

CERÁMICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA: SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO PASIVOS Y ACTIVOS

**V. Echarri Iribarren, J.M. García Cortés,
A. B. González Avilés, F. J. López Rivadulla**

Cátedra Cerámica de la Universidad de Alicante

Grupo de Investigación Tecnología y Sostenibilidad en Arquitectura

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunas soluciones de sistemas de acondicionamiento pasivos y activos en los edificios, en los que los materiales cerámicos juegan un papel esencial. Su durabilidad y ausencia de mantenimiento los hacen idóneos para implantar estos sistemas de acondicionamiento ambiental. El control de su porosidad le permite incluso colaborar en el descenso de temperatura interior mediante el efecto botijo, y así intervenir en posibles sistemas de refrescamiento en régimen de verano. Se expone un sistema de piezas cerámicas por extrusión con efecto botijo, un sistema de refrescamiento de fachadas de doble piel de vidrio con piezas cerámicas en su interior y pulverización de agua, una pieza cerámica calefactada para abrazar, unos parasoles verticales con panel fotovoltaico en una de sus caras y control domótico, unas toberas cerámicas que se abren o cierran en función de la presión del aire y una solución de recirculación de aire en muro trombe mediante piezas cerámicas esmaltadas.

1. INTRODUCCIÓN

En la Cátedra Cerámica de Universidad de Alicante estamos comprometidos con la búsqueda de sistemas de acondicionamiento que conlleven ahorros energéticos en el uso de los edificios. Entendemos que el posicionamiento de los materiales cerámicos frente a este reto ocupa un lugar de privilegio. Además de la racionalidad de su proceso de fabricación en términos energéticos, y de ser un material universalmente utilizado desde tiempo inmemorial, la economía de su producción, su durabilidad y ausencia de necesidad de mantenimiento los hacen idóneos como material de construcción para implantar sistemas de acondicionamiento pasivo y activo en los edificios. El control de su porosidad le permite incluso colaborar en el descenso de temperatura del agua contenida mediante el paso de vapor de agua –efecto botijo– y así intervenir en posibles sistemas de refrescamiento en régimen de verano. A continuación se exponen algunas de las líneas de investigación desarrolladas.

2. GRES-BOT

Los sistemas de refrescamiento de espacios por superficies radiantes se presentan como una solución más confortable y conveniente para la salud de las personas, incluso con ahorros energéticos nada despreciables. La temperatura operativa de acondicionamiento se obtiene principalmente a través de la semi-suma dos parámetros: la temperatura del aire y la temperatura radiante media de los paramentos que conforman el espacio. El proyecto Gres-BOT consiste en un sistema de piezas cerámicas prismáticas fabricadas por extrusión de sección cuadrada. En su interior, a través de una red de tubos se hace un aporte de agua. Por efecto botijo el agua pasa a vapor a través de los poros de la cerámica, con el consiguiente descenso de temperatura del agua y de la superficie de las piezas cerámicas. Dado que el aumento de humedad relativa es muy desfavorable para una correcta climatización, este sistema debería tener una permanente e importante ventilación natural. Para climatizar en régimen de invierno, se elevaría la temperatura del agua a través de paneles solares y caldera de apoyo, con aumento de la temperatura de la superficie cerámica. La regulación de la circulación de agua y/o estancamiento en régimen de verano se regula a través de válvulas termostáticas y electroválvulas.

