usar cal recién apagada debido a que ha de reposar mínimo 6 meses en un bidón sumergida en agua. Es mejor usar cal y apagada en caleras.**

La cal hidráulica es la misma cal pero con pucelanas y cenizas que le dotan de cualidades más óptimas en medios con bajo oxígeno y humedad. Lo cual permite un fraguado óptimo para la cimentación. Para saber más sobre la cal ver el capítulo 16 "El ciclo de la cal". Es mucho mejor (y también más cara).

Según las posibles carencias de la tierra del terreno tenemos dos opciones:

---

Este manual tiene registrado el texto en la propiedad intelectual. Queda prohibido su uso y su venta para usarlo en cursos lucrativos.

- Si es muy arcillosa comprar arena de obra. (En zonas con un 90% de arcilla).

- Si es muy arenosa y tiene poca arcilla comprar arcilla. (Terrenos con un 80% o 90% de arena.

En ambos casos, ha de hacerse pruebas con la mezcla de los materiales comprados para enriquecer vuestra tierra.

**La mezcla perfecta es 70% ó 80% arena 30% ó 20% de arcilla.**

Por lo tanto en terrenos muy arcillosos introducimos 8 paladas de arena comprada por 2 de tierra arcillosa y 2 paladas de cal. ¡Fijaros en el gasto de arena!

Por lo contrario en terrenos muy arenosos 8 de tierra arenosa del terreno por 2 de tierra arcillosa comprada por 2 de cal.

Por mi experiencia os puedo decir que la tierra de cultivo de campos abandonados tiene la mezcla perfecta y muy pocas piedras debido a la limpieza de la labranza.

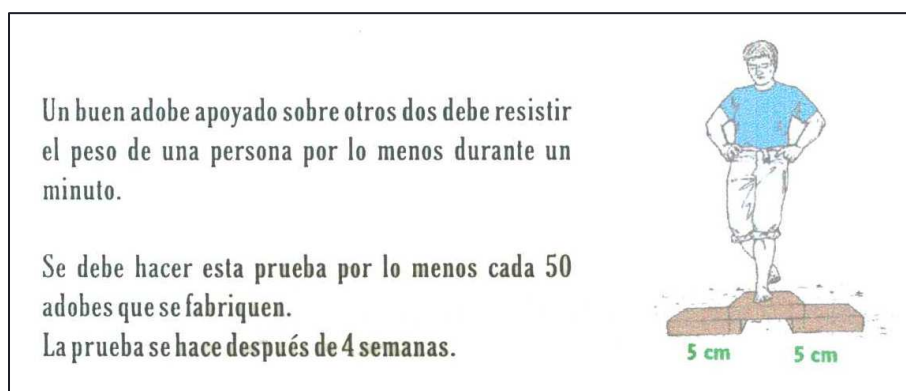
En el trascurso de mis visitas a obras en superadobe me he encontrado paradojas en la construcción de domos en terrenos con tierra muy poco apropiada. Y lo han resuelto comprando la arena y tierra arcillosa para hacer la mezcla, sin utilizar la tierra del lugar. Esto supone un gasto enorme en el presupuesto del domo.

En terrenos con mucha piedra o muy arcillosos no es práctico construir un domo yo optaría por casas de balas de paja, cob, quinchas. Si queremos un domo se ha de encontrar un terreno con la mezcla de tierra apropiada. Extraer muestras y realizar los estudios de resistencia. Insisto los terrenos abandonados de cultivo, en valles, es el apropiado. Y así se ha utilizado en el adobe tradicional durante milenios.

## ¿Cómo sabemos que pasamos la prueba de resistencia al peso?

Como podemos ver en la **foto 2** dejamos fraguar, la prueba, unos 20 ó 30 días siempre en un lugar donde no haya humedad y que no se moje por lluvias. Posteriormente hacemos una prueba de esfuerzo con el "ladrillo" que hemos fabricado.

Podemos colocar peso encima del "ladrillo" pero previamente colocamos la mitad de un ladrillo normal (más pequeño que el nuestro) de esta forma disminuimos la superficie de empuje. Y colocamos peso encima conocido si aguanta 100 kg en esa sección podemos asegurar que nuestra tierra al 20% de cal será la correcta.



Evidentemente podemos asegurarnos la resistencia con más precisión y llevar probetas con nuestra mezcla a un laboratorio geotécnico donde la sometan a una prueba de esfuerzo y determinen cuantos kilos por cm<sup>2</sup> resiste. La media está estudiada en 150 kg por pulgada cuadrada que equivale a 150kg por 2,5 cm<sup>2</sup>. De 60 a 80 Kg/cm<sup>2</sup>. Suficiente para la construcción de un domo que no exceda de 4 metros de diámetro. El ancho del saco también es importante cuanto más ancho sea más resistente será a la carga del edificio. Con un saco de 45cm de ancho que una vez colocado en el domo y apisonado se queda en unos 38 cm de media es suficiente para un domo que no exceda de 4 metros de diámetro.

Evidentemente cuanto más ancho sea el saco más eficacia energética se obtendrá debido a la anchura de las paredes. Pero el trabajo con sacos de esos grosores no es cómodo y el consumo de mezcla es muy alto.



## **Datos importantes de la mezcla:**

- **Una vez pasado las 2 tiradas de cimentación (con o sin cemento). Todas las primeras tiradas han de ir al 20%.**
- **Importante en los arcos de ventanas se ha de aumentar hasta un 30% la cal para asegurarse una mayor resistencia. Pasado ventanas para cerrar la cúpula se puede pasar solo a un 10% (10 de tierra 1 de cal) para ahorrar en cal. Siempre que la prueba al 10% sea lo suficiente resistente.**
- **Hablo de porcentajes del 20% (10 a 2). 10 de tierra 2 de cal. Es importante señalar que es una regla de obra realmente el porcentaje de cal es de un 18,19%. Importante al introducir la tierra en la hormigonera se puede hacer con cubos del mismo tamaño o con la misma pala cargándola siempre al mismo volumen.**
- **Una vez hechas las pruebas se inicia la construcción no antes.**
- **Si se compra arena, porque nuestra la tierra es muy arcillosa es importante primero cargar en la hormigonera la arena, después la cal apagada, dejar mezclar y posteriormente el agua y dejar mezclar. Después la tierra arcillosa del lugar. De esta forma la mezcla será homogénea. Importante incorporar el agua poco a poco hasta conseguir un mezcla plástica pero que no tenga exceso de agua.**
- **La mezcla se aprieta en la mano y se observa que coge la forma pero no está mojada en exceso.**
- **Importante las piedras grandes (5cm o más) desecharlas!!! Romperían el saco al compactar!!! Si hay que cribar se criba!**
- **En días de calor remojar las tiradas ya compactadas durante el día con agua pulverizada.**

## -2.2- Orientación del Domo

Lo primero es usar el sentido común, se elige un terreno llano alejado de árboles perennes y de rocas o edificios que nos den sombra.

Hay que tener en cuenta la orientación del domo respecto al Norte y Sur solar. ¿Qué es esto de la orientación solar?

No se orienta con una brújula, eso es el Sur magnético, sino respecto al sol. Esto se obtiene mediante un simple bastón en el centro del terreno. El sol desde que sale por el este no va "barriendo" una serie de sombras, dibujando un "abanico solar" hasta darnos la sombra que necesitamos (Sur-norte). Esta es, justo la del centro del abanico y coincide con el mediodía solar no horario. Mediante una cuerda haremos una línea recta de esta forma tendremos el eje Norte Sur. De ahí sacaremos una cruz, otra línea a 90°, para tener los ejes del Domo *Fig.2*. Es importante saber la dirección del viento en invierno para no colocar las puertas en esa zona.

La razón de esta orientación es la de aprovechar al máximo la energía del sol, para que nos caliente el domo en invierno.

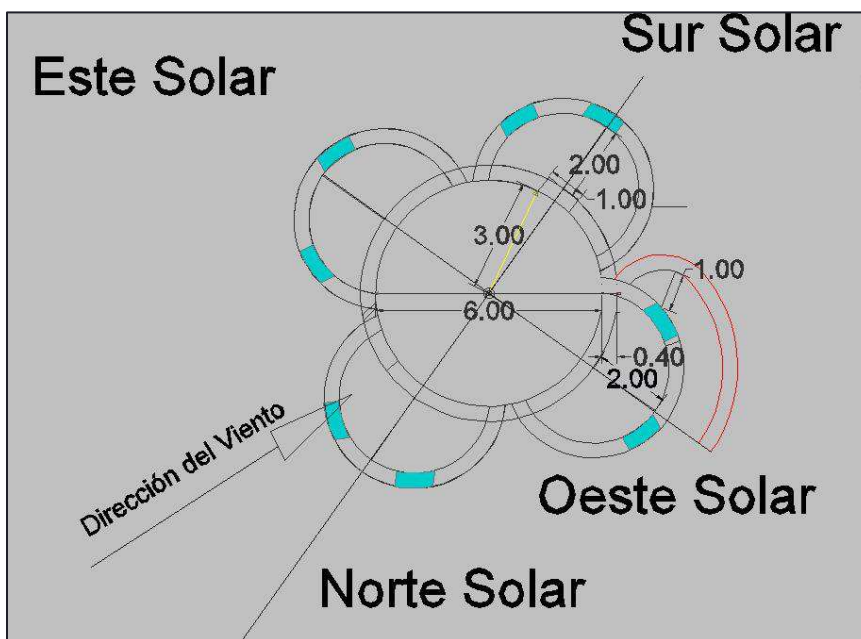


Figura 2. Creación de los ejes



Como observamos en la figura 2 las puertas nunca hay que ponerlas en la zona norte, aún así es conveniente diseñar una doble entrada como se observa en la situada al Este de este plano. De esta manera tenemos una cámara de aire que evita el enfriamiento del domo en invierno y del calor en verano.

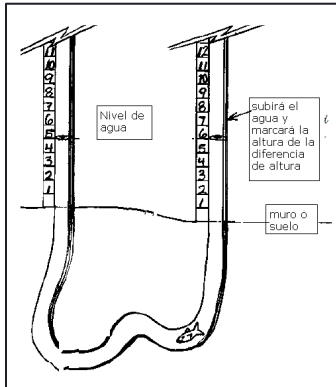


**Foto 4:** Colocación de ejes de referencia de la orientación solar. La foto fue realizada a otra hora de ahí que no coincida la sombra con los ejes.



### -3- Diseño

Nuestro aliado es el nivelador de agua



Nos ayudará a ver el nivel del suelo y de los muros. Es tan eficaz como uno de laser y es baratísimo. Una manguera transparentes pequeña y dos tablillas. Mediante una regla se marcan las secciones.

Previamente a la edificación se ha de "presentar" la planta del edificio. Se ha de "pintar", en el suelo previamente allanado, la forma del domo en el terreno. Para se utiliza estacas y cuerdas. Si son de metal mejor, no se deforman con tirones.

También podemos utilizar un nivel y una escalera o tabla para saber bien el nivel de cimentación como en l fotografía siguiente.



**Foto 5:** Medición mediante nivel de la profundidad de la cota de cimentación.



Hay que tener en cuenta que se ha de excavar para realizar a la zanja de cimentación y que un domo necesita dos tiradas en la cimentación de anchura. Además se ha de dejar espacio para el tubo de drenaje en el exterior.

Colocamos la estaca en el centro y con la cadena bien tensa vamos soltando cal en el suelo llano. Se dibuja el círculo con el radio conocido. En este ejemplo 1 metro de radio y posteriormente se realiza otro círculo de la anchura del saco en este caso 40 cm y otro más que represente el paso del saco exterior del "contrafuerte" Repetimos a 40 cm otro círculo. *Fig3.*

Se ha de dejar espacio suficiente en anchura para poder trabajar con comodidad. El espacio sobrante se rellenará con grava.



**Foto 6:** Representación de las dos tiradas y proceso de excavación

Se dibuja la entrada siempre bien alineada con la ayuda de nuestro "compas" con las dos tiradas de la futura puerta, es importante tener en cuenta que una puerta es un vacío en el domo (en su estructura) y hay que reforzarla desde los cimientos. Así que se ha de calcular cuanta distancia ha de medir la base de nuestro contrafuerte de la puerta. *Fig. 4.*

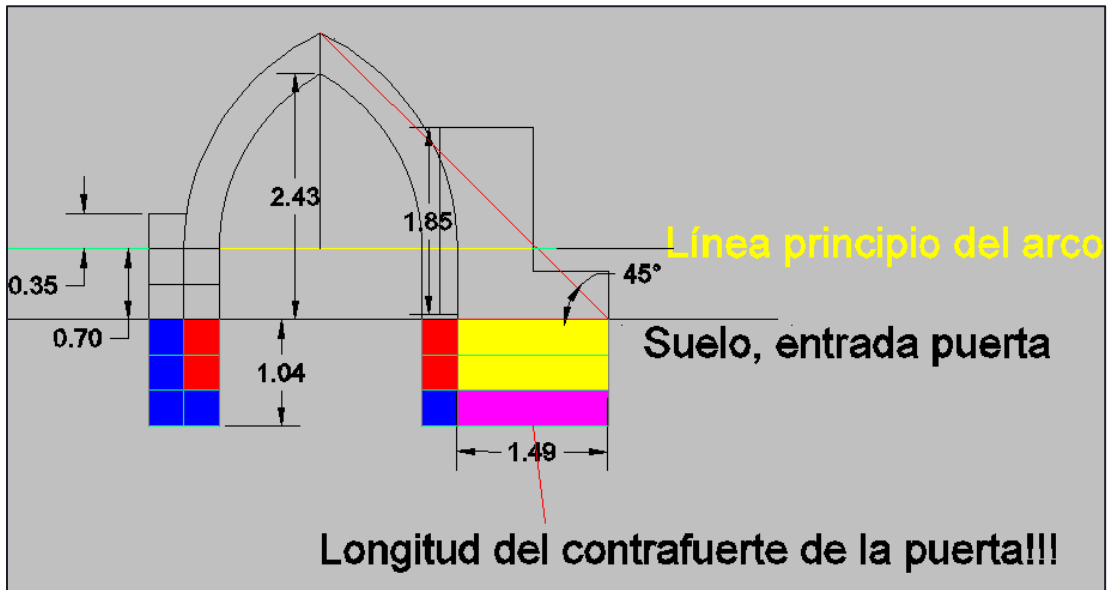


Figura 4. Diseño de nuestro domo y cálculo del contrafuerte de la puerta. Azul y fucsia grava. Rojo y amarillo primeras tiradas de saco (con o sin cemento)

Lo más importante es la línea a  $45^\circ$  respecto a la "cima" de nuestro domo. Al interceptar esa línea con el terreno proporciona la longitud de la base del contrafuerte de la puerta.

Se observa que la puerta es demasiado grande para el domo de estas características, evidentemente en un domo mayor queda proporcionada al tamaño del domo.

En la fotografía número 7 se observa cómo ha de quedar la zanja de cimentación para que las dos tiradas del inicio del domo tengan el espacio suficiente. Pero además se ha de dejar espacio para el tubo de drenaje que se sitúa en el exterior de la segunda tirada.





**Foto 7:** Resultado de la excavación de la zanja de cimentación y relleno con grava. Se observa el tubo de drenaje en la zanja de desagüe y colocado en el exterior y cubierto de grava.

Existen otras opciones para evitarnos un pasillo recto en la puerta principal:

- 1- Crear un **pasillo recibidor** en curva
- 2- Colocar **ábsides**

**Estas dos formas funcionan como contrafuertes también.-1- Pasillo estructural en curva**

El pasillo estructural funciona como un contrafuerte y da una forma a la vivienda más bonita que la puerta recta con contrafuertes.

