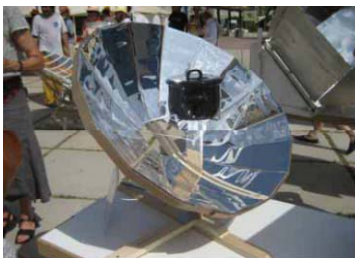


Diseños de hornos solares de bajo coste y altas prestaciones

Grupo de Energía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid.
Margarita Mediavilla Pascual, diciembre 2011

Las cocinas u hornos solares son aparatos que utilizan la energía del sol para cocinar alimentos (http://es.wikipedia.org/wiki/Cocina_solar). Este tipo de tecnología es especialmente importante en países donde el combustible escasea y el hecho de buscar leña supone una carga de trabajo onerosa, sobre todo para las mujeres. El África Subsahariana es uno de los lugares donde este tipo de tecnologías podría aportar más beneficios, especialmente en el Sahel, tan amenazado por la desertización.

Existen dos grandes familias de cocinas solares:



- De concentración (cocinas solares). Su funcionamiento se basa en concentrar la radiación solar en un punto mediante superficies reflectoras, generalmente parabólicas. Este punto es donde se coloca el recipiente donde se cocinará. Son cocinas rápidas y que pueden alcanzar grandes temperaturas cuando su superficie es grande y están diseñadas adecuadamente. Sus principales inconvenientes son la necesidad de reorientarlas cada poco tiempo y la dificultad de construcción de las superficies reflectoras.



- De efecto invernadero (hornos solares). Se basan en la captura de la radiación solar en un recinto orientado al sol y aislado térmicamente. El calor del sol es captado a través de una superficie transparente que produce el efecto invernadero en el interior. La construcción de hornos solares es más sencilla y el riesgo de accidente por quemaduras es menor que en las cocinas de concentración.

Son numerosos los diseños de cocinas solares que se pueden encontrar en internet (<http://www.terra.org/cocinas/search.php?fam=1>, <http://cocinasolar.isf.es/>). Muchos de ellos son diseños sencillos (como en <http://solarcooking.org/espanol/minspan.htm>), muy interesantes para hacer un taller y probar que el sol calienta más de lo que pensamos, pero no

suelen alcanzar más de 80 °C (por lo menos los que yo he conseguido fabricar) y no son adecuados para cocinar habitualmente alimentos. De hecho, mi experiencia muestra que conseguir los 80 grados con un horno solar casero es relativamente sencillo, lo complicado es superar los 100 grados y, sobre todo, llegar a las temperaturas habituales de cocción de cocinas y hornos convencionales, que empiezan en los 120º, a partir de estas temperaturas el horno o la cocina solar empiezan a ser un buen invento.

Voy a contar mi experiencia con diferentes hornos y cocinas solares que he fabricado personalmente o que han fabricado alumnos de la Escuela de Ingenierías de Valladolid, por si puede servir de ayuda a quien quiera experimentar por su cuenta. El objetivo es hacer cocinas baratas, pero eficaces, y con materiales lo más sencillos posibles de encontrar en cualquier país y de trabajar manualmente.

1. Primeros diseños: cocinas muy sencillas.

Las primeras cocinas que empecé a fabricar se basaban en diseños fabricados con cartón y sacados de páginas de internet, como esta de la figura 1. Esta cocina se basa en la olla negra (pintada), y la superficie reflectante de cartón cubierta de papel de aluminio. La superficie de cartón se utiliza para concentrar los rayos solares en la cazuela, pero, como se puede ver, el papel de aluminio (“albal”) presenta muchas irregularidades y esto hace que la reflexión no sea buena, además es complicado orientar bien el reflector (no se sujeta, no se sabe muy bien dónde refleja...). El diseño original hablaba de cubrir la cazuela con una bolsa de plástico para añadir un efecto invernadero que acumulase mejor el calor. Yo lo probé con bolsas de plástico convencionales, pero acababan quemándose. Por eso utilicé un recipiente de cocina de pirex con tapa, lo malo es que este tipo de recipientes no son habituales y son caros.

Los resultados de este tipo de cocinas, por lo menos bajo mi torpe experiencia, son insatisfactorios. Me parece caro y difícil encontrar un plástico o cristal que no se queme, y la reflexión es complicada y, si no se hace bien, no resulta eficaz. Imagino que realizando bien las superficies de reflexión (quizá con chapas metálicas o madera en lugar de cartón) se pueden conseguir cocinas de este tipo bastante simples y más eficaces, pero yo no lo he probado.