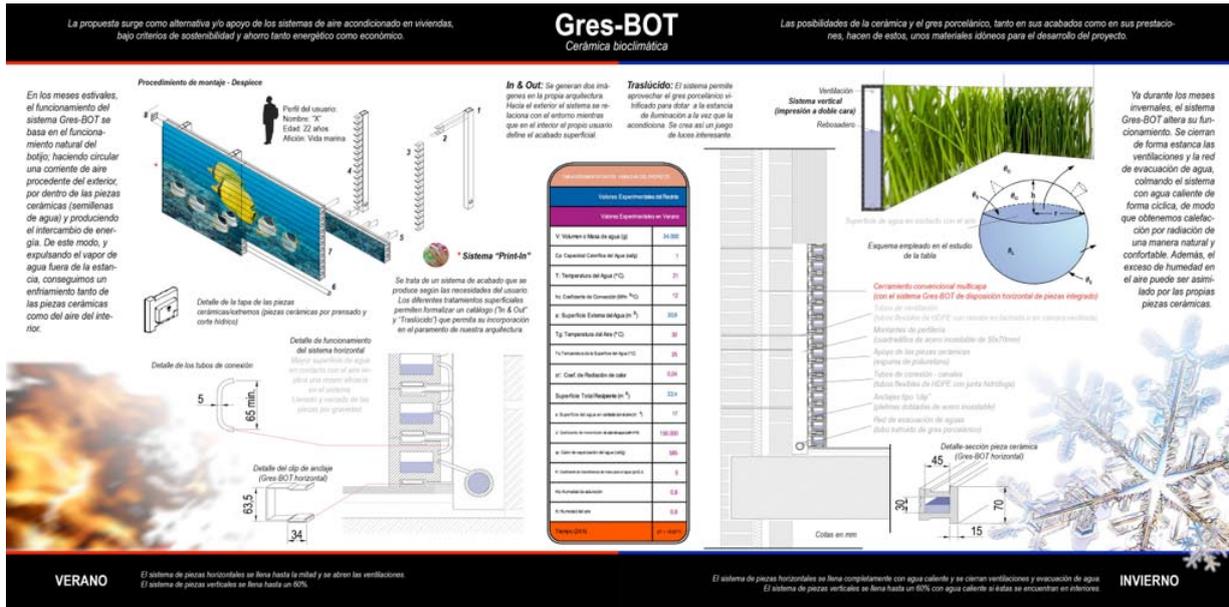


Figura 1.

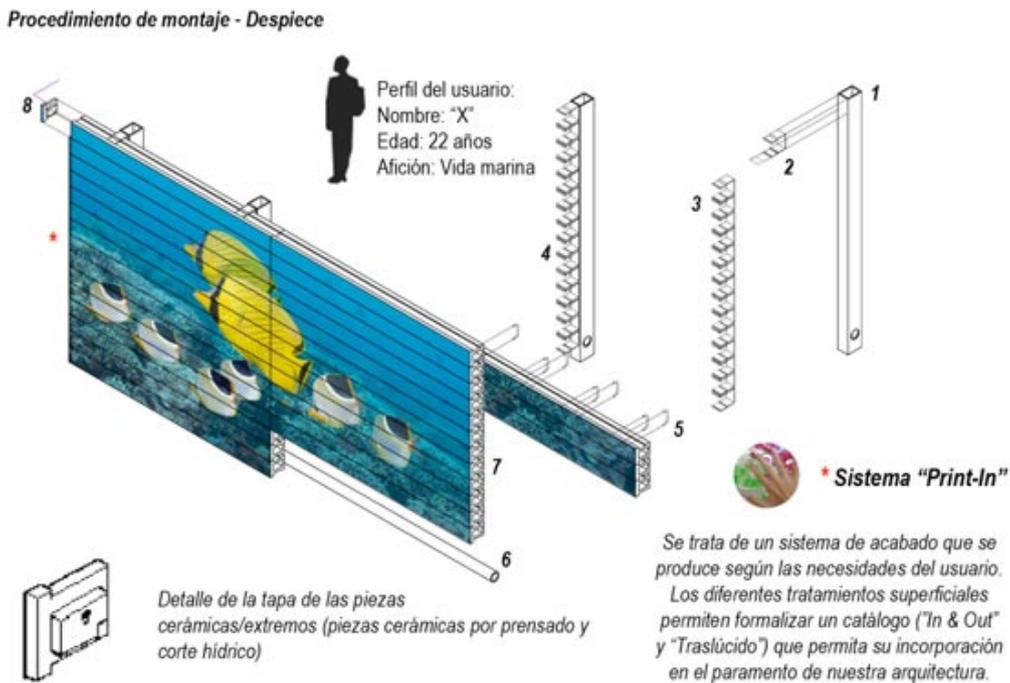


Figura 2.