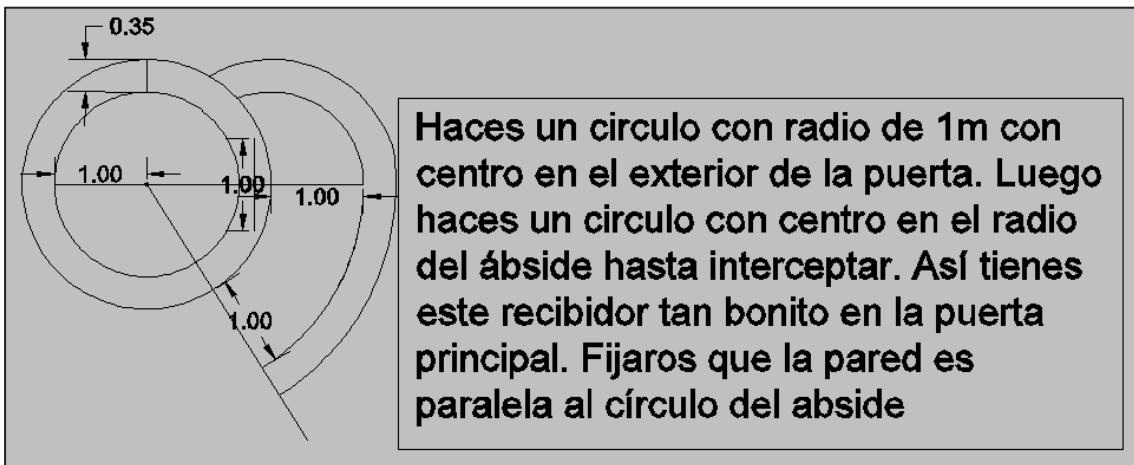


Fig5. Creación del pasillo estructural

## -2- Los ábsides

Los ábsides sirven de contrafuerte estructural del domo central para nos centraremos en el capítulo 7.

Pero además se puede hacer volar nuestra imaginación y crear estructuras mediante círculos donde crear más espacios que posteriormente serán habitaciones como por ejemplo:



¿Dónde está el límite?

#### -4-Cimentación, impermeabilización, Drenaje

Una vez dibujado el plano en el terreno se ha de cavar con una retro o a pico y pala. Este proceso es idéntico a la construcción convencional hay que llegar a la zona más compactada y saneada del terreno en el que vamos a poner el domo.

Existe un método empleado por geólogos para saber hasta dónde llegar y tener la seguridad que el terreno va aguantar el peso sin hundirse. La tierra es porosa y tiene aire en su interior por lo tanto al principio es fácil de cavar pero al llegar sobre 1,5 metros, dependiendo del lugar, se vuelve más compactada e incluso cambia de color.

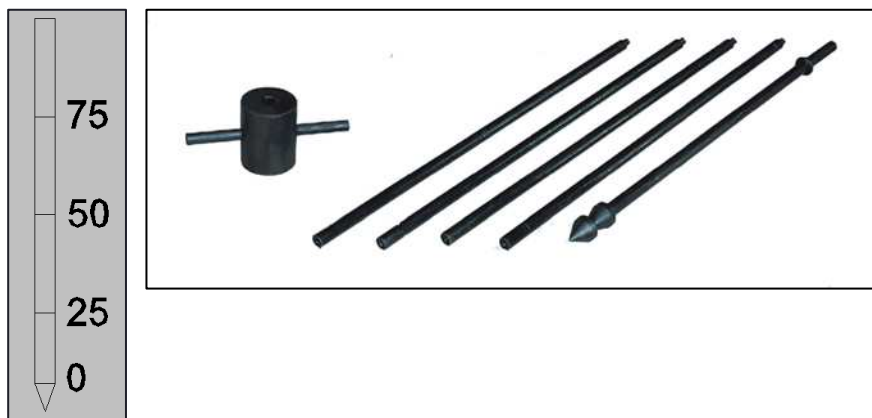


Fig. 6. Vara de hierro o acero

Para asegurarse que el terreno es el adecuado colocaremos una vara de hierro o acero con punta en el suelo escavado (donde la vara no sigue avanzando). Esta vara ha de medir 1 metro a lo sumo y pintaremos en ella 4 secciones de 25 cm cada una.

Se deja caer sobre la vara un peso de unos 20 ó 30 kg con ayuda de una polea, se cuentan los golpes que tarda en introducirse la vara en cada sección de 25 cm. Si supera los 12 golpes para meterse una sección el terreno es apto y es a esta profundidad donde se establece la "cota de cimentación". Si "rebota", o sea, si con menos golpes no penetra la vara en el terreno, no hará falta excavar más.





También se puede contratar una empresa de geotecnia que realice los estudios.

#### **-4.1-Cimentación**

La cimentación engloba el conjunto de la zanja, colocación de cama de grava o sacos rellenos de grava, la impermeabilización y las tiradas de sacos con mezcla (con o sin aporte de cemento) hasta el nivel de suelo.

Se puede realizar la cimentación de dos formas:

-1- Rellenar de grava la zanja de cimentación, impermeabilizar y empezar a construir (tirando líneas de saco).

-2- Llenar sacos de grava sobre la zanja, impermeabilizar y seguidamente tirar saco con mezcla.

Los dos métodos son correctos y la grava contenida dentro de la zanja de cimentación soporta perfectamente el peso del edificio según su sección. Eso sí se ha de apisonar la grava dentro de la zanja para estabilizarla. Yo prefiero por rapidez de ejecución el método de relleno de la zanja.





La grava tendremos que comprarla el tamaño no ha de superar los 4cm. A mi juicio como geólogo el uso de la grava y rocas como soporte de un edificio es muy óptimo debido a que:

- Aísla de la humedad no como el uso de cimentaciones con lechada de cemento o losas de hormigón.
- Soporta perfectamente los esfuerzos de carga del edificio.

Un domo tiene un peso enorme de 35 toneladas pero su peso se reparte equitativamente en cada sección circular.

No necesita una base de hormigón, solamente es la resistencia del terreno a la profundidad adecuada, sobre una cama de grava. El terreno, es el que realmente soporta el edificio y permite que el domo no se "hunda". Es el fenómeno llamado subsidencia. Si el terreno en el cual, un edificio es construido, no es el adecuado, este cede ante el peso y el edificio puede hundirse varios centímetros hasta que se llega a un equilibrio. Esto no sucede siempre que alcancemos una cota de cimentación suficiente, como ya he comentado previamente.

La cimentación en un domo, el cual se puede combinar con series de domos o incluso paredes verticales, es la llamada "zapata corrida" con una base de grava y aislamiento de la humedad por capilaridad. En el siguiente capítulo explico cómo colocar este aislamiento.

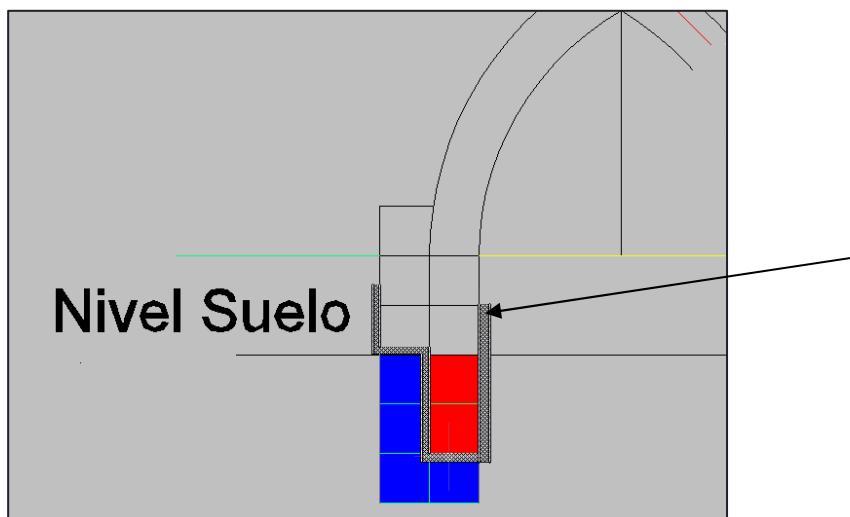
## -4.2-Impermeabilización de la cimentación

Hay varias técnicas y materiales pero voy a presentar este tipo de aislante. Es la tela butílica, cuesta unos 8 euros el m2. Mediante esta tela evitamos que suba humedad por capilaridad en los sacos de mezcla de cal o de cal y cemento. En la fotografía siguiente se observa el resultado final.



**Foto 8.** Finalización de la colocación de la tela butílica

La tela va a envolver las tiradas de la cimentación ver figura 8



**Fig.7.** Colocación tela butílica

## ¿Cómo hacerlo?

**En el caso de ensacar la grava se realiza de esta forma:**

Siguiendo este orden de colocación de sacos y teniendo en cuenta que del tercero al cuarto se pasa de saco con mezcla a saco con grava y posteriormente del cuarto al quinto que es de mezcla no de grava y por último el sexto de grava. La colocación de la tela es un poco delicada. Mejor que no queden arrugas y que no se ensucie ni se pise **NO SE DEBE AGUJEREAR POR NADA.**

**He de remarcar que los sacos 4 y 6 están rellenos de grava pero el 1 y el 2 no es necesario rellenarlos de grava puede ser directamente una capa de 30cm a 40cm de grava suelta y compactada en la zanja de cimentación. Es importante remarcar que el tubo de drenaje estaría colocado en el exterior del saco número 2 y en el caso de ser solo grava justo en el contacto con el exterior de la zanja de cimentación.**

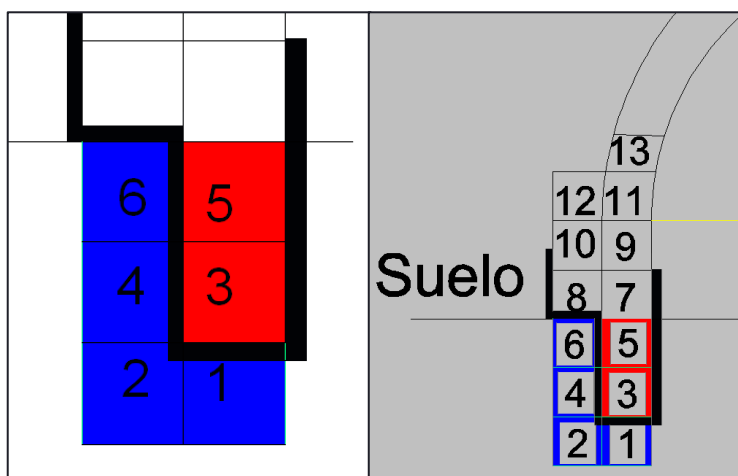


Fig.9 y 10. Orden de colocación de los sacos en la cimentación

1, 2,3 y 4 Grava redondeada ensacada

3 y 5 Tiras de Super\_adobe con mezcla con o sin cemento.

En el caso de relleno de grava se coloca la tela lista para envolver las tiradas de saco de cimentación. Serían las que corresponden a las tiradas **número 3 y 5**. Estas tiradas son las que soportan el edificio, se aísla todas las tiradas que están en contacto con la grava y se rellena posteriormente todo el perímetro exterior con grava. Podemos meter la grava en el saco o no. Serían las tiradas **número 4 y 6**. Es un tema de controversia. El hecho de "ensacar" la grava proporciona gracias al saco de rafia una protección tipo de filtro a la arena del exterior de la zanja del edificio. Además proporciona una base auto-nivelada para el avance, ya en superficie, de las tiradas del contrafuerte exterior (tiradas 8 y sucesivas).



**Foto 9: Colocación de aislamiento en todo el perímetro de la zanja**

En esta fotografía se observa que falta colocar el aislamiento en el toda la zanja. El caso es colocar una barrera que aíse la grava de las tiradas de saco con mezcla del edificio.

### -4.3-Drenaje

Para evitar el tema de agua, se coloca un sistema de drenaje en la zanja de cimentación. Se coloca al lado del saco número 2 de grava. Un poco más profundo que la base, el objetivo es "atrapar" el agua que se infiltra por la lluvia. Esta agua es de infiltración lenta y es fácil de atrapar, hay que evitar condensaciones en nuestra cimentación.

Consiste en una zanja (*figura 8 y 9*) con una base de arena, tela geotextil porosa, un tubo de PVC con agujeros que rodee el domo y grava, mucha grava para cubrir toda la zanja y si es posible (por tema de dinero) llegar hasta la base del domo (el nivel del suelo). La base de arena nos ayudará para dar una pendiente de unos 2° a la tubería esta pendiente la haremos desde un lado del domo (la tubería y la zanja rodea el domo) desde una parte más alta a otra más baja. Preferentemente la parte alta en el lado norte del domo al sur.

Hay que fijarse en el terreno que rodea a nuestro domo si existe una pendiente natural no ir en contra de ella aunque hayamos alisado el terreno para la construcción, pues el agua fluirá por debajo de más alto a más bajo.

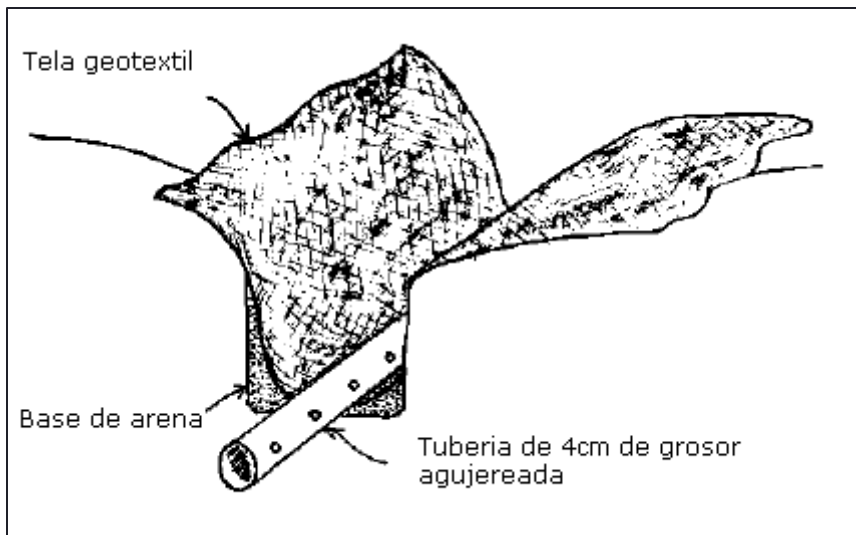


Fig. 8. Instalación del drenaje paso 1.

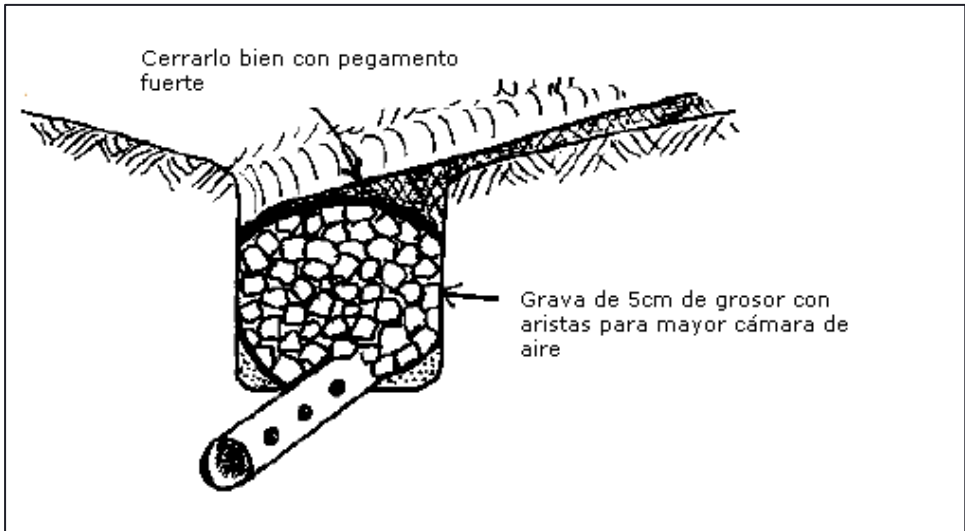


Figura 9. Instalación del drenaje paso 2.