Figura 1: cocina muy sencilla

2. Horno reflectante plano

En este horno intenté aunar las propiedades de la reflexión y el efecto invernadero y hacer una cocina reflectante, pero cubierta con un cristal para evitar las pérdidas de calor (ver fig. 2). El diseño estaba pensado para ser usado en África, y por ello la superficie captadora de energía (el cristal) es horizontal. Básicamente la cocina es una caja grande con las paredes interiores cubiertas de papel de aluminio reflectante e inclinadas 45° (se puede ver en la figura 3 que 45° es el ángulo idóneo para reflejar sobre la cazuela los rayos que incidan perpendiculares al cristal).



Figura 2: horno reflectante plano (antes de haberle colocado su cristal)

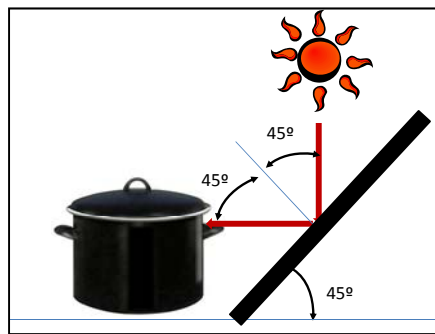


Figura 3: Los ángulos que forman el rayo incidente y el rayo reflejado son iguales si se los mide respecto a la línea imaginaria perpendicular a la superficie. Con esto es fácil ver que una inclinación de 45° respecto a la horizontal es ideal para que una superficie reflectante capte los rayos del sol que lleguen perpendiculares a la horizontal.

Esta cocina no fue tan fácil de construir. Necesité listones de madera bien cortada, herramientas no habituales en un hogar (sierras de carpintería) y la ayuda de mi colega técnico de laboratorio (el Sr. Almudí, que aparece en la fig. 4). La estructura interna de la cocina se puede ver en la figura 4, lo más costoso de hacer, con diferencia, son los paneles inclinados interiores, los tacos que los sujetan y la puerta. El exterior de la cocina se cerró con madera y aislante de polietileno expandido (“polispan”), el cristal se dejó fijo y se hizo una puerta en uno de los laterales.



Figura 4: estructura del horno plano

No fue fácil probar esta cocina, ya que, al estar diseñada para recibir la radiación perpendicular, era difícil probarla en España (teníamos que inclinarla y usar un taco de madera para que la cazuela no se inclinase a su vez). Al probarla los resultados fueron algo decepcionantes. A pesar de tener un cristal de casi 1m^2 se alcanzaban poco más de 90° en un día de julio con radiación más que aceptable. Estudiamos las pérdidas de calor que tenía la cocina (tuvimos el lujo de contar con una cámara termográfica) y vimos que el aislamiento era muy deficiente. Las uniones entre el aislante y la madera, las maderas que quedaban al aire, los espacios entre el cristal y la madera, las juntas de la puerta....muchos puntos servían de puentes térmicos y bajaban de manera muy considerable la temperatura. En la figura 5 se puede ver cómo habíamos insertado el aislante.



Figura 5: aislamiento del horno plano.

Por ello me puse manos a la obra (como se puede ver en la figura 6) y decidí hacer un buen abrigo para mi cocina a base de recubrir todo el exterior de polietileno de alta densidad cubierto por el interior con cartulina reflectante (para evitar también las pérdidas por radiación).



Figura 6

El resultado final se puede ver en la figura 7, ya estaba la cocina bien abrigadita. Esta cocina llegó a alcanzar los 130° en el interior y cocinamos con ella unos garbanzos, pero... se nos quemaron los aislantes, porque en algunas zonas el polietileno estaba en contacto con la puerta y con listones de madera y chapas de metal que estaban en contacto con el interior del horno, y el punto de fusión del polietileno son apenas 80°.



Figura 7: horno plano.