La pieza extruida permite también alojar en su interior arena. El proceso de aporte de agua humidificaría la arena del interior. El sistema dispondría de mayor inercia térmica y aislamiento acústico. Mediante el proceso de evaporación del agua a través de los poros de la cerámica se producirá una disminución de la temperatura de la arena, y por tanto de la cerámica. La cuantificación del descenso de temperatura en la cámara de arena puede estimarse siguiendo el modelo desarrollado por M. Bah Abba [1] según el cual se obtienen descensos de temperatura interior-exterior de hasta 14 °C, captados mediante sensores de 1 a 1023 partes de medición, según se observa en el gráfico. Mientras la temperatura exterior es de 28 °C, en el interior es de 15 °C.

Cambios de temperatura dentro y fuera del refrigerador "pot-in-pot"

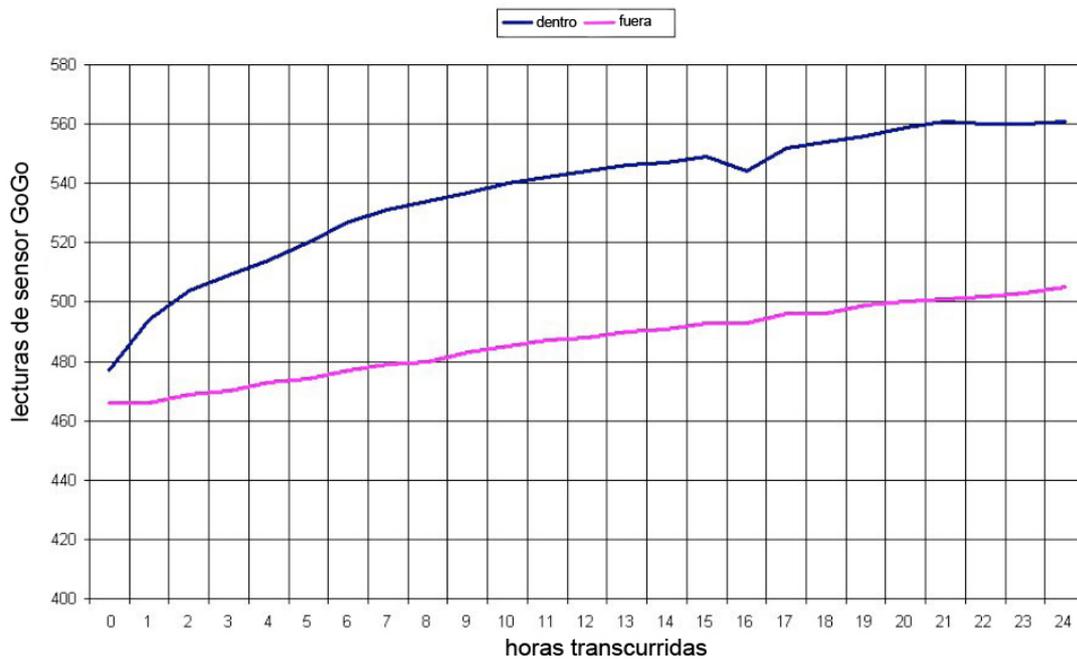


Figura 3.

Tiempo después de arrancar el Evaporation-driven Refrigerator	Temperatura interior del recipiente (°C)	Temperatura del aire exterior (°C)
15 minutos	23.7	23.8
20 minutos	23.6	24.0
30 minutos	23.2	23.8
40 minutos	21.7	24.7
1 hora	21.0	24.8
1 hora 15 minutos	20.4	25.0
1 hora 30 minutos	20.1	24.7
1 hora 40 minutos	19.9	24.7
2 horas 30 minutos	19.5	24.0
2 horas 40 minutos	19.4	24.4
13 horas	19.4	25.0

Tabla 1.