Por supuesto se conecta todo el circuito con un paso en forma de **T** que a su vez se conectará a un desagüe fuera de nuestra cimentación y se deriva, por ejemplo, hacia un huerto. Mínimo a una distancia de 5 metros.

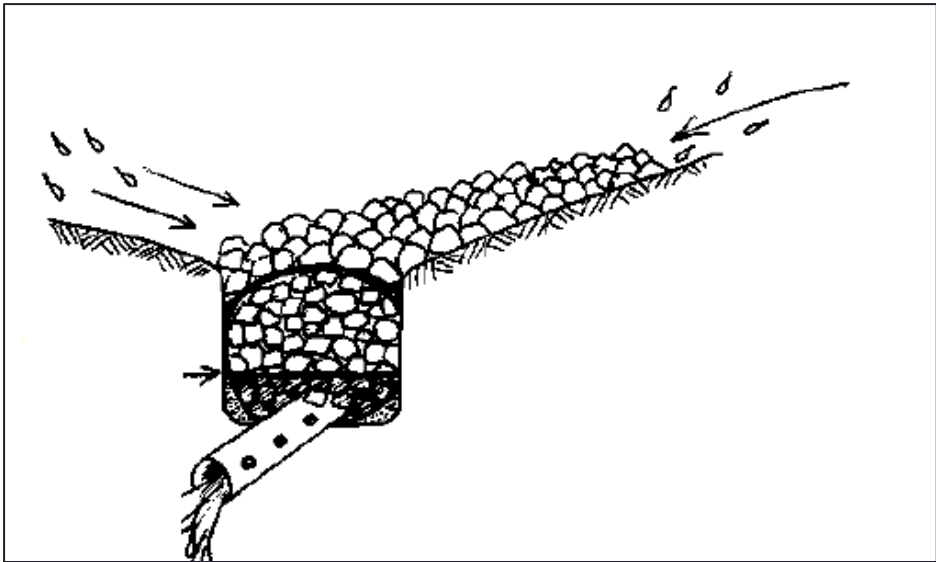
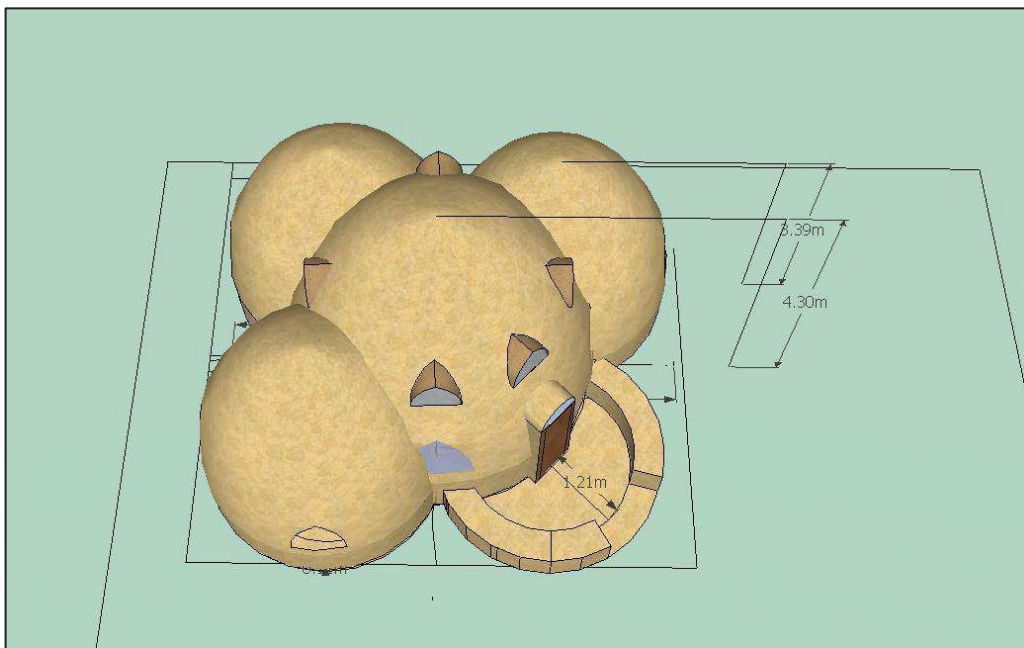


Figura 10. Funcionamiento del drenaje





**Foto 10.** Colocación del tubo de drenaje en el exterior de la zanja de cimentación, en este caso hay ábsides por lo tanto hay que colocarlo siempre en el exterior del edificio.



Colocación del tubo de drenaje para el caso de varios domos

Se puede hacer un extra y darle pendiente al exterior del domo sobre todo en climas húmedos y lluviosos (*figura 11*).

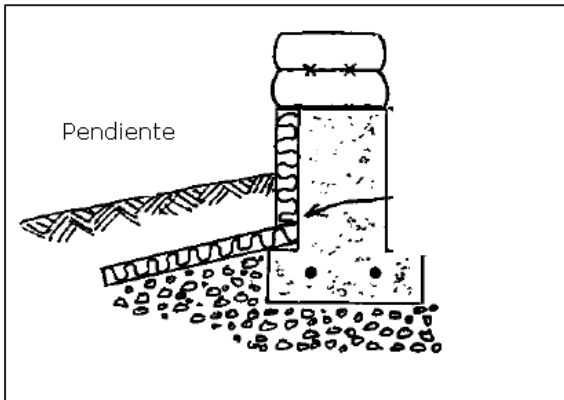


Figura 11. Construcción de una pendiente exterior

Se coloca una estructura resistente a la humedad, neumáticos, tela aislante etc.. Hay que tener en cuenta que entre esa estructura y los sacos se haya la tela butílica de protección. Se rellena con una cama de grava y arena.

En la base del domo es recomendable construir el llamado "Pie de elefante" que bajo una base de grava y porque no otro tubo de drenaje que nos proteja la base del domo de la lluvia. Consiste en cavar una zanja perimetral y levantar un pequeño muro de piedra. Con mortero de cal hidráulica en las juntas de las piedras.





## -5- Estabilización química: La tierra, la cal y el agua

Ya comenté en el capítulo segundo todo sobre la mezcla, tierra, cal y agua pero lo vuelvo a escribir para tenerlo muy claro y presente en todo momento.

**La mezcla idónea es 10 de tierra, 2 balde de cal, 1 balde de agua. Esto para hacerlo en un carrito de obra.**

**En Hormigonera:**

**20 tierra, 4 baldes de cal, 2 de agua.**

La mezcla de la tierra y la cal ha de ser sin añadir agua. Una vez mezclado se añade el agua.

**Importante** al acabar la mezcla hay que coger con la mano y aplastarla observar que se queda la forma uniforme y no gotea. Si se desmenuza aplicar más agua.

Si está muy húmeda mezclar más tierra.

Si la tierra está húmeda hay que utilizar menos agua pero siempre la **misma cantidad de cal!!!**

Hay que distribuir varias tiradas de mezcla alrededor del domo para que según avance el saco circularmente se halla cerca un montón de mezcla cerca, para no hacer viajes innecesarios.

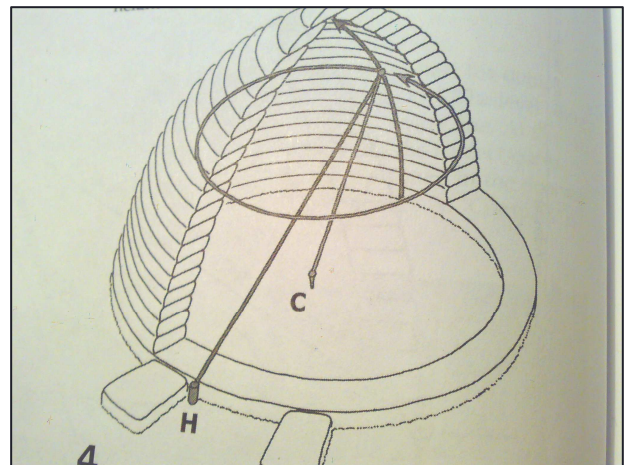
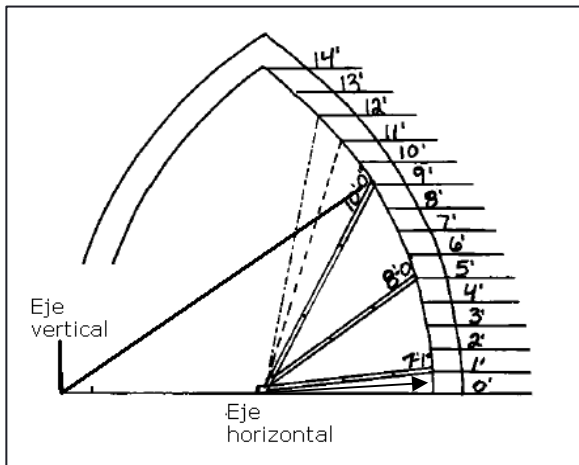
La mezcla tarda 20 días en endurecerse completamente pero aún así no es conveniente dejar mezcla de un día para otro porque se seca y la mezcla pierde cualidades.

## -6- Ejes horizontal y vertical del Domo

Es lo más importante de la construcción de un domo. Hay dos ejes y se han de dominar. El **eje vertical** se coloca en la parte exterior del muro (en la puerta) con una cadena y una arandela en el extremo. Ha de llegar a tocar en la parte más baja del domo perfectamente. Marcará el arco del domo.

El **eje horizontal** se sitúa justo en el centro del domo con algo que permita que gire alrededor del domo. Una arandela conectada a un rodamiento, lo ideal es un rodamiento de silla rotatoria atornillada a un palo de madera el extremo también tendrá una arandela.

Es importante que sean cadenas con eslabones pequeños y muy resistentes y la cadena del eje horizontal (el del centro) ha de medir el diámetro del domo más la anchura del saco. Hay que tener en cuenta que irá "creciendo" a medida que avancemos en el domo y en las últimas vueltas, acabará midiendo la medida del eje vertical el diámetro más la anchura de saco.



**Figura15: Ejes del domo**

**Figura16 Ejes constructivos.**

Donde **C** es el eje horizontal y **H** el eje vertical

Bien una vez anclados los ejes de nuestro domo hay que tener en cuenta dos factores:

-1- Colocar el eje vertical (el palo) justo donde empiece la curva del domo, por ejemplo si queremos un muro de un metro colocar el eje justo a esa altura, enganchado fuera del domo en la abertura de la futura puerta. En el ejemplo de la figura arranca desde el suelo pero si queremos que la curvatura empiece a 1 metro lo colocaremos a 1 metro de altura enganchado en el exterior del muro.

-2- A medida que se colocan los sacos respecto al eje central (horizontal) se mide con la arandela para no salirse del círculo, pero **importante** se ha de igualar cada vez con la cadena del eje vertical. Me explico, a medida que se colocan los sacos llega un momento que las dos cadenas, difieren en longitud; la horizontal respecto a la vertical. La vertical es más larga que el horizontal, llegado ese momento se ha de sacar la arandela del horizontal y colocar a la misma medida que el vertical. Esto se ha de repetir para cada tira de saco que se va levantando.

Una vez igualada la arandela del eje horizontal (el del centro) se medirá todo el perímetro del interior del domo con la cadena bien tensa midiendo el interior del domo e indicando como ha de ir la colocación del saco.

**Nota:** El saco al colocarlo no está compactado y se han de poner dos dedos por delante de la arandela como referencia y una vez compactado justo en el centro del saco medir y que toque la punta de la arandela. Si no es así se puede mover el saco para recolocar. Siempre se podrá mover el saco hacia fuera o hacia dentro pero se ha de revisar la colocación del saco con la ayuda del eje central para no tener que rectificar y perder tiempo.

Esto es lo más importante en la construcción con esta técnica y se ha de muy atento cada vez que se repasa con los ejes. Al principio parecerá que la pared es recta pero llegando a las 2/3 del domo la curva se nota mucho y los sacos se van escalonando, hay que colocar el alambre de espino más hacia el interior del domo para que el alambre esté justo en la mitad del saco.

## -8- Contrafuertes y ábsides

Las cargas del domo se representan según esta figura:

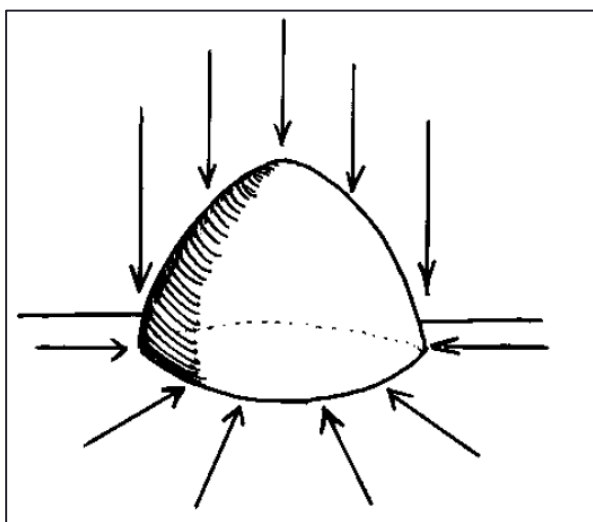


Figura 17. Fuerzas dinámicas en el domo

Las líneas horizontales van hacia fuera se han de contrarrestar con un contrafuerte para evitar que se desmorone el domo

El domo por sí solo no soporta las cargas del peso, así hay que reforzarlo. Existen tres formas de reforzarlo:

### **5.1 Enterrándolo hasta la línea de curvatura**

### **5.2 Colocar contrafuertes**

### **5.5 Construyendo Ábsides**

## -5.1- Enterrándolo

Si se entierra bien el domo hasta el nivel del arranque, más unos 50 cm extra, de la línea de curvatura (ver *fig18*), no habrá problema. El nivel del suelo estará por debajo del de la superficie exterior y las ventanas casi a nivel del suelo (ver *foto 6*).

El único problema es el gasto en materiales de impermeabilización.

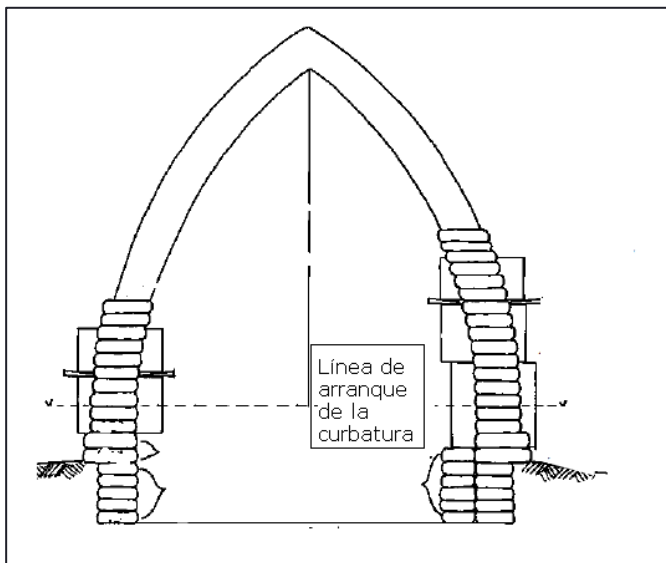


Figura18. Línea de arranque de la curvatura del domo.



**Foto 12.** Domo enterrado

## -5.2- Colocar contrafuertes

Para evitar un gasto en materiales de impermeabilización, rodeamos el domo con tiradas de saco. Eso sí siempre son un bloque se conectan a las tiradas de saco del domo con alambre de espino pero en este caso en forma de "eses" cosiendo las dos tiradas de saco. La regla es sencilla hay que levantar un muro rodeando el domo que supere la línea de arranque de la curvatura al menos 50 cm, aunque lo superaremos por medida extra de protección ver fotografía 7, 8 y 9.