Algún día tendré que tomar de nuevo esta cocina y solucionar el problema usando aislantes más resistentes al calor en las zonas interiores, pero de momento la he dejado aparcada. Habrá que tener cuidado porque el polietileno, al quemarse, desprende gases un poco tóxicos, poco aconsejables para cocinar con ellos. De todas formas, las lecciones aprendidas de esta cocina fueron muy interesantes y se pueden resumir en:

- El efecto invernadero es muy potente, pero requiere un aislamiento bueno
- En los hornos es de vital importancia no dejar ningún puente térmico por donde pueda escapar el calor.
- El polietileno es un material con unas capacidades térmicas muy interesantes, pero no se puede utilizar en las cocinas, sobre todo cerca de las zonas más calientes.
- Las superficies reflectantes son complicadas de hacer y la orientación es también problemática. Para los hornos solares es más interesante centrarse en el aislamiento que en la reflexión.

3. El horno 30-60

Este horno lo hicieron unos estudiantes de la Escuela de Ingenierías Industriales como parte de su proyecto fin de carrera (María Tasende y Guzmán Garrido y posteriormente lo mejoraron Luis Fernando Serrano y Gorka Rodríguez). Es un diseño copiado de internet (<http://www.terra.org/cocinas/search.php?fam=1>) y fue realizada también en el taller de la escuela y con chapas y listones cortados con sierras de carpintería.

En esta cocina construimos una puerta en la que se encajó el cristal haciendo un canalillo y se selló con silicona. Los aislantes interiores son de corcho natural y en la parte exterior se utilizó polietileno expandido. El exterior se selló con chapas de madera para protegerla de la humedad y los golpes. El interior de la cocina en el diseño original estaba recubierto de material reflectante, pero vimos que el rendimiento mejoraba cuando la pintábamos por

dentro de color negro. También se mejoró el rendimiento cubriendo la base y la superficie vertical del fondo con chapas negras de metal, y más todavía cuando dichas chapas estaban ligeramente separadas de la base de la cocina.