3. TORRE DE DESTILACIÓN

El objeto de la investigación surge de la necesidad de procurar fachadas de vidrio en las que se controle de modo natural el aporte solar por radiación. Inspirado en el efecto producido en las torres de destilación, surge este sistema constructivo consistente en una doble piel de vidrio que almacena un entramado tridimensional cerámico en su interior. Las piezas cerámicas, al igual que sucede en las torres de

destilación, se han diseñado en forma tórica para conseguir con la mínima materia la máxima superficie, y conseguir así un mayor intercambio energético entre la masa de aire que circula por la cámara y el entramado de piezas cerámicas. De esta forma se maximiza el rozamiento con la superficie y el aire tarda más tiempo en ascender por la cámara, mejorando en ella la temperatura de confort y ganando en estabilidad a lo largo de la altura del edificio.

Este sistema se combina también con la presencia de forjados humectantes, que vaporizan agua y reducen ostensiblemente la temperatura de la cámara al evaporarse. El resultado final es una celosía cerámica que controla la radiación solar, permite la luz natural, y libera energía de radiación solar mediante la circulación del aire a través de aperturas controladas, el rozamiento y el calor de vaporización de la humedad aportada por el sistema en los frentes de forjado.

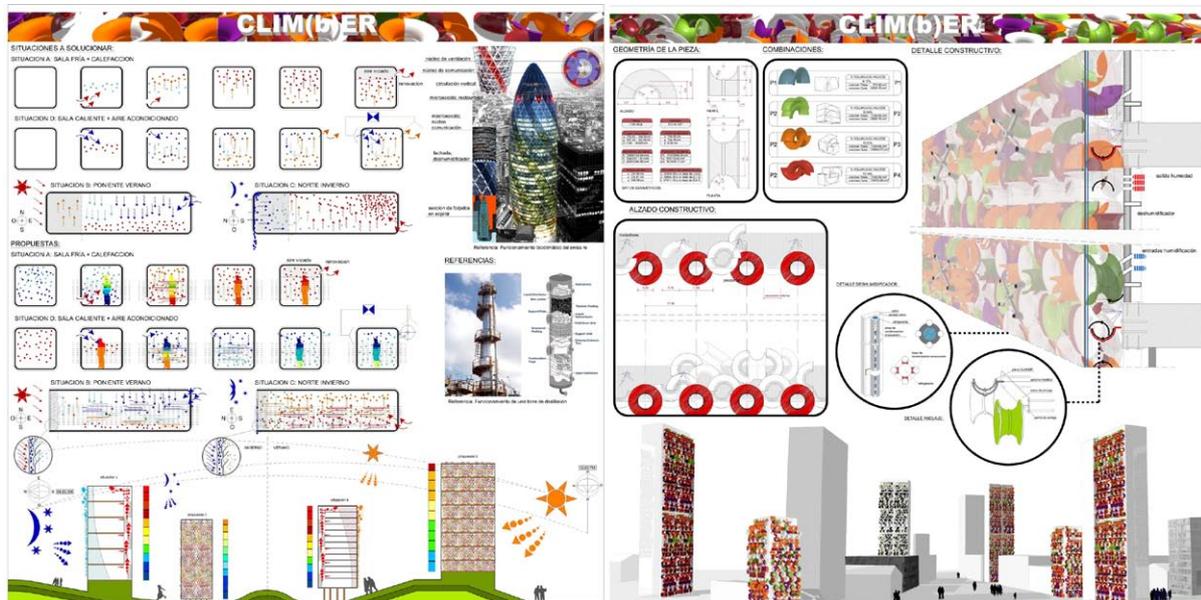


Figura 4.