**Fotografía 13.** Unión con alambre espino al domo





**Fotografía 14.** Finalización del contrafuerte

### -5.3- Ábsides

Son habitaciones alrededor del domo que además tienen función de refuerzo estructural, o sea, hacen de contrafuerte *figura 16*.

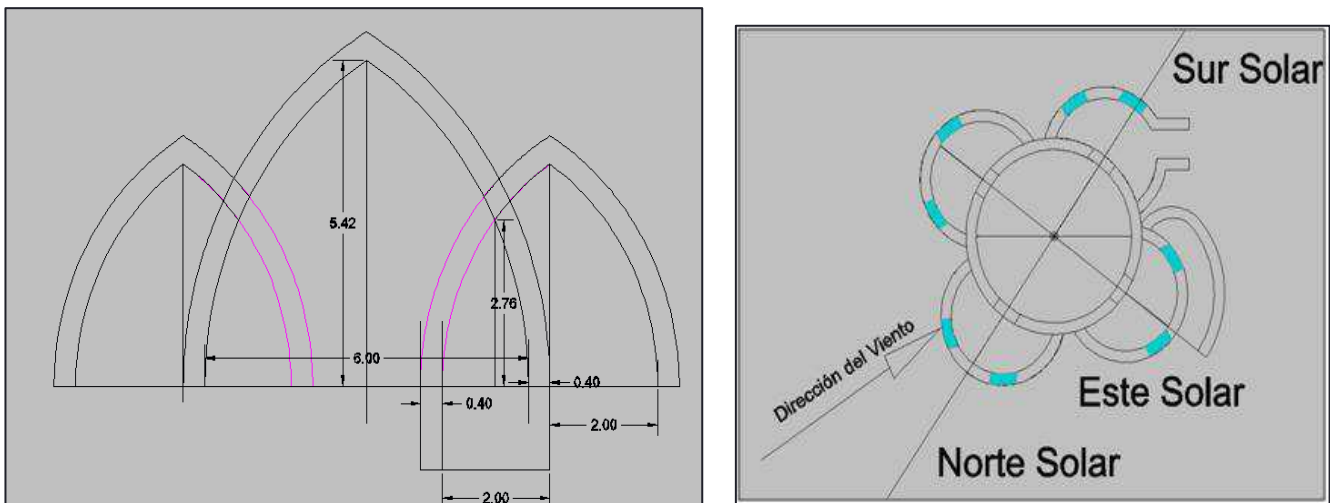
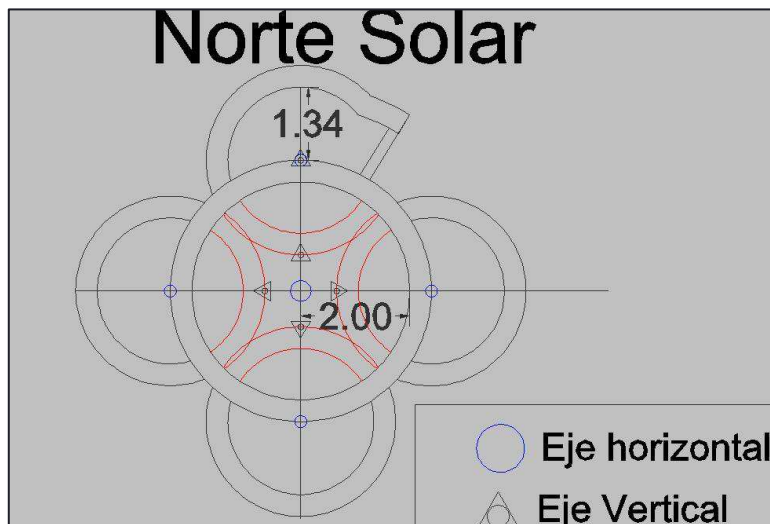


Figura 16. Ábsides en planta y alzada. El color morado no se construye, es para ver que son domos incompletos.

Hay que tener en cuenta 3 factores al construirlos:

-1- Se sitúan a 90° unos de otros (su eje) siguiendo los ejes solares (ver figura 16).

-2- Al construirlos hay que diseñarlos para que entre la apertura de la puerta y el radio del domo, quede una longitud de arco del domo central de al menos 1 metro de longitud. Ver figura 17.



**Figura 17.** Coincide la colocación del eje vertical del domo central con la colocación del eje horizontal en el ábside colocado al Norte que hace de recibidor. Las líneas rojas no forman parte del diseño de la casa se dibujan como referencia para colocar los ejes verticales de los ábsides. Los ábsides serán más "bajitos" que el domo central. Para ganar altura en los ábsides se colocarán los ejes verticales en 4 estacas de 1 metro de altura. Los demás ejes horizontales y el vertical del domo central, los dejaremos a nivel de suelo, aunque los podemos elevar unos 40 cm para dar más altura al edificio central.

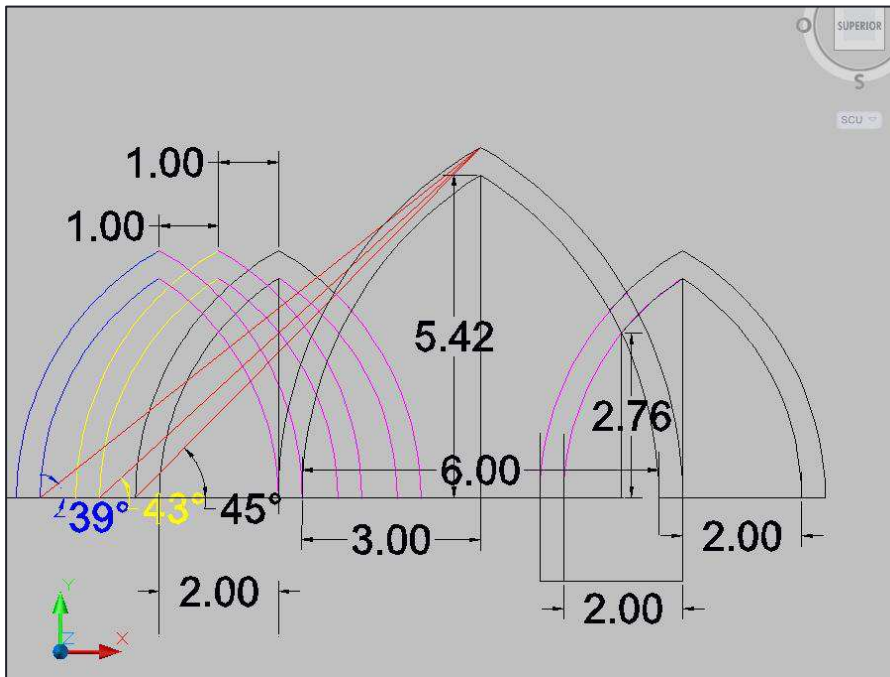
-3- Se intercala una tirada si y otra no para fusionarlo al domo central.

**¿Cómo hacerlo?** Siguiendo una regla de proporciones si el radio central mide  $x$  para saber el radio de ábside se multiplica por  $2/3$  o lo que es lo mismo multiplicar por  $0,67$ . Para que el ábside actúe como contrafuerte el punto donde comienza el radio de la circunferencia se sitúa en el exterior del muro del domo central.



Para entenderlo vamos a ver los siguientes dibujos y para ver todo el proceso os recomiendo que miréis el video del Eco\_Dome de Nader Khalili.

Ejemplo: Radio central de 3 metros, radio ábside 2 metros. 2/3 partes.



**Fig.17'** Alzado de los ábsides

Solo actúa como contrafuerte el ábside de color negro donde se observa que su punto exterior del muro tiene  $45^\circ$  respecto a la parte más alta del domo.

Se puede desplazar el punto inicial del radio del ábside pero dejará de actuar como contrafuerte. Si se separa el eje central (eje C) del domo central.

## -8- Técnica de construcción con sacos y alambre de espino.

Es fácil pero tiene sus trucos.

Lo más importante es el pliegue del saco, llenarlo bien siempre y compactarlo.

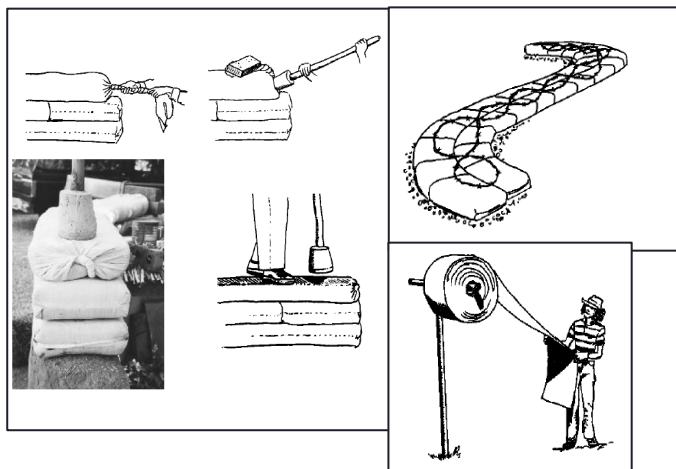
Pero además hay que tener presente como "acabarlo", pues nos podemos encontrar varios problemas que hay que dominar antes de llegar a ellos.

- Técnica del tubo y doblez del saco
- Nunca quedarse corto
- El ángulo de acabado
- Nunca acabar un saco donde haya acabado el de abajo
- Sacos de contrafuertes y ventanas





**Foto 15.** Importante en los contrafuertes. Cada tres tiradas un saco del contrafuerte llega hasta el final. Unir con alambre el contrafuerte

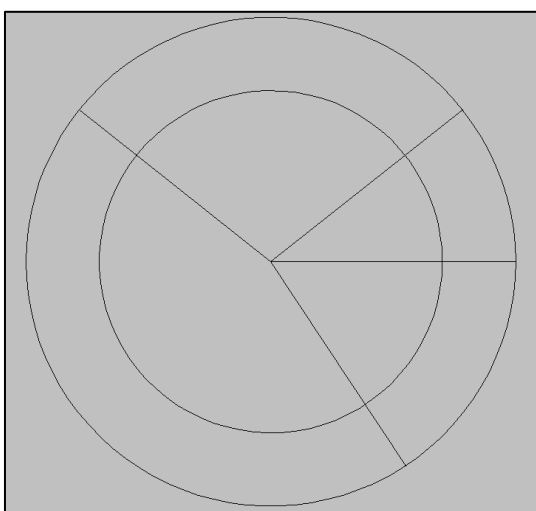




**Foto 16.** El saco al acabarlo hay que dejar un poco hacia dentro del domo porque al compactar tiene tendencia a salirse para fuera.

El ángulo ha de estar representado en las esquinas de los sacos y hay que tenerlo muy en cuenta, consiste en tener la referencia de una línea imaginaria que atraviesa el saco y es la continuación física del radio del domo, marcado por el eje horizontal de referencia. Hay que tener más atención al unir sacos o en esquinas de puertas y ventanas.

Para lograrlo se ha de modificar la forma el saco (rectangular) en esquinas triangulares. Siempre con la referencia de acabar el saco como nos marque el radio central.



**Algo muy importante al acabar de apisonar el saco hay que conseguir una leve inclinación en la parte exterior d forma que ayudemos a desalojar la lluvia del domo, hay que apisonar el saco dando una inclinación muy pequeña en el lado exterior esto hay que hacerlo con cuidado de no mover el saco de su eje.**

**Errores comunes:**



**Foto 17.** Fallo por no tener en cuenta el ángulo del eje horizontal



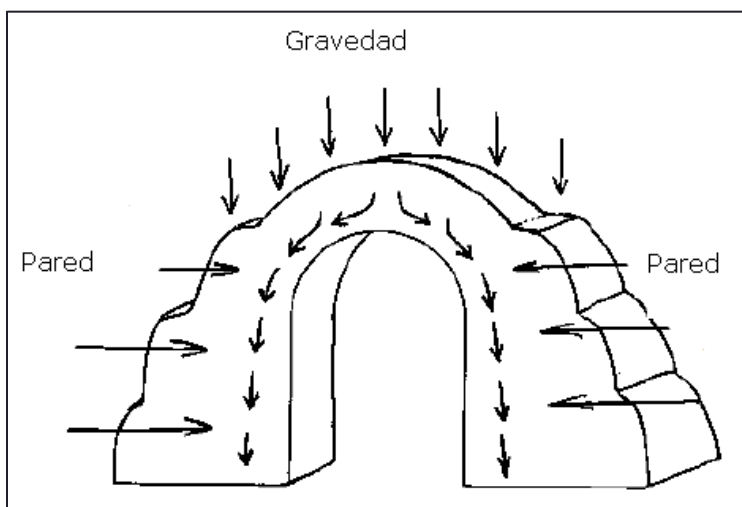
**Foto 18.** Nunca se ha de tener dos finales de saco consecutivos además observar que en la imagen no se tiene en cuenta el ángulo del eje horizontal.



## -9- Principio del arco; análisis geométrico y funcionamiento estructural

El arco es el elemento estructural elemental en este tipo de construcción. **Nader Khalili**, el fundador de esta técnica, lo ha basado todo en este principio estructural.

El arco desvía las fuerzas de la gravedad hacia los costados distribuyendo la presión hacia dos puntos en lugar de uno.



**Figura 17.** Principio físico del arco. Deriva la acción de las fuerzas de la gravedad hacia los costados.

Bien, esto es la explicación del porqué dimensionar contrafuertes en las puertas y de la colocación de moldes para puertas y ventanas. Así cómo la posibilidad que un domo pueda cerrarse sin que se caiga el techo.

En estas fotos, este arco con ladrillos está unido solo con tierra y piedras nada de cemento, ino se cae al retirar el molde!



**Foto 19.** Arco de práctica con ladrillos sin usar cemento, sólo tierra y piedras.

## -10-Puertas, ventanas y claraboya

Bien, ahora que sabemos lo que puede hacer un arco por nuestro domo vamos a hacerlo correctamente.

Lo primero hemos de decidir el molde de la ventana, o cajón de madera o sacos de tierra sin estabilizar (sin cal ni agua).

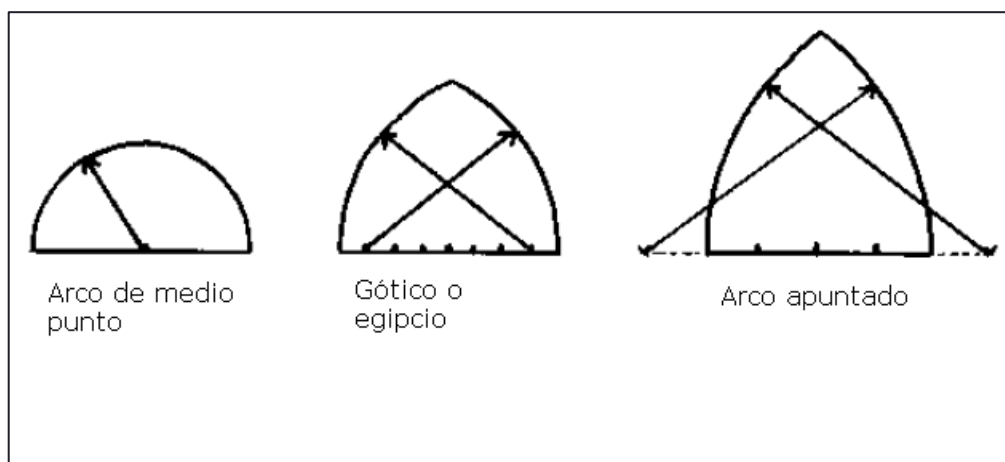
Para puertas hemos de colocar un marco de puerta reforzado, ya que la compresión del domo aplastaría uno normal.

**Importante** en la mezcla de tierra y cal doblaremos la cantidad de cal al **20%** para los sacos que forman el molde de las ventanas, para las puertas no hace falta se comprimen con las tiradas de la pared del domo.