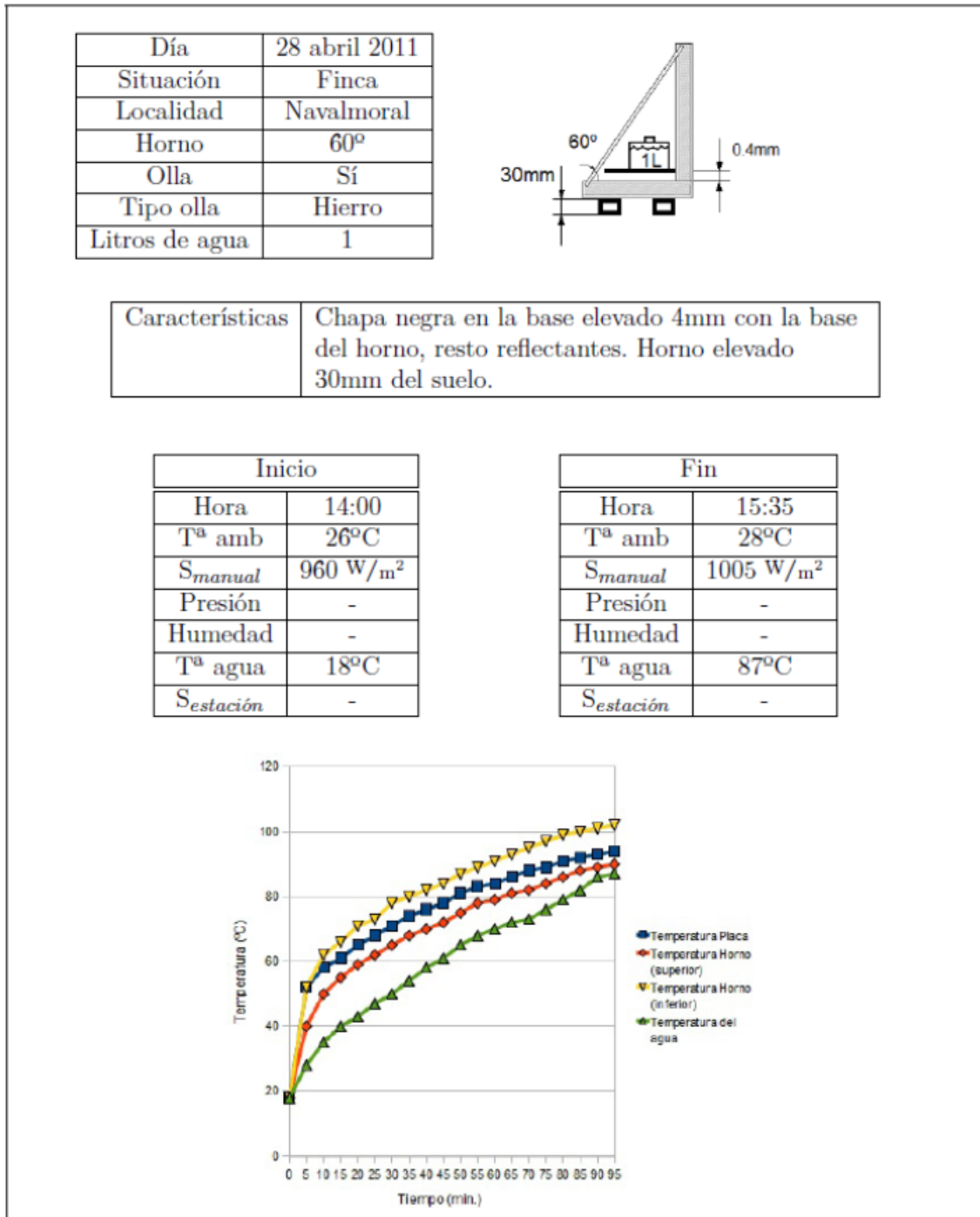


Figura 8a: uso del horno 30-60 con un litro de agua

En los experimentos realizados con esta cocina se sobrepasaban los 110-120° con el horno en vacío y se llevaba un litro de agua a ebullición en 1 hora y media y un bizcocho se cocinaba en una hora. En las figuras 8a y 8b se pueden ver algunas curvas de comportamiento y en la figura 9 una foto del resultado final (cocinamos dos pollos en unas cuatro horas y media, y, la verdad, quedaron muy bien).