3.1. Concepto: la torre de destilación.

La función de una torre de destilación es separar componentes en estado líquido que se encuentran mezclados: el mecanismo es sencillo cuando dichos componentes poseen puntos de evaporación y condensación muy diferentes entre sí, pero cuando dichos parámetros son similares, conseguir la temperatura adecuada se convierte en un proceso complejo. El material incorporado como sistema en su interior se contempla como una serie de piezas de gran rozamiento al paso de los flujos de aire a través de la torre; no impide dicho flujo, pero sí retarda su tiempo de ascenso o descenso, con lo que provoca el intercambio de calor entre las masas de aire muy frío descendentes y muy caliente ascendentes, lo que genera esas temperaturas intermedias necesarias para conseguir la destilación de la mezcla.

Las segregaciones térmicas que se producen en los edificios en altura por el ascenso de las masas de aire caliente a través de los núcleos de comunicación son habitualmente importantes [2], y las sedimentaciones de aire demasiado caliente y

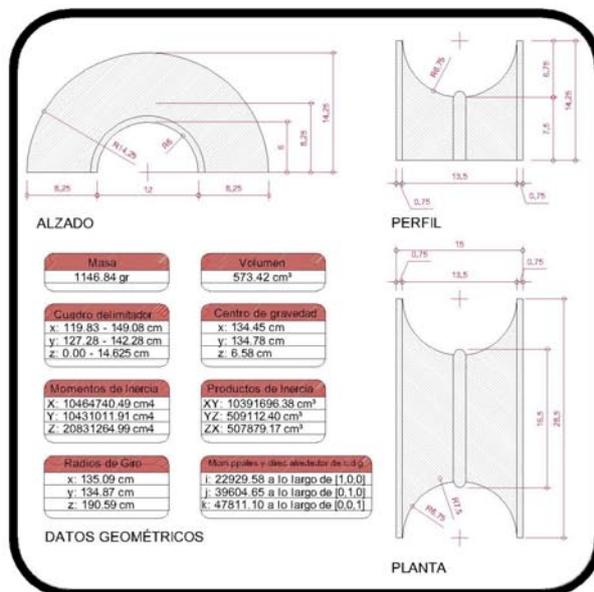
húmedo en las plantas superiores y seco y frío en las inferiores crea polarizaciones en el interior de los edificios en altura. Este efecto nocivo suele subsanarse con el incremento de uso de la energía en forma de calefacción o aire acondicionado.

La propuesta consiste, pues, en crear un dispositivo que haga frente a las cuatro situaciones críticas que se generan, dependiendo del tipo de exposición a que se encuentre sometido el edificio (fachada norte en invierno, o poniente en verano y zona calurosa, etc.). Dicho dispositivo se conforma a partir de tres componentes: el forjado humectante, los canales deshumidificadores, y el relleno de rozamiento.

3.2. Relleno de rozamiento.

Consiste en una serie de piezas cerámicas cuyo diseño busca optimizar su rendimiento térmico a través de elementos que consigan, por su geometría, la máxima superficie de contacto con el aire y la humedad, teniendo a su vez el máximo volumen de huecos, para evitar condensaciones inesperadas en puntos no deseables del interior de la cámara de fachada. Dichas piezas tratarán de ralentizar el tiempo que el aire caliente tarda en ascender, así como la máxima mezcla posible cuando sea necesaria (poniente en verano) con la humedad incorporada a la cámara. De esta forma mejora la temperatura de confort en la cámara, y su estabilidad a lo largo de altura del edificio.