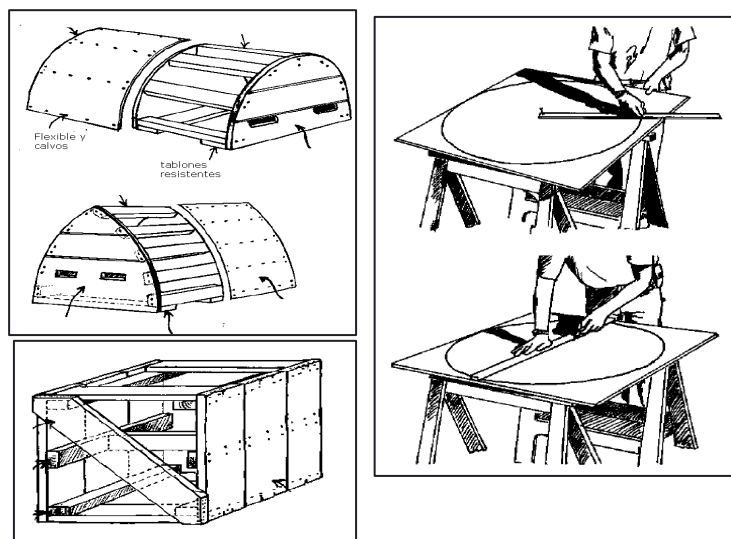
Bien necesitamos lo primero moldes para "tapar" el agujero para las ventanas y puertas. Los construiremos a medida, pero no os asustéis voy a explicar cómo hacerlo de una manera fácil y sobretodo barata.

---

Este manual tiene registrado el texto en la propiedad intelectual. Queda prohibido su uso y su venta para usarlo en cursos lucrativos.



**Fig18.** Muestra de los diferentes tipos de arco, para ventanas o la parte alta de las puertas.



La base de nuestro molde pueden ser dos cajas de madera iguales y resistentes, han de aguantar varios kilos sin deformarse y se ha de centrar con un nivel.  
 O un bloque entero como en las fotografía 20 (página siguiente).

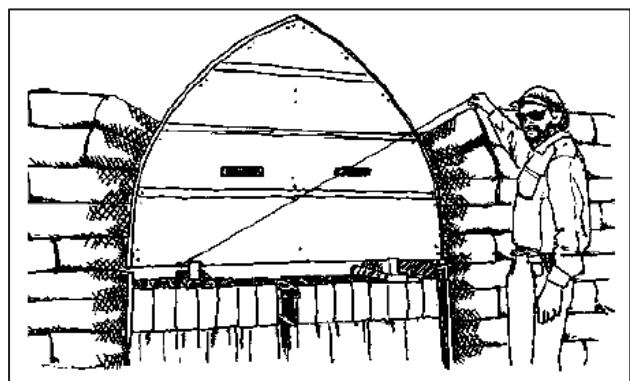
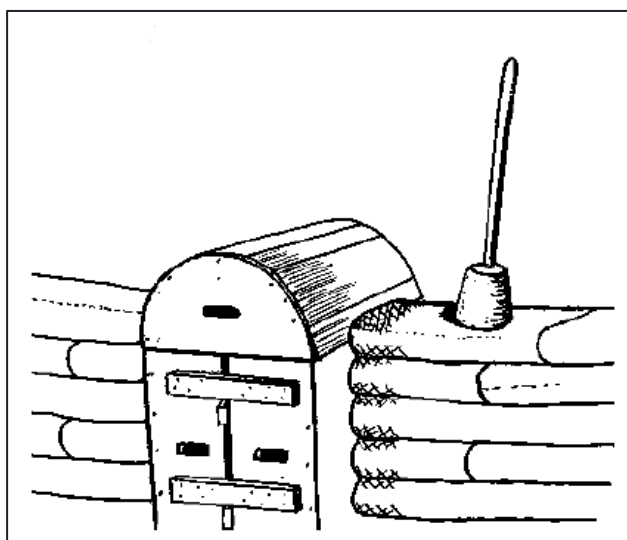
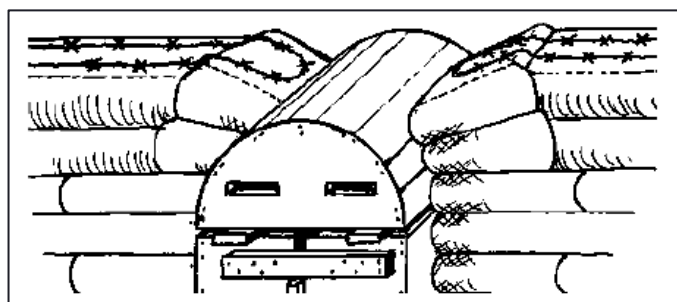
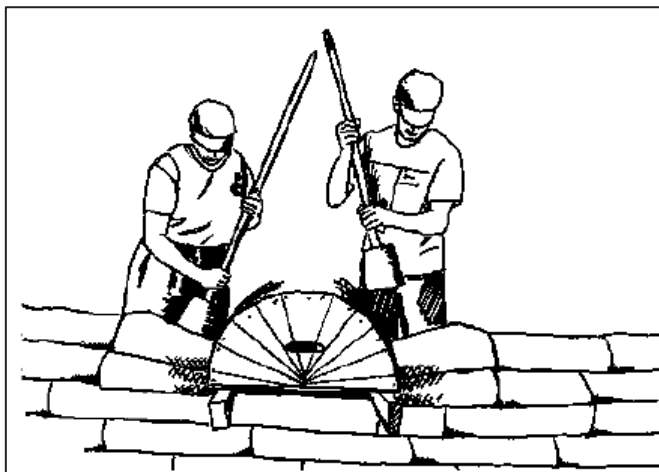
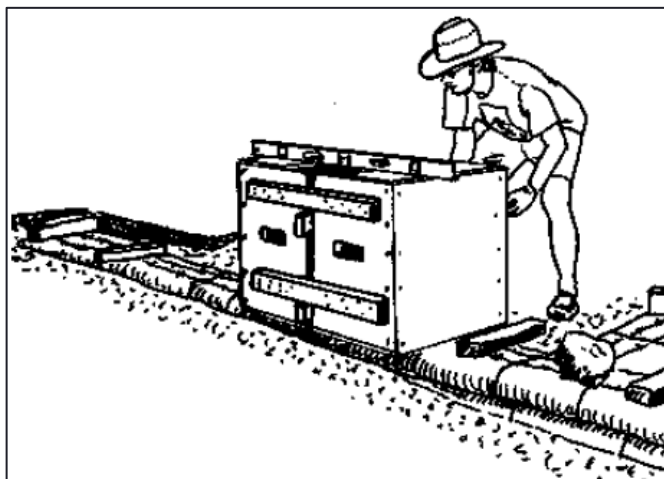


Fig19. Moldes y ejecución de trabajo.



**¿Las medidas?** Pues depende de la ventana y puerta que se desee pero hay que tener en cuenta que las dimensiones han de ser coherentes con el radio del domo. En un domo pequeño no se ha de colocar ventanas y puertas muy grandes porque TODA MODIFICACIÓN en la forma geodésica del domo es una debilidad estructural. Las ventanas ideales son de base 1 metro y de alto 1,5 metros.

Las puertas 1,5 de ancho por 1,80 de alto.

Importante el molde de ventana ha de ser muy largo. Debe sobresalir por la parte exterior del domo unos 40cm y por la parte interior también, esto es debido a que se ha de asegurarse no quedarse corto para el cierre del arco del marco de la ventana. Debido a que el domo en altura se va cerrando.

Para situar las ventanas y las puertas. Hay que usar el eje central del domo y situar el centro del molde en relación al eje central. Es conveniente marcarlo, con rotulador indeleble, ese punto.



**Foto20.** Colocación del molde de ventanas y puerta.



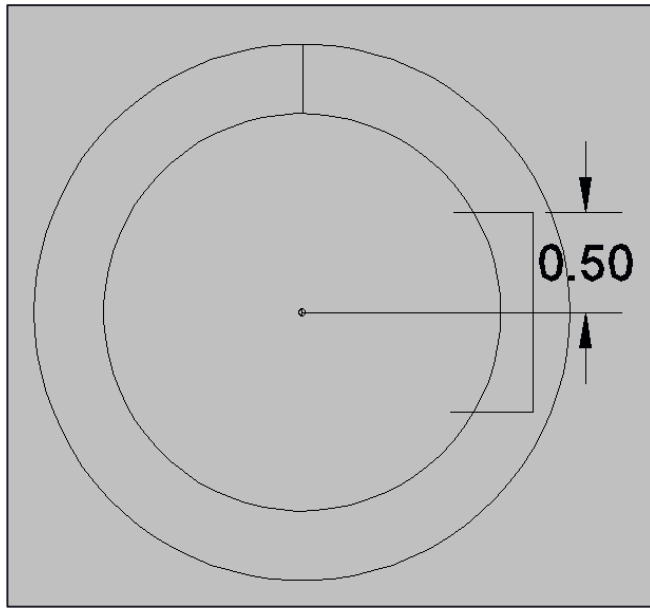
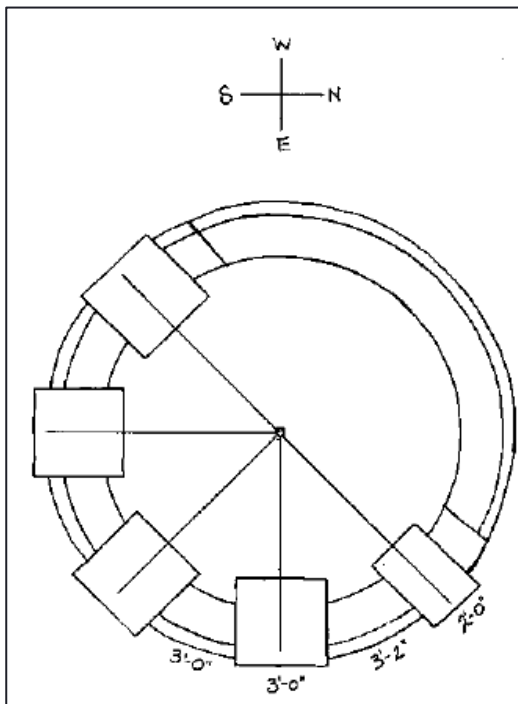


Figura 18. Centrar la ventana respecto al eje horizontal



Varias posibilidades para colocar las ventanas pero jamás hacia el Norte!!!  
 En el hemisferio norte no el hemisferio Sur sí!

---

Este manual tiene registrado el texto en la propiedad intelectual. Queda prohibido su uso y su venta para usarlo en cursos lucrativos. Página 47

Seguidamente se coloca el molde apoyado en dos ladrillos iguales



**Foto 21.** Utilizar el nivel para equilibrar y cuadrar la ventana horizontalmente

Importante el molde es como un túnel artificial que diseñará nuestro marco de ventana, hemos de ser más listos que el agua de lluvia, inclinaremos el molde unos grados un 2% hacia el exterior del domo. De esta forma el agua de lluvia jamás entrará dentro del domo.



**Foto 22.** Ha de estar inclinada hacia fuera del domo

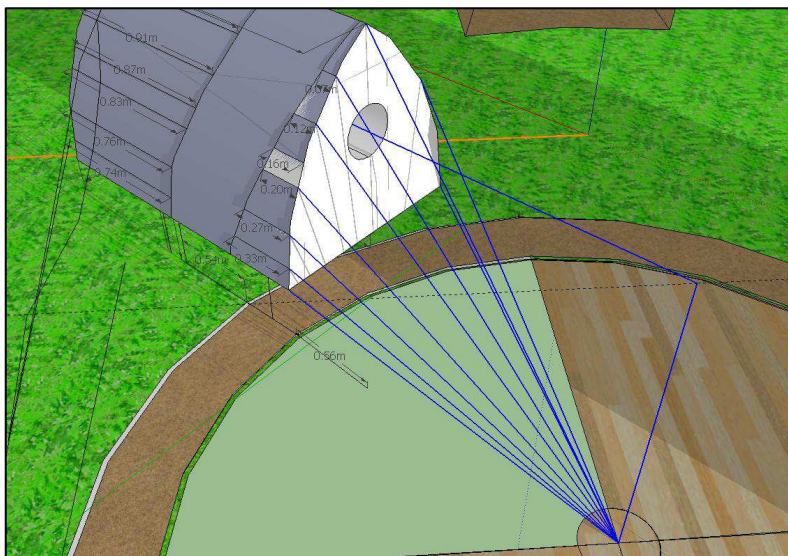
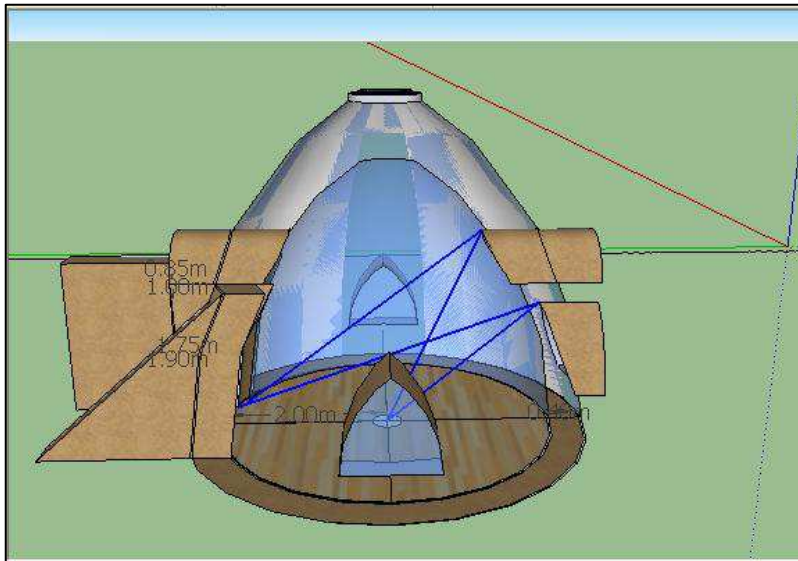
Todo lo que se coloca en un domo de marcos de puertas y ventanas ha de colocarse con cuidado y comprender algo esencial, el arco del domo se acentúa en la altura y hemos de tenerlo muy presente.

Cuando colocamos el molde, virtualmente, hemos subido unas 5 ó 6 tiradas de saco, respecto al muro.

Así que entre en juego nuestra cadena del eje central (el horizontal), vamos a nivelarla respecto a la cadena del eje vertical a la altura de la parte alta del molde y con un rotulador se marcará una línea de referencia para saber dónde colocar el centro del saco al llegar después. El molde nos presenta un problema físico debido a que está muy metido en el interior del domo. Se he de pintar la línea previamente gracias a la cadena del eje vertical.



**Foto23.** Dibujar con el eje y un rotulador el ángulo de inclinación del domo, en el molde, ya sea en moldes de madera o de sacos.



\*\*La colocación del molde correctamente se realiza mediante el eje exterior el cual marca hasta donde hay que introducirlo en el interior del domo y se centra respecto a la simetría marcada por el eje central

Bien ahora un paso muy importante es el ángulo de colocación de los sacos que forman el arco de la ventana. Se ha de utilizar clavos y cuerdas en el molde para guiarse en la colocación de los sacos.