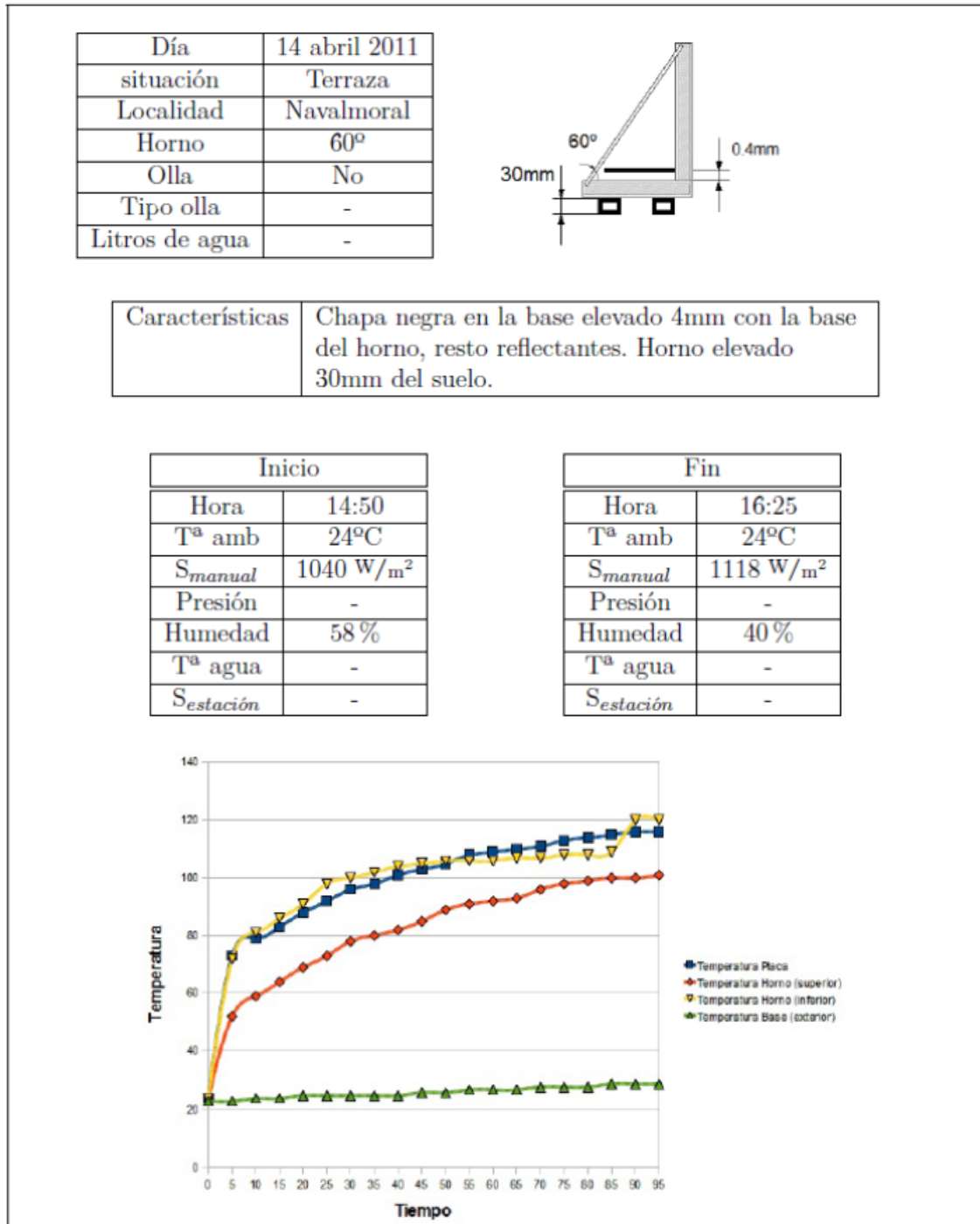


Figura 8b: uso del horno 30-60 en vacío.



Figura 9: horno 30-60.

En la utilización de esta cocina que he realizado en los meses de verano he podido comprobar que la temperatura que alcanza en el interior normalmente (y con el tiempo habitual en Valladolid en agosto) está alrededor de los 110°. Mejora mucho el funcionamiento si utilizamos alas reflectantes para aumentar la superficie de captación, se consiguen fácilmente los 120° (en la figura 10 se pueden ver las alas). Lo malo de estas alas es que es muy engorroso colocarlas y fijarlas al horno bien orientadas. Es un aspecto que tengo que trabajar más y quizá sea interesante tener alas más flexibles y que se puedan recoger y guardar fácilmente y tensar quizá con cuerdas (habría que estudiar esto mejor, porque las alas reflectantes son muy interesantes para los hornos).



Figura 10: horno 30-60 con alas reflectantes

Este horno es un buen invento. Se cocinan bien las carnes (y salen muy ricas con esa cocción tan lenta), no tanto las verduras (en realidad las verduras no se hierven en un horno), las patatas, el arroz... Es un horno lento y sería deseable que alcanzara algo más de temperatura (los 150° de los hornos convencionales a baja temperatura se echan de menos). Sin embargo creo que el principal inconveniente para el uso de este tipo de hornos en África es la dificultad de su construcción y los materiales usados. Las chapas de madera, el corcho, las sierras de carpintero....son cosas demasiado complicadas.

4. El horno de papel y barro

Buscando hornos que puedan ser contruidos con materiales realmente baratos y sencillos de trabajar pensé en utilizar barro (como material que soporta bien las altas temperaturas) y el papel (como aislante bastante bueno y muy barato). El primer horno que intenté construir se basaba en una estructura de madera similar a la del horno 30-60 (aunque algo más grande). La estructura de madera la rellené con adobe (de arcilla, arena y paja) formando la cavidad interna del horno. El resultado de estos intentos no fue muy bueno. No es tan sencillo hacer un buen adobe que no se agriete, pero además, como se puede ver en la figura 10, el adobe no se sella a la madera (ni al cristal), dejando grietas por donde el calor se escaparía. Intenté construir una puerta de adobe, pero el resultado fue muy malo y no se me ocurrió ninguna idea brillante. Pero, sobre todo, el horno que me estaba quedando pesaba muchísimo, demasiado para que la estructura de madera pudiera soportarlo. Un horno solar de barro no podría moverse del lugar de construcción y, evidentemente, tampoco podría ser cocido.



Figura 10: primeros intentos de construir un horno de barro y madera.

Después de este primer intento decidí empezar por el otro material y comenzar a hacer el horno de papel, usando una técnica que da muy buenos resultados: el papel maché. Lo primero que hice fue una estructura básica de listones de madera que se puede ver en la figura 11. Era la estructura que se me antojaba mínima para sujetar el cristal y separar un poco el horno del suelo. Corté los listones con una sierra de mano y los uní con escuadras metálicas y tirafondos usando un simple destornillador. Yo creo que alguien con un poco más de maña que yo podría hacer una estructura igual de buena con palos, clavos y cuerdas, sin necesidad de listones industriales ni escuadras.