GEOMETRÍA DE LA PIEZA:



COMBINACIONES:

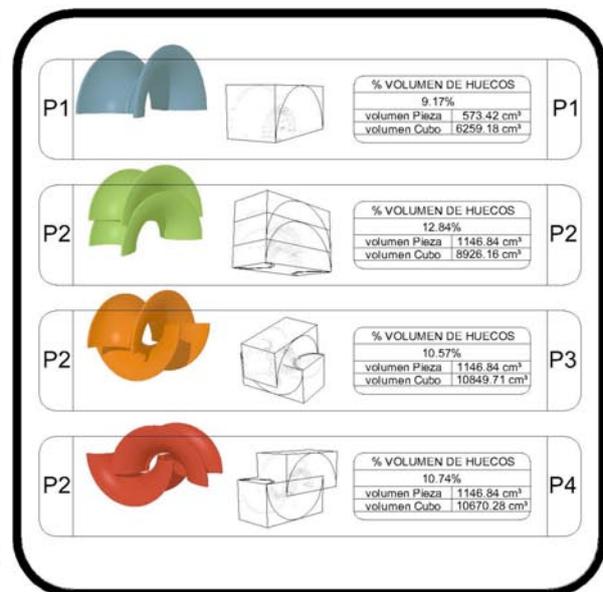


Figura 5.

3.3. Forjados humectantes.

La fachada consiste en un entramado de relleno cerámico a través del cual circula un sistema de refrigeración por agua que es vaporizada en los frentes de forjado. Para ello se dispone un sistema de distribución de agua a través de tuberías de polipropileno que discurren a lo largo de los frentes de forjado. Se consigue

así, por efecto del soleamiento de las fachadas de poniente, la evaporación de parte de dicha agua de refrigeración, y el consiguiente efecto paliativo del exceso de calor de dicho soleamiento, al absorberse parte de dicho calor en la evaporación del líquido refrigerante. Dicha cámara, con aspecto vegetal gracias al entramado cerámico, tiene un sistema de ventilación controlado mediante aberturas en la parte inferior y superior para evacuar el vapor de agua producido y disipar el aire caliente.

3.4. Imagen.

Por su parte, la imagen arquitectónica conseguida es la de una gran celosía casi "vegetal", que puede tener un cierto diálogo con la ecología y el paisaje no sólo en el sentido formal, sino en su comportamiento. Una característica interesante es su capacidad para ser parametrizable en cuanto a criterios de color, sabiendo que a cada color le corresponde una determinada absorción de calor.

4. PIEZA CERÁMICA PARA ABRAZAR

La idea surge como inspiración en los sistemas tradicionales de calefacción mediante ladrillos cerámicos introducidos en la chimenea de los hogares rurales, que sirven posteriormente para calefactar las estancias dormitorio en fase nocturna. La idea surge del recuerdo de una niñez en el norte, de un sistema tradicional que hace que el hogar sea el elemento indiscutible del habitar. El sistema consiste en colocar a media tarde ladrillos cerámicos o piedras dentro de la chimenea, las piedras se van calentando durante la tarde para poder extraerlas de noche e introducir las en la cama para poder dormir plácidamente mientras los ladrillos emiten el calor que ha ido recibiendo.

El sistema consiste en una pieza cerámica refractaria esmaltada con importante inercia térmica, de forma elipsoidal, fabricada por colado, que incorpora un circuito impreso de material conductor en su interior. Dicha pieza contiene un sistema de conexión eléctrica para acumular energía durante el día. Su masa posibilita acumular energía calorífica para cederla posteriormente durante el intervalo de tiempo requerido. Dicha pieza extraíble puede colgarse de la pared con un sencillo sistema de anclaje que facilita de manera inmediata la conexión con el circuito eléctrico.