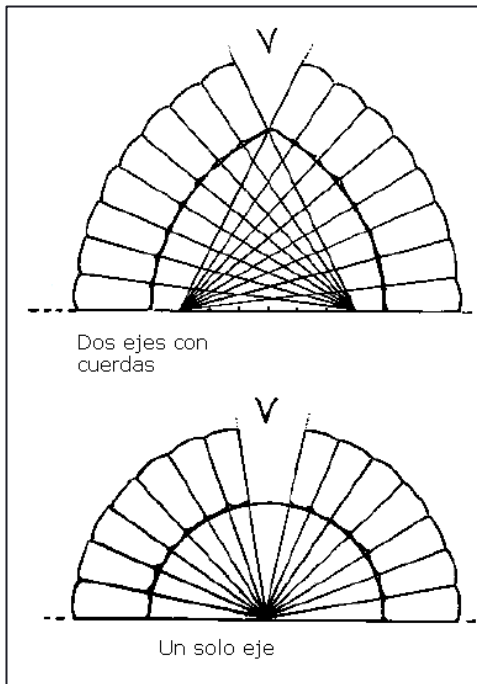


Fig19. Colocación de clavos y cuerdas para la guía de sacos

Se ha de compactar a la vez, por medio de dos personas, para que no se mueva el molde. **Importante!**



**Importante compactar a la vez!!!**

Y no hay que olvidarse del alambre de espino es nuestro mortero barato y más que fiable, ha de estar enlazado a los sacos del marco y

---

Este manual tiene registrado el texto en la propiedad intelectual. Queda prohibido su uso y su venta para usarlo en cursos lucrativos. Página 51



el saco del muro, aumentando la cantidad de vueltas en los sacos del molde de ventana.

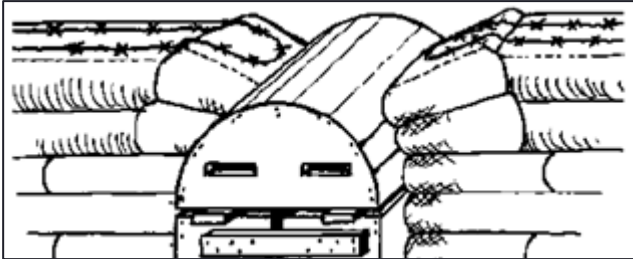


Fig20. Enlazado del alambre de espino



**Foto 24.** Acabado del marco y resultado.

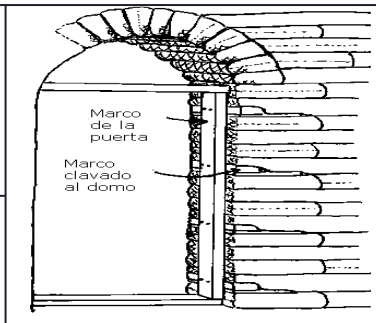
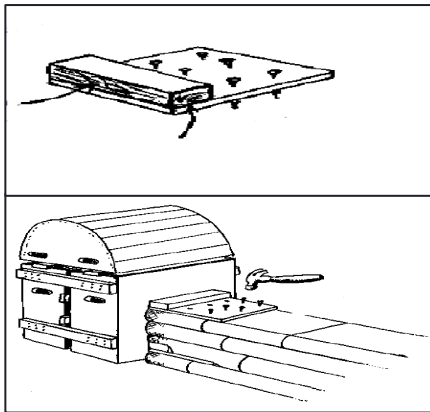
Soy más partidario de no complicarse con las ventanas y hacerlas de esta forma:



Importante no hay que retirar el molde hasta pasada **2 semana** como mínimo para que fragüe la mezcla.

Fijaros que de esta forma vas rápido y sirve para cualquier domo una base en dovelas y acabar la ventana en arco.

## Colocación de las ventanas



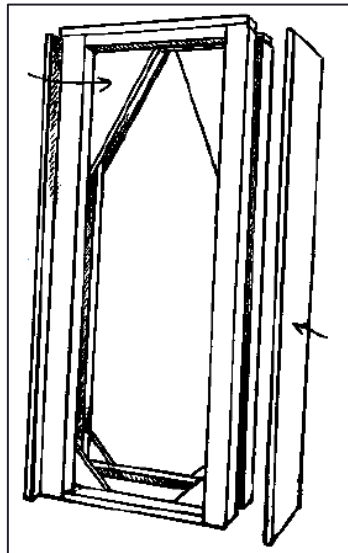
Las ventanas son especiales tienen un marco extra que se atornilla al muro, se revoca bien y queda perfecta, en este caso la ventana era demasiado pequeña en comparación con el molde realizado, hay que ajustar los tamaños porque el revoco no aísla igual que el superadobe.

La ventana está alineada perfectamente respecto al centro del arco y respecto al eje horizontal, se colocan ladrillos para ajustarla.

Entre saco y saco si hemos dejado maderas podremos ajustar la ventana y atornillarla sin problemas. Si nos hemos olvidado se puede atornillar al muro de superadobe pero: Los tornillos son especiales para paredes son expansivos para que se ajusten bien. Colocarlos siempre pasados 2 meses, el muro será sólido.

## La puerta

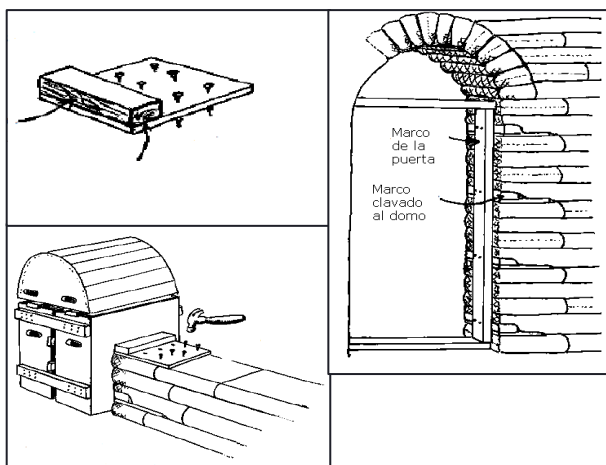
**El marco de la puerta ha de estar reforzado para que no reviente al compactar los sacos.**



**Foto 25.** Los refuerzos del marco, luego se retiraran, los refuerzos del marco han de ser más anchos que la anchura del saco compactado.

Se recomienda que la altura de la puerta no supere 1,90m de alto y un 1,5 m de ancho y si puede ser más baja mejor, queda mejor estéticamente en un domo y además mejora la climatización al evitar pérdidas de calor en invierno y fresco en el interior del domo en verano.

**Utilizar piezas de maderas clavadas en la tira del saco!!**



Creo que es una buena idea, tener en cuenta que el revoco aislará la madera y no se pudrirá ni nada parecido, el acabado y atornillado de marcos será más eficaz y más fácil.

## -11- Doble piso con vigas

Hay mucha altura en nuestro domo ¿por qué no utilizarla cómo piso dormitorio o estudio? Y como observatorio de estrellas?

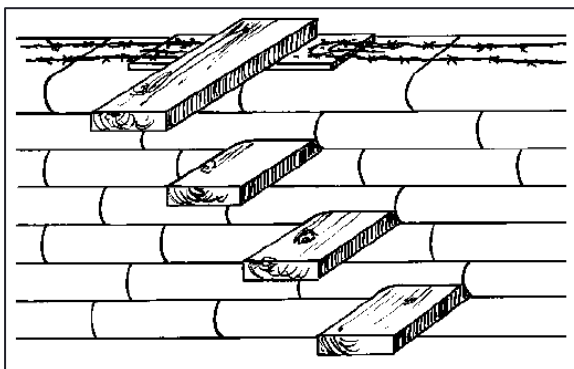
Hay apasionados de las estrellas que se volverían locos con algo así, un domo con doble piso y una claraboya esférica donde colocar su telescopio en invierno y abierta en verano.  
¿O colocar la cama justo en la claraboya?

Pues se puede, el uso de la madera no es necesario en los domos pero se ha ensayado y acepta vigas de madera convencionales.

El método es más complejo, elevar las vigas, colocarlas, escaleras, etc... parece arduo y complicado pero la forma del domo nos va a ayudar en el proceso.

## Escaleras

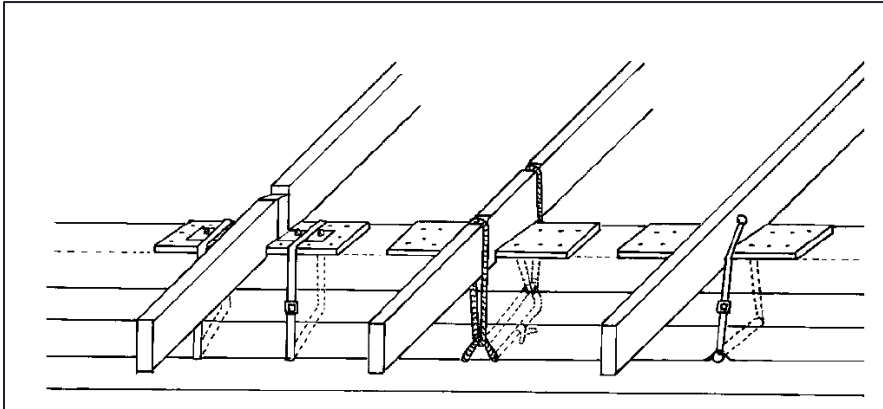
¿De superadobe? Podemos, pero es más fácil colocar tablas de madera, después las reforzamos con columnas clavadas y fijadas en la base del suelo.



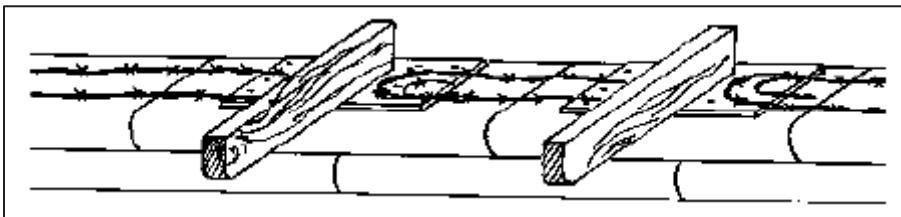
Poner una barandilla para mayor seguridad.



¿Cómo colocar vigas de madera? Rectangulares y redondas, así de fácil.

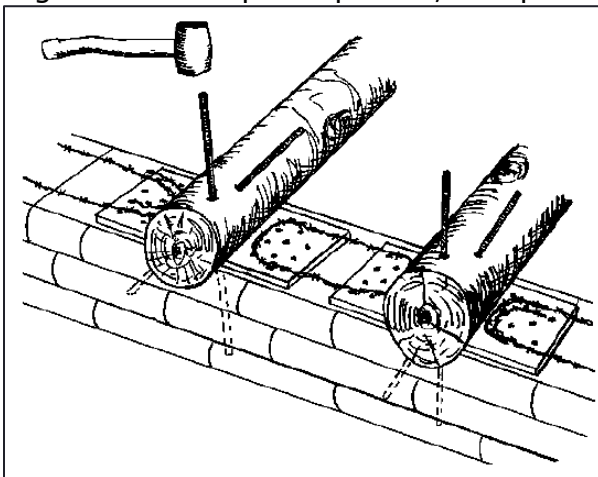


En este caso hay que comprar cinta resistente y un tensionador. En ferreterías especializadas!!



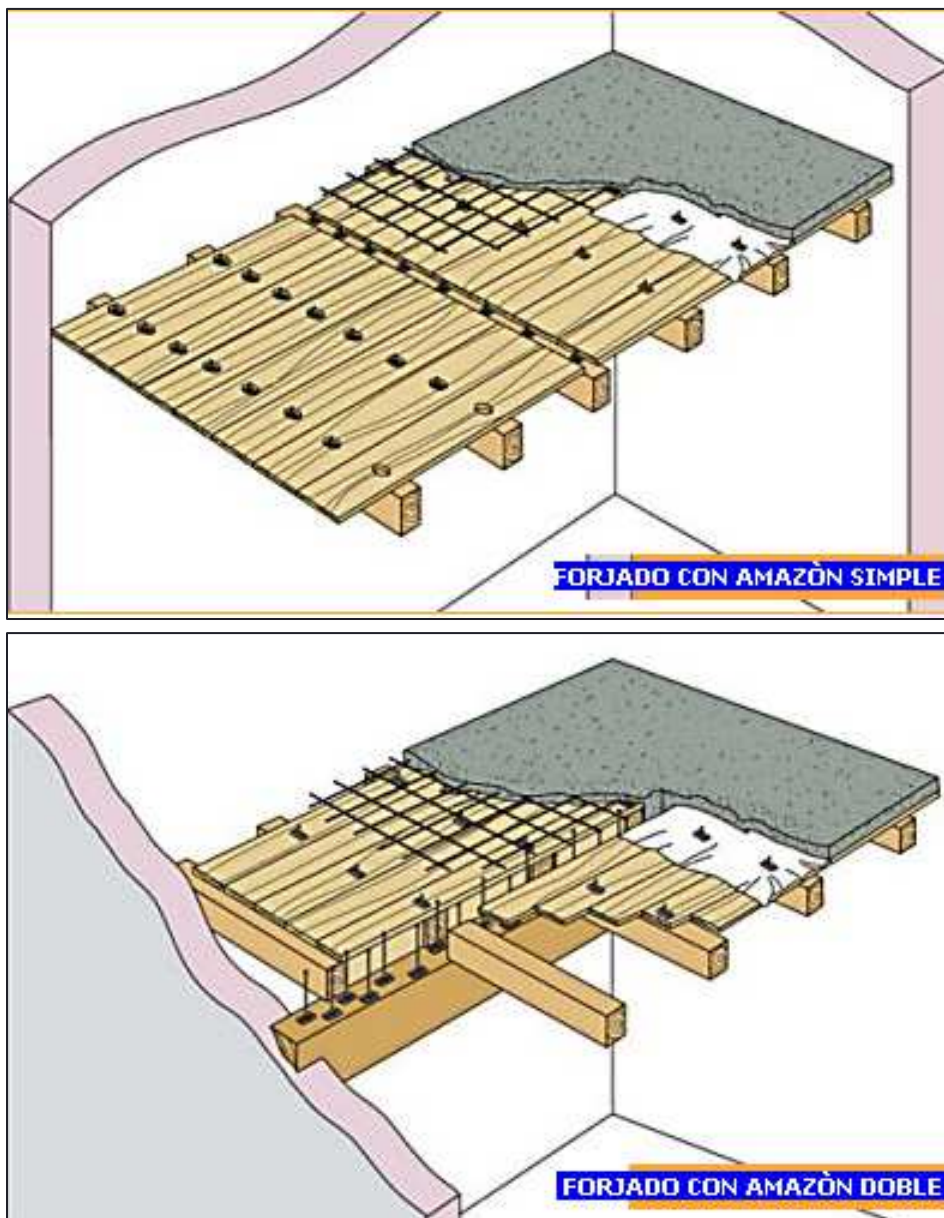
Alambre de espino importantísimo aquí!!!!

Vigas redondas por supuesto, aunque mejor rectangulares



## ¿Tenemos vigas pero y el suelo?

Es muy sencillo y fácil de construir pero si no lo veis claro podéis contratar un carpintero. Yo no pondría nada más que madera, un suelo aislante no hace falta en el segundo piso, estás en un domo lo mejor en diseño en eficacia energética.



**Fig.21.** Forjado de segundo piso.

## -12- Impermeabilización del Domo

Bien, antes de revocar hay que proteger el domo del agua de lluvia. Surge una duda. Algo artificial o algo ecológico?

Mi experiencia en mi antiguo trabajo cómo técnico en cimentaciones y aislamientos me hace inclinar la balanza hacia lo artificial por su eficacia y su seguridad. Aunque quiero seguir investigando sobre materiales 100% ecológicos y biodegradables.

Yo recomiendo para la **parte de la pared interior** del domo, tela tipo goretex de la casa Tyvreck:

Tyvek es una empresa en aislamientos térmicos y de impermeabilización y el modelo AirGuard® Sd5 es una **lámina de control del vapor** y de barrera al 100% a infiltración de aire

Al instalar en la cara caliente del aislamiento interno se reducirá el índice de calor perdido por convección a través de la estructura del edificio. Ofrece una barrera a las infiltraciones y pérdidas de aire desde el espacio habitable del edificio, especialmente desde las zonas muy húmedas (baños, cocinas, etc.)

La total "transpirabilidad" de la construcción se mantiene, gracias a que ofrece un equilibrio entre las resistencias al vapor de agua internas y externas.