La puerta la hice con una chapa de madera y unas bisagras. Ya había visto en anteriores cocinas que las puertas son los elementos más delicados y merece la pena usar madera para ello. Para hacer la puerta usé una sierra de calar eléctrica (no había usado nunca antes una), imagino que con una sierra manual se puede hacer también. Toda la estructura me llevó unas 8-10 horas.



Figura 11: estructura interna del horno de papel y barro

Una vez hecha esta estructura mínima empecé a recubirla con papel maché. La técnica de papel maché se basa en humedecer papel de periódico y colocarlo sobre la superficie a cubrir. A continuación se aplica una capa de cola blanca diluida en agua y después se añade otra capa de papel humedecido, cola de nuevo, otra capa de papel...etc. A base de sucesivas capas se va creando una superficie que, una vez seca, adquiere gran dureza y se adapta a la forma que nosotros le demos. En las figuras 12 y 13 se puede ver cómo fui haciendo el interior del horno con las capas de papel maché. En algunas capas añadí arcilla además de cola, para ahorrar un poco de cola blanca. El papel maché requiere bastante cola, es uno de sus inconvenientes, quizá se puede intentar sustituirla por arcilla o por engrudo de harina de trigo, aunque no sé si el engrudo es más caro o más barato que la cola en África.



Figura 12: primeras capas de papel maché



Figura 13: segundas capas de papel maché

Una vez hecha la estructura básica del horno y secas las primeras capas de papel maché, decidí recubrir la superficie exterior del horno con papel albal por eliminar las pérdidas por radiación, como se puede ver en la figura 14. También protegí las patas de la humedad con plástico.



Figura 14: aislamiento exterior con papel de aluminio

Después añadí una capa más de aislante por la parte externa. Esta vez intenté crear cavidades de aire que dieran realmente capacidad de aislamiento al horno. Para ello puse cartones y rollos de papel que creaban estas cavidades antes de poner las nuevas capas de papel maché, asegurándome siempre de no dejar agujerillos por los que se pudiera escapar el aire.



Figura 15: capas de aislante de papel

Una vez hecho esto, faltaba la parte más complicada: hacer la cavidad interna y conseguir que soportase temperaturas elevadas. Para esto necesitaba usar el barro, pero tenía que conseguir que el barro no se agrietase y que se adhiriese por una parte al papel maché, por otra a la madera de la estructura y por otra al cristal, sin dejar huecos. No se podía usar el barro solo y por eso pensé que había que introducir una fibra que le diera un poco más de consistencia al barro y no dejase que se agrietase, pero algo mejor que la paja. Se me ocurrió utilizar el propio papel, y machaqué papel de periódico en la trituradora, mezclándolo con agua, arcilla ...y añadiendo un poco de cola blanca (figura 16).



Figura 16: fabricación del adobe de papel

El resultado es una pasta (que he llamado adobe de papel) como la que se puede ver en la figura 16. Con esta pasta fui rellenando el interior del horno y el resultado fue sorprendentemente bueno. Una vez seca, esta pasta se adhería perfectamente al papel maché y no se agrietaba. Además adquiriría una consistencia muy dura y ligeramente plástica. ¡Era un material estupendo!



Figura 17: aplicación del adobe de papel al interior del horno

Cuando el adobe de papel estuvo seco lo pinté con témpera escolar negra. También probé a pintar una parte con carbón vegetal machacado mezclado con aceite, pero el resultado final fue muy malo, con el calor el aceite se descompone, se desprende el carbón y huele sospechosamente, no creo que los vapores sean muy saludables.

Quedaba ver cómo conseguía fijar y sellar el cristal. En un principio pensé sellar el cristal con silicona, para asegurar la estanqueidad, pero no fue necesario. Un cordón de una mezcla de barro y adobe de papel pegado a la madera y al cristal con cola blanca dio un resultado excelente. Se puede ver un detalle de la aplicación de este cordón en la figura 18 y a la autora en plena faena.... :)



Figura 18: aplicación del cordón de barro, adobe de papel y cola para sellar el contacto con el cristal

Las últimas operaciones consistieron en poner el cristal encima del cordón, poner unos tornillos para sujetar mejor el cristal a la madera, sellar bien los huecos con barro y cola, y también añadir las últimas capas de papel maché con huecos de aire para aislar todas aquellas zonas en las que la estructura de madera quedaba más en contacto con el exterior (especialmente delicada resultaban las zonas altas y cercanas al cristal).