...a la cama

cerámica refractaria
coloreada laca



Al amor de la lumbre

Dulcísima vanas Homens

*Al amor de la lumbre cuyo llama
como una cresta de la mar ondul.
Te ojo fuera la lluvia que gela
sobre los chapos. Presiosa el ama
sopa ordenar se me temple la coma
con volunteria. En tanto la Odisea
mundo y calla de mi pecho orca
de sus ficciones con la rica trama
preparándose el sueto. El castaño
que más de cien generaciones de hoja
criara y vio morir, cabe el escote
abrazándose el tronco con su raja
brasa me reconforta. Dulce engaste
la tallado de mi inquietud afloja!*

Miguel de Unamuno

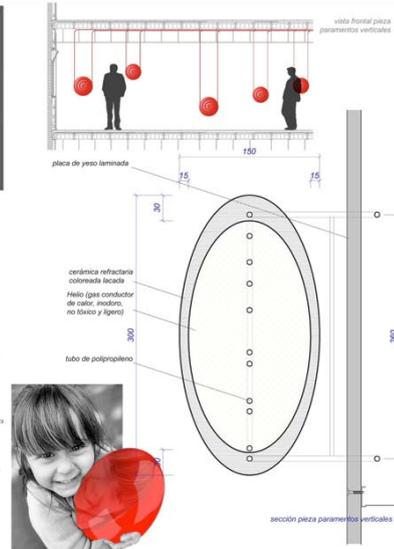


Figura 6.

Otra variante del sistema consiste en utilizar un circuito de agua caliente para calentar la pieza. Mediante tubos flexibles se conectaría la pieza al dispositivo de anclaje en la pared mediante junta de enchufe rápido "clic & cool", utilizada por ejemplo en las tramas capilares KaRo [3]. En la fase de fabricación, posteriormente a la cocción, se introduciría en el interior, a través del hueco existente para el vertido de la pasta, un serpentín de tubo de polipropileno. El espacio interior se rellena de helio, gas conductor del calor, inodoro y no tóxico. Se cerraría el hueco con otra pieza cerámica esmaltada.

5. GIRAPLAX

El sistema consiste en una solución de piezas cerámicas para fachadas, y se inspira en la forma de un ábaco de cálculo tradicional. Las piezas cerámicas se encajan en un eje vertical sobre el cual éstas pueden girar. Podrían adoptar diversas secciones -rectangular, poligonal, ovoide- y longitudes, pero se ha trabajado principalmente con prismas triangulares. En una de sus caras se coloca una placa fotovoltaica que produce energía eléctrica [4]. Al poder girar sobre su eje, la placa se puede orientar a lo largo del día para un mayor rendimiento energético del

sistema, mediante un automatismo de seguidores solares. Además proporcionan una imagen cambiante del edificio a lo largo del día, hasta caer la noche, cuando la pieza mostraría sólo su parte cerámica.