Es de alta resistencia al desgarro y abrasión.

Dejará respirar al domo y no se acumularán humedades.

### **Para el exterior:**

Tyvek® Supro es extremadamente resistente al agua, estanca al aire y al viento y, al mismo tiempo, de alta permeabilidad al vapor de agua y permite una óptima gestión del aire y humedad en los edificios residenciales y comerciales.

Es una lámina multipropósito, duradera y reforzada y destinada a todas las

aplicaciones para cubiertas inclinadas con o sin soporte. Y las hay con banda adhesiva integrada.

### **¿Son caros estos productos?**

Pues al pedir más metros cuadrados más barato es, hasta de 1 euro por m<sup>2</sup>. Y nuestro domo es grande claro, y sube el precio final, pero...

El precio de tener nuestro domo aislado con una eficacia del 100% bien vale gastarse unos euros o si no nos exponemos a que el agua penetre y os juro que la condensación de agua en un domo es un problema muy grande. Nuestro Super\_adobe es muy resistente a terremotos, al frío y calor, pero no puede contra el agua, deshace la cal de nuestra mezcla y degrada la resistencia del saco.

Por eso nuestro domo es reciclable y si no revisamos nuestro revoco por el exterior todos los años el agua entra y lo deshace en unos años. ¿Por qué hacerlo un domo con revoco de mezcla de tierra y cal? Si el domo se abandona la erosión del agua y el viento y lo devuelve a la tierra.

Tranquilos si revocamos, lo cual es fácil y hasta divertido, el agua no entrará jamás!

## **-13- Revoco exterior e interior**

**Revoco:** El término se refiere a un revestimiento mural. Es una obra de homogenización de recubrimiento de una fachada o de un muro interior.

La cal es muy reconocida en nuestros días en la albañilería tradicional, como el conglomerante más adecuado para la realización de revestimientos:

- La cal respeta todo tipo de soportes. Se adhiere bien a los diferentes soportes.  
La cal es un producto natural y biológico
- Se adapta a los movimientos de construcciones y evita
- la aparición de fisuras en los muros
- Durante y después del fraguado, los morteros de cal son permeables al vapor de agua pero impermeables al

agua. Favorecen la evaporación de agua contenida en los muros que respiran.

- Los morteros de cal se colorean fácilmente y hacen
- posible obtener todos los colores deseados

### **Confección del mortero**

Un mortero debe estar obligatoriamente constituido por una mezcla de uno o varios conglomerantes, arena, agua pura y eventualmente de aditivos.

- Introducir en la hormigonera una pequeña cantidad de
  - agua para limpiar la amasada anterior.
- Introducir la arena y el conglomerante y luego el resto
- del agua
- El contenido de agua es superior a la mezcla de "super\_adobe" la textura final ha de ser húmeda sin llegar a gotear. Como una textura de "natillas". Muy similar a la cantidad de agua usada en mortero de cemento para levantar paredes de ladrillo.
- Bloquear la hormigonera en la posición de mezclado durante un período de tiempo de 3 a 5 minutos para obtener un mortero homogéneo.

**Primero ha de hacerse pruebas en el saco con el mortero:**

**100% Arena de cantera a razón de 4 de arena 1 de cal**

CAL	ARENA
 1	 4

Podemos hacer todo el domo con mortero de cal mejor hidráulica NHL5 pero nos saldrá bastante caro por la gran cantidad de mortero que consume revocar un domo debido a los huecos entre hilada e hilada.



Para economizar se puede revocar el domo con cob. 4 de arena, 1 de arcilla reposada en bañeras durante 2 semanas y 1 cantidad equivalente de paja. Aplicarla a todo el domo, reapretarla y dejar secar para posteriormente revocar el domo con mortero de cal hidráulica.



**Foto 26.** Pruebas de revoco. Apuntar las concentraciones en el saco.

## **Revoco exterior**

Previamente a la ejecución del revoco se ha de regar las paredes del domo sin que llegue a chorrear se puede utilizar una brocha de pintura para ir mojando y aplicar el agua en las paredes. La pared ha de estar limpia ha de raspase con un cepillo de púas metálicas el saco. Podemos revocarlo con mortero de barro, (3 arena, 1 arcilla y 1 paja) y después con cal hidráulica. A continuación explico cómo aplicar el revoco de mortero de cal.

### **Ejecución del revestimiento:**

**La aplicación siempre con guantes de goma tipo de fregar platos.**

Se efectúa según el método tradicional en tres capas.

#### **-1- El mortero de agarre o primera capa:**

Espesor de 1 a 5mm esto en una pared recta en el caso del domo se ha de "rellenar" todas las hendiduras entre saco y saco. Estos huecos entre saco y saco proporcionan un buen soporte para esta primera capa. La mezcla de arena media y de cal debe ser de **4 a 1**.

#### **4 de arena por 1 de cal.**

Se puede introducir paja cortada o triturada en la mezcla para dar más rugosidad a esta primera capa.

Se aplica una bola de mortero en la mano y se aplica de abajo arriba aprovechando las hendiduras entre saco y saco del domo. Empezando por la parte inferior del domo hacia arriba. Es importante trabajar de forma homogénea y acabar 1,60m de altura por todo el perímetro del domo, o sea, no se ha de aplicar la primera capa desde abajo del domo hasta su cúspide en una sección del domo. Se ha de trabajar en diferentes fases. Parte Inferior, media y superior del domo.

El revoco se aplica con la llana pero es muy importante no "alisar" el revoco, se desea que quede rugoso para la siguiente capa. La superficie del mortero de agarre debe ser rugosa para facilitar la adherencia de la segunda capa. De ahí que la mezcla del mortero que se utiliza ha de ser de arena media a gruesa. La arena óptima es de cantera y ha de comprarse. Cabe la posibilidad de utilizar la fracción de arena del terreno cribando previamente la parte fina y la arcilla con una criba. Pero ha de estar limpia de impurezas.

Finalmente se aprieta con un "fratás" y finalmente se pasa un cepillo de púas o una sierra dentada para generar surcos. Siempre se ha de esperar a que el revoco pierda agua para "apretar", entre 20 y 30 minutos dependiendo del clima. Se ha de aplicar agua en el caso de un día muy soleado. Esta fase de apretado ha de hacerse cuando el revoco tiene cierta plasticidad pero ya ha empezado a fraguar.

## **-2- El cuerpo del revestimiento o 2a capa:**

Espesor de 15 a 20 mm. Asegura la impermeabilización del muro y su planeado. Se aplica después de un plazo de espera de 48 horas mínimo (7 días para tiempo seco y húmedo).

Se humedece la pared previamente y se aplica proyectando con la paleta de obra o lanzando bolas de revoco contra el domo.

También se ha de ir a **4:1**

Después de la proyección, se pasa la regla sobre el muro. Esto en una pared recta en el domo es un poco intuitivo a no ser que utilicemos una regla con la curvatura del domo.

Eso sí, se ha de apretar el resultado final con un "fratás" para eliminar la posibilidad de generación de fisuras. Como en la primera capa se ha de esperar a tener el revoco plástico. Aplicar agua si es necesario. Posteriormente se pasa un cepillo de púas o una sierra dentada para hacer surcos.

## **-3- La capa de acabado:**

Espesor de 5 a 8 mm. Decora y participa en la protección del muro y de las dos capas precedentes. Se pone en obra después de un plazo de espera de 4 a 7 días mínimo (15 días para un revestimiento de cal pura), sobre el cuerpo del revestimiento humidificado la víspera.

En este caso ha de ir **la mezcla a 3:1. 3 de arena fina por 1 de cal.**

Después de la proyección se pasa la regla por el muro y luego se trabaja el mortero en curso de secado para obtener el acabado deseado. La capa de acabado del revestimiento debe de ser regularmente "apretado" mediante el fratás. En acabados más delicados de arcos de puertas y/o ventanas se puede utilizar una

cuchara de metal para "apretar" y eliminar la posibilidad de grietas en el fraguado. Siempre se ha de esperar a que el revoco pierda agua para "apretar", entre 20 y 30 minutos dependiendo del clima.

En la última fase que es el acabado del domo entra la parte más artística de cada uno/a. Se puede personalizar el domo dibujando en el revoco fresco o colocando bolas u otras formas geométricas o si se desea colocar piedras, mosaicos y/o colores de tintes ecológicos en el revoco.

Fotos de las fases:

### -1- El mortero de agarre o primera capa



1ª capa de revoco con paja mezcla similar al Cob





## -2- El cuerpo del revestimiento o 2a capa



Aplicación del revoco lanzando la mezcla contra el revoco de la 2ª capa

Dejando preparada el domo para el acabado final: Se realizan surcos para mejorar el agarre de la última capa de mortero de cal hidráulica.



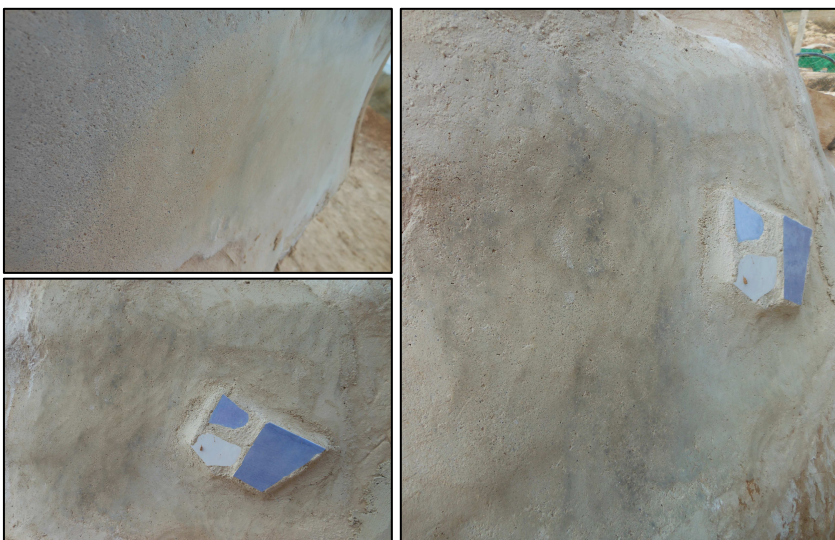


### -3- La capa de acabado



Resultado de la última capa con apretado con una cuchara metálica a falta de herramientas más caras y específicas en restauración de fachadas. También podemos utilizar paletillas elásticas de obra pero la cuchara nos proporciona mayor control y fuerza en la fase de apretado del mortero.

Posteriormente podemos ir "pegando" con cal hidráulica fragmentos de baldosas o cerámica para embellecer el domo y protegerlo con el llamado "trencadís". Hay que poner muchos en la fotografía solo hay una prueba.



## -14- Calefacción y "aire acondicionado"

El llamado "túnel de castores" nos proporcionará aire fresco en verano y nos ayudará a reducir el consumo de calefacción en invierno. ¿Cómo funciona, este milagro?

Primero colocaremos a nuestro domo un domo muy "pegado" o sea con su centro muy cercano al punto central del domo. A unos 66 centímetros de distancia de la pared del domo, respectando la curvatura del domo central, en dirección hacia donde está situado este domo "pegado", ver figura 21.

Este domo se cerrará perfectamente al domo principal, con una "chimenea" en su cúspide y colocando un intercambiador metálico de entrada de aire y salida del aire interior.

Gracias a la geotermia es el calor de la tierra, resulta que el planeta emite calor constante en cualquier punto de la tierra a determinada profundidad, siendo esta temperatura constante independientemente de la climatología. A 1 kilómetro de profundidad tiene una media de 1000°C. Nosotros solo haremos una excavación de 1,80 metros y colocaremos una tubería con pendiente para evitar malos olores por acumulación de agua resultante de la condensación del vapor de agua del aire.

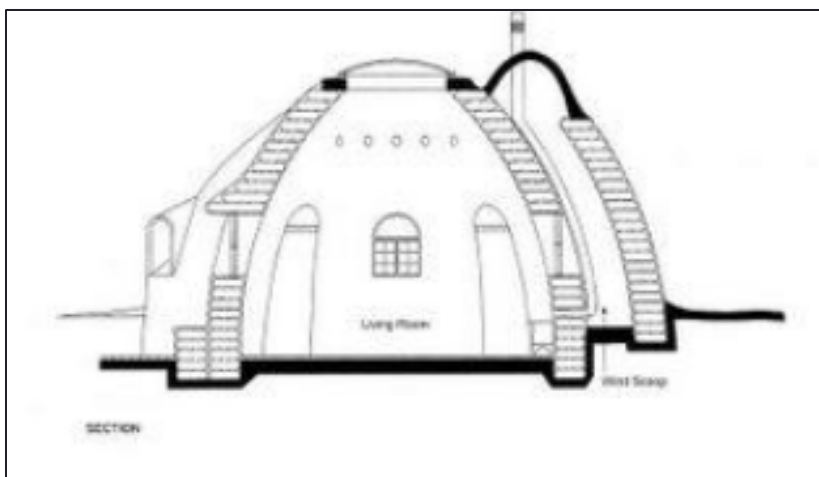


Fig.20. Representación de la "chimenea"

A esta profundidad la temperatura es constante, y "roba" calor al aire caliente del verano y "calienta" el aire frío en invierno. La temperatura del túnel enterrado es de una media de 18°C todo el año.

Esto nos proporcionará una entrada constante de 22 °C en verano de aire fresco en verano sin uso de aire acondicionado, bajando la temperatura exterior de supongamos de 40°C a **22°C** en el interior del domo. Entrando en el centro del domo y sin humedad. La temperatura de 25°C es la idónea en el aire acondicionado. Con este método sin el uso de ningún aparato tenemos aire fresco y renovado constantemente.

En invierno la temperatura del aire por este sistema nos proporciona una temperatura de 20°C y necesitamos 25°C como temperatura de confortabilidad.

Supongamos una temperatura de -8°C la "subiría" a 12°C nuestra estufa calentaría este aire de 12°C a 25°C, pero sin este sistema tendría que trabajar contra -8°C constantemente, debido a que sin este sistema con el paso de los meses con frío constante.

Y pese a que nuestro domo es muy eficiente obviamente hay que subir de -8°C a 25°C y se ha de conseguir mediante la estufa (leña, gas, etc...) El ahorro energético en invierno es muy considerable.

El aire de 12°C es frío pero se conecta directamente a la estufa de leña o gas. Parece extraño inyectar aire frío a la estufa pero se calienta antes el domo y debido a que el aire se recicla no hay el "síndrome del edificio enfermo"

Sí, en el techo hay salida de aire constante tanto en invierno como en verano, ¿Cómo en invierno? Sí!! En la entrada del aire de la "chimenea" hay un intercambiador casero, consiste en una estructura metálica en forma de "X" donde la entrada de aire y la salida están en contacto pero en diferentes "tubos". No se mezcla el aire, solo intercambia temperatura gracias a esa estructura.

Esto genera que el aire exterior "pierda" calor antes de entrar en el serpentín y el "túnel de castores" y "gane" calor el aire exterior en invierno.