Una vez puesto el horno al sol se podía apreciar cuáles eran las zonas por donde el calor se escapaba, porque se calentaban, mientras que las zonas bien aisladas permanecían prácticamente a temperatura ambiente mientras en el interior la temperatura rondaba los 100 grados. El aspecto final del horno se puede ver en la figura 19. En la figura 20 se puede ver que se superan los 110 grados (con 23º en el exterior) a la sombra de la cazuela (al sol el termómetro marcaba más de 120º, pero es posible que se deba a la radiación directa sobre el termómetro).



Figura 19: aspecto final del horno de papel y barro



Figura 20: temperatura alcanzada dentro de horno

El resultado es bastante aceptable teniendo en cuenta los materiales que hemos usado, pero yo creo que este horno puede alcanzar temperaturas mucho mayores. Hay varias cosas que pueden mejorarse. En primer lugar hice los experimentos cuando el horno todavía no estaba bien seco y se notaba que se evaporaba agua. En segundo lugar, el aislamiento de la puerta que hice era muy malo y quedaban huecos muy grandes sin aislar que no me dio tiempo a ajustar bien con el papel maché, y en tercer lugar un horno tan grande como este se merece una tercera capa de aislante que consigo abrigarle bien y darle toda la potencia que puede tener (hay que conservar una proporción entre el volumen del horno y del aislante).

Yo creo que con todas esas mejoras este horno puede conseguir los 150°. Quizá soy muy optimista con mi "criatura", pero a mi, sinceramente, me gusta mucho cómo funciona. Si lo comparamos con el horno 30-60, se nota que éste tiene más inercia térmica (el barro acumula calor), tarda un poco más en calentarse pero luego se nota que cede más calor también (da la impresión de ser más potente).

Desgraciadamente no tuve tiempo de cocinar con este horno ni de hacer muchas pruebas, se me acabaron las vacaciones. Los sospechosos vapores que soltaba el aceite quemado (creo que era el aceite, pero no puedo asegurarlo) no me gustaban, así que debería esperar a que el horno secase bien y a limpiar el aceite con carbonilla y pintar con témpera (que, creo, soporta bastante bien el calor).

El horno, pese a ser grande y aparatoso, es muy ligero, prácticamente todo su peso se debe al cristal. Sin embargo, he pensado que estos hornos deben pensarse para estar todo el año a la intemperie y que sería interesante construirle un tejadillo y unas paredes que lo protegieran. Sin embargo no creo que sea buena política intentar recubrir el horno con plásticos o similares que lo impermeabilicen, porque de esa forma también se acumularían humedades en el interior del papel y eso podría pudrirlo fácilmente. Imagino que el aislante debe estar siempre bien ventilado...pero eso será otro tema largo de investigar.

De todas formas este experimento demuestra que podemos hacer hornos solares que superan los 110 grados con materiales realmente baratos como el papel, el barro, la cola y un cristal. Fabricar el horno fue un proceso laborioso que me llevó unos 10 días trabajando unas 3-4 horas al día. Las sucesivas capas tardan en secar y es un poco largo el proceso, pero también es muy sencillo y lo puede realizar hasta un niño.

Sin embargo, creo que, si empezase a hacer un horno de adobe de papel ahora, no lo haría como este. Creo que la estructura interior de madera no hace falta. Si usamos una caja grande de cartón y la vamos cubriendo de adobe de papel creo que podríamos tener una estructura suficientemente resistente como para poner el cristal sobre ella. La puerta se podría hacer también con cartón y adobe de papel, ajustando bien el contorno, porque el adobe de papel se adapta bien a los huecos. Una vez hecho esto, el aislante exterior se puede ir añadiendo, siendo quizá la parte más complicada, el conseguir ponerle unas patas que aíslen bien del suelo y no cedan ni se deformen (quizá con unas tablas de madera longitudinales). Quizá se pueda utilizar menos cola, pero no veo la manera de sustituir el cristal por un material más barato. En fin, espero tener tiempo para probar todas estas cosas algún día.