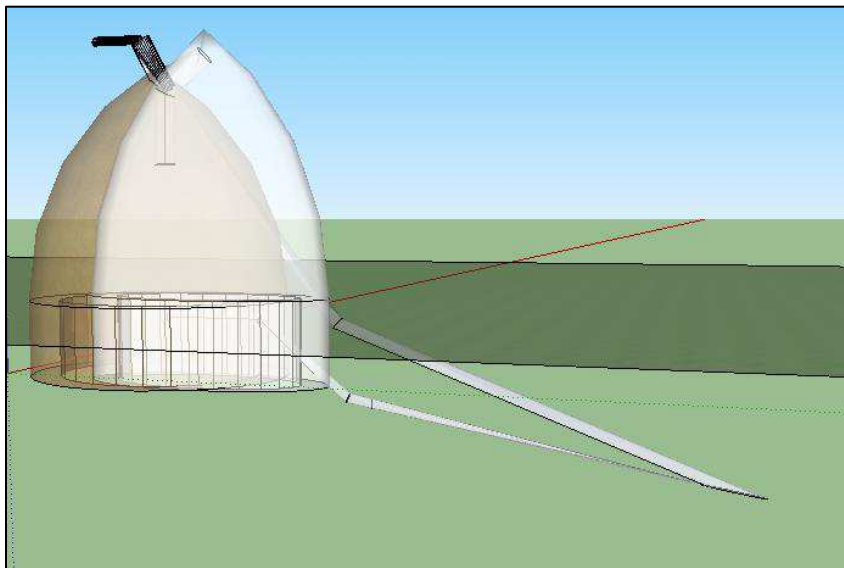
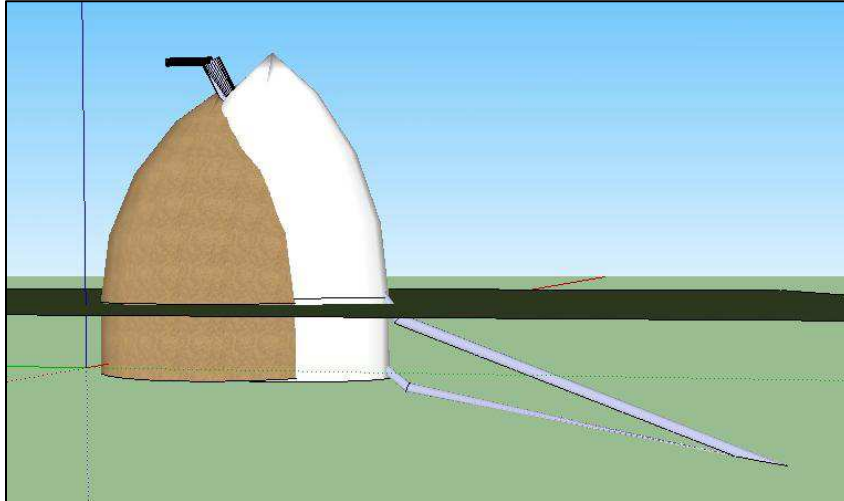
El flujo de aire es suave y constante no hay remolinos ni flujos violentos.

Se me olvidaba dentro de este **mini ábside adosado** a nuestro domo va un serpentín **figura 21** y en la base la conexión con la tubería enterrada.

Es importante comprar tuberías con un revestimiento interior anti-bacteriano, para todo el circuito, serpentín y tuberías enterradas.

Y un drenaje en su parte más baja para eliminar toda el agua de condensación.

Estamos hablando de esta estructura ver fotografías siguientes:



La entrada de aire está en contacto con la salida del aire del domo están en contacto pero cada tubo es independiente es un intercambiador de temperatura.

Otro tema importante hay que colocar un filtro de carbón para evitar cualquier problema de olores por condensación.  
La longitud de la excavación depende del tamaño de nuestro domo.

Os pondré un ejemplo que he calculado con un programa específico de cargas térmicas "Climasoft"

Se trata de un domo único de 2 metros de radio y 4 de diámetro.

Una altura de 3,66 metros con 3 ventanas con persianas venecianas de 1,5 m de alto por 1 de ancho cada una y de un solo vidrio (recomiendo doble cristal en la ventana) y una puerta de 2 metros de alto por 1,5 de ancho. He puesto el peor escenario tanto en ventanas como en una puerta normal de madera y marcos de madera en ventanas.

Os recomiendo ventanas de doble vidrio y puertas gruesas y con cierres de goma. Eso sí tanto en el ejercicio como en uno real **NUNCA ORIENTÉIS VENTANAS NI PUERTAS HACIA EL NORTE, NOROESTE NI NORESTE.**

**He supuesto una temperatura exterior de -9°C e interior de 25°C.**

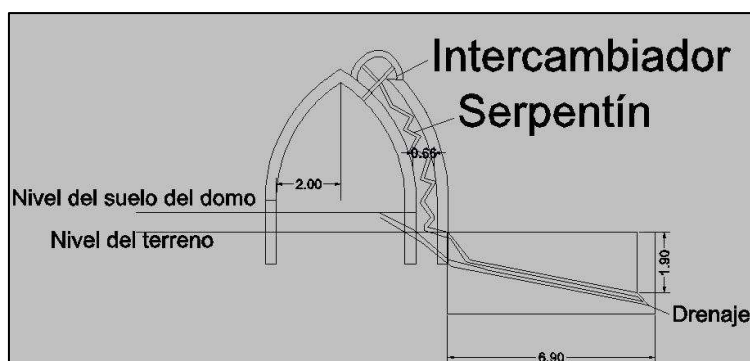
También he supuesto un terreno arenoso seco en el lugar de ubicación del domo y unos 1000 metros de altitud.

Con estos parámetros el programa me dice la profundidad y longitud de la excavación a efectuar, lógicamente fuera de la zona de cimentación del domo y en línea recta tal como está representado en la figura 21.

**Pero para este caso específico me recomienda una profundidad de 2,4 metros y una longitud de 6,85 metros.**

Sí, es algo grande costoso pero el ancho en para dos tuberías de 20 cm de diámetro. Por eso recomiendo el alquiler de una retro para la cimentación y esta zanja.

Tener en cuenta que os proporcionara aire fresco en verano y ahorro de calefacción en invierno.



**Fig.21** Profundidad del "túnel de castor" y distancia de referencia.



La entrada del tubo de aire al domo puede ser por el centro del domo o cercano a una pared. Es idea conectar este tubo al tiro de la estufa para que la estufa caliente un aire precalentado por el sistema y no absorba oxígeno del interior del domo. En verano se desconecta el tubo de la estufa y el aire es más fresco que el del exterior.

Otra posibilidad (si estáis en climas menos fríos) es la de solo tener aire fresco y libre de humedad. Eso sí en invierno tendréis que tapar el conducto.

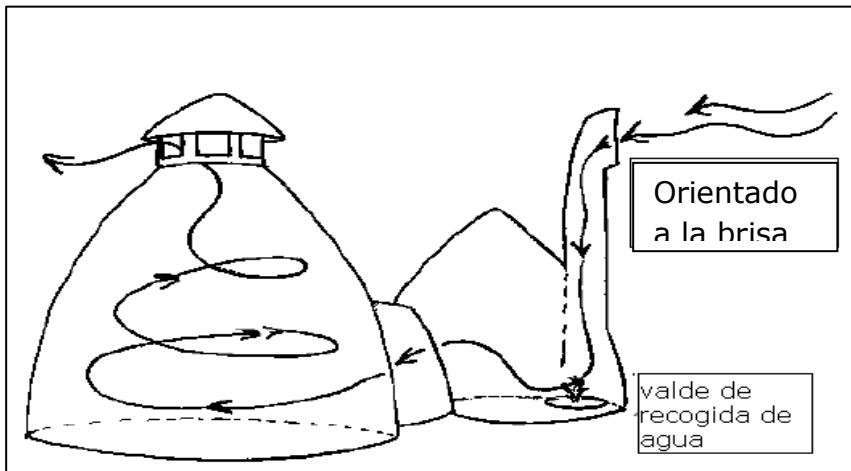


Figura 22. La chimenea puede ser mejorada con varias entradas de aire a 90° una de otra.

Aunque también se puede poner un túnel enterrado a poca profundidad entre el domo de entrada de aire y el principal. Este tipo de climatización solo sería útil en climas cálidos y tropicales.

## -15- Fabricación de herramientas

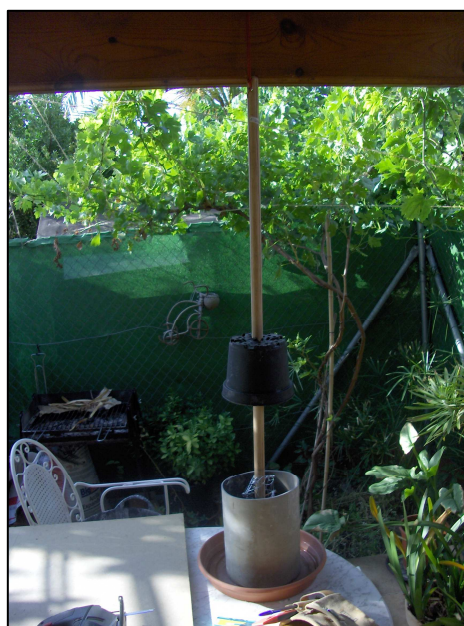
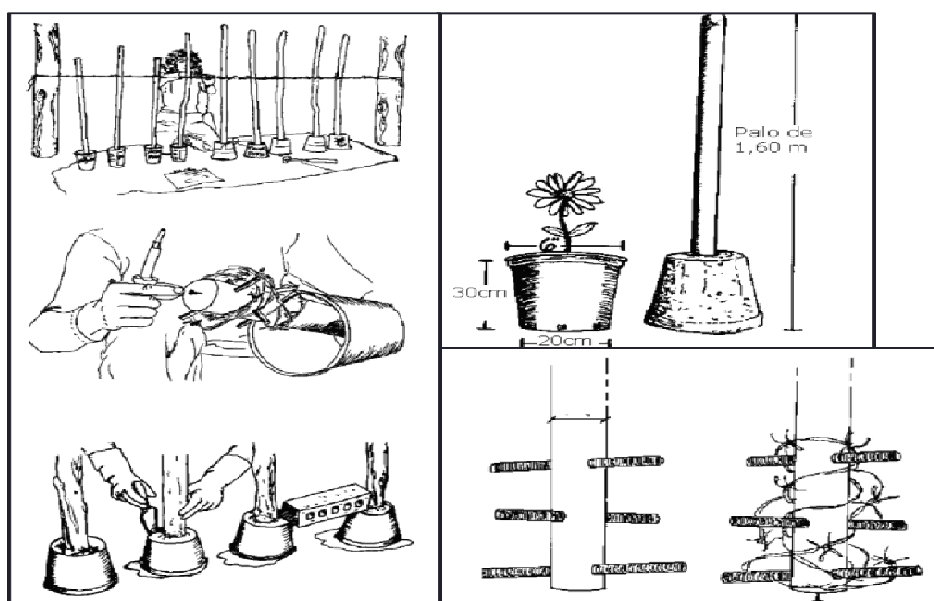
Importante necesitamos palas, picos, carritos de obra y hormigonera si es posible alquilarla o que os la presten.

También palas para el revoco las llaman "llanas"

Hay algo que no venden en ningún sitio son los "**pisones**" hay que fabricarlos

Necesitamos pisones baratos, lo ideal son metálicos pero hay que soldar y conseguir hierro.

Hay otra forma mediante palos de madera, alambre de espino, cemento y una maceta de jardín. Le pondremos palos atravesados con alambre de espino para mayor agarre, por supuesto con cemento y agua, dejamos 2 días que se seque y ya tenemos el pisón. Hacer varios y al menos uno más pequeño para pisonear esquinas para detalles. Hay que colocar un clavo en la punta y dejarlos secar suspendidos con una cuerda dejando una separación de 3 cm respecto el fondo del recipiente lleno de cemento, para evitar cualquier daño a los sacos y que solo golpee el cemento jamás el palo que va dentro.

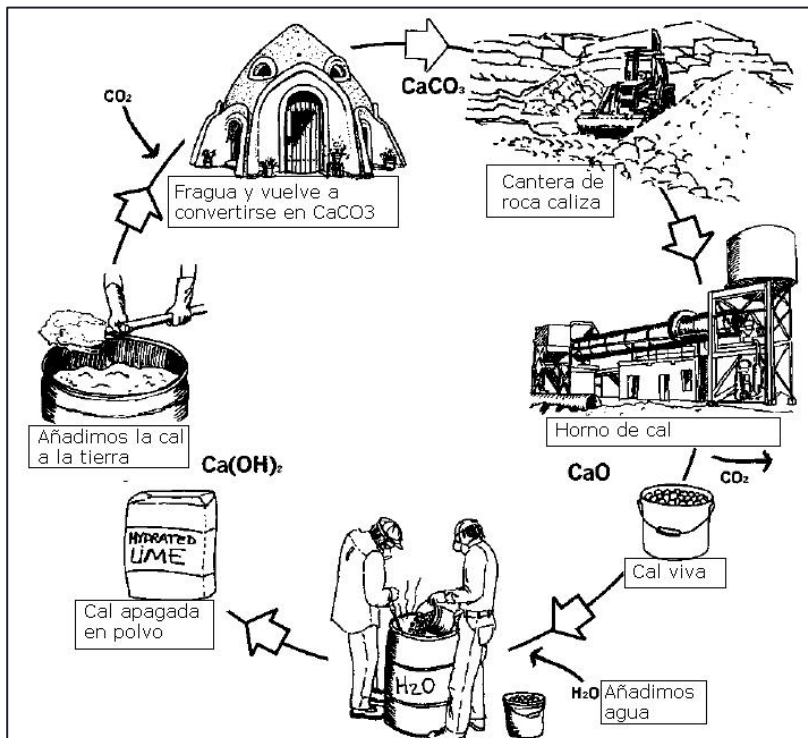


## -16- Ciclo de la cal

La cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  es un aglutinante químico que se extrae de la roca caliza. Tiene un uso de miles de años en la construcción de edificios. Los romanos descubrieron como mejorar sus cualidades y dotar a sus morteros de cualidades hidráulicas.

Hay mucha controversia sobre que cal usar. Yo recomiendo cal aérea pura apagada para la mezcla del superadobe y **comprar a caleras directamente en bolsas de 1.000 Kg** y dejarse de comprar palés de sacos de 20kg que encarecen el domo. Para revocos exteriores y las tiradas de cimentación y en los arcos de ventanas cal hidráulica NHL5. Son cales que provienen de estratos de roca caliza con aditivos naturales del propio estrato que les proporciona cualidades hidráulicas. O sea que resisten mejor el contacto con el agua ya sea de escorrentía (lluvia) o de humedad por capilaridad.

La cal ha sido fabricada de manera artesanal durante siglos y se puede "fabricar" cociendo la roca caliza en hornos con temperaturas que se consiguen con la quema de madera. Al contrario del cemento que necesita altos hornos para su fabricación.



## -17- Agradecimientos y bibliografía

He de dar las gracias a el equipo de Calearth: Aaron, Marco y Marina por su dedicación en el curso de Calearth y sus conocimientos. Sin ellos no hubiera sido posible hacerlo.

Y a Rubén por ayudarme a corregir un montón de fallos gramaticales.

A Ioanna por todo lo que me ha enseñado y su paciencia, a Rocío, Alfonso y Juanmi de bioconstruyendomurcia y por supuesto a Antonio Gómez. Y por supuesto a tod@s l@s alumn@s que han venido a los cursos!!

Obviamente al libro "*Sand Shelter*" de Iliana Outram facilitado por el curso de Calearth en Banyoles septiembre de 2011 y "*Earth bag Building: the Tools, Tricks and Techniques*" de Kaki Hunter y Donald Kiffmeyer.

Espero que os sirva y disfrutéis de la creación de vuestra propia casa.

Y por último Nader Khalili el creador de todo este movimiento dijo:

**" Aquel que conozca esta técnica podrá enseñar a mil personas a su vez"**

***"Toda persona en este mundo debería poder construirse Un techo para él y su familia utilizando la sencillez de los 4 elementos: tierra, agua, aire, y fuego."***

***"La tierra se convierte en oro en las manos del sabio"***

**"Superadobe es un adobe que se extiende desde la historia en el nuevo siglo.**

**"Es como un cordón umbilical que conecta lo tradicional con el mundo del adobe, en el futuro"**

Un abrazo a tod@s!

Miguel Ciudad Martín, 5 de enero de 2013 y nueva corrección a 20 de mayo del 2014. Este manual lo iré actualizando y publicando a medida que tenga más datos y fotos.