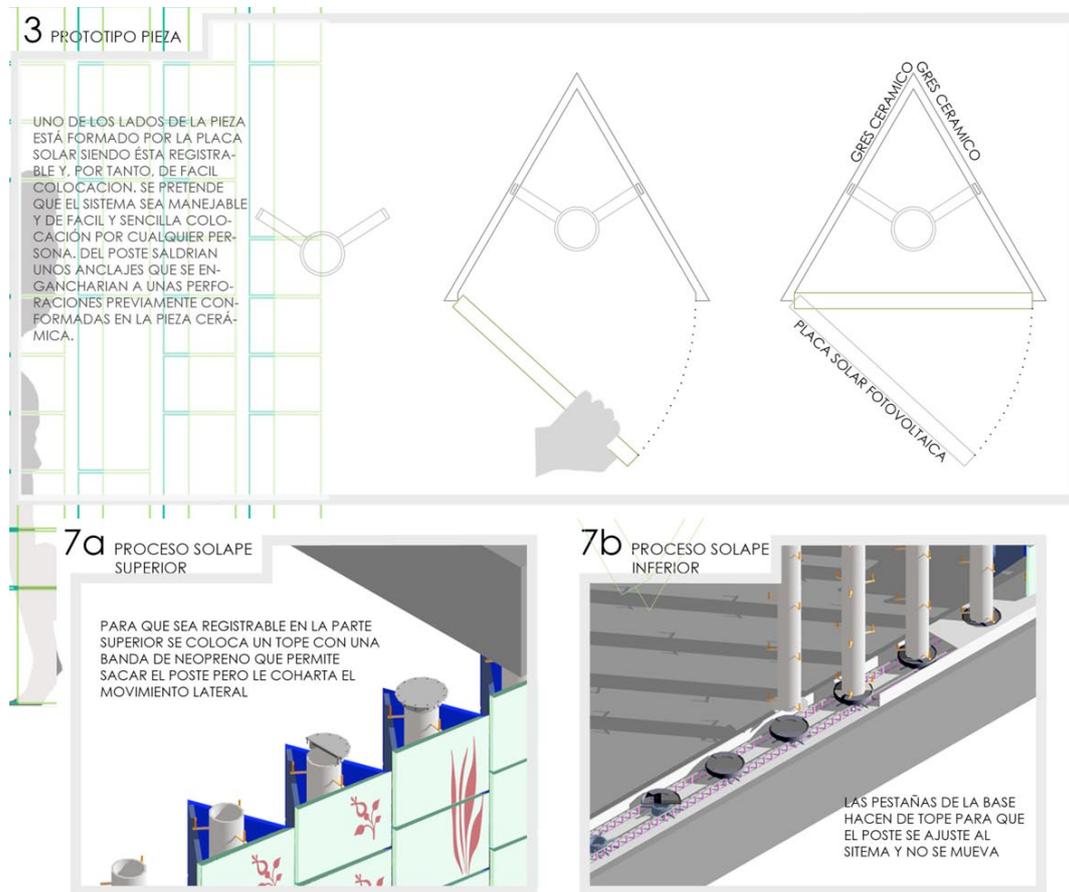


Figura 7.

La placa fotovoltaica tiene un tamaño medio de 20x20cm. Hemos elegido un modelo que tiene una producción energética de 1000 W/m² a 25°C, con una eficiencia del 16%, por lo que cada pieza puede llegar a producir unos 40W de potencia, y cada columna de piezas unos 560 W [5]. Esto implica que una fachada con este sistema puede producir la energía necesaria para el funcionamiento autónomo de la red general en el caso de un edificio de viviendas, así como cubrir la iluminación de los espacios comunes del edificio.

Las piezas cerámicas son registrables. Se pueden abrir por la cara de la placa solar para encajarse al eje, un tubo metálico. Se sujetan por gravedad gracias a unos anclajes incorporados en el tubo. Son fáciles de mover en caso de mantenimiento o recambio de piezas. Las instalaciones eléctricas quedarían ocultas en el interior del tubo. El tubo metálico va encajado en la base por un sistema de pestañas, que al girar, queda encajado e impide el movimiento fuera de su eje. El giro de las piezas funciona por medio de un motor que hace girar una cadena oculta por una caja en la base del sistema. La cadena hace girar simultáneamente

todos los tubos de una fila por medio de una rueda dentada situada bajo la base de cada tubo, del mismo modo que una rueda de una bicicleta. Todas las hileras están conectadas a un sistema domótico que permite el control simultáneo de todo el sistema según la radiación solar percibida, o a voluntad del usuario.

Del mismo modo las piezas pueden tener multitud de colores y texturas, pudiendo jugar con el movimiento del sistema y la luz cambiante a lo largo del día para conseguir efectos sorprendentes. Las técnicas modernas de estampación en cerámica podrían permitir incluso poder usar las fachadas como reclamos publicitarios imprimiendo en cada cara de la pieza una parte del diseño deseado para conseguir diseños cambiantes. El resultado final del sistema, es que el usuario puede regular la entrada de luz natural y ventilación, al tiempo que se capta energía eléctrica, con el máximo rendimiento gracias a los seguidores solares.

6. DIAFRAMICA

Una línea que despertó nuestro interés desde el comienzo fue la posibilidad de utilizar la cerámica como material capaz de permitir el paso del aire en el interior de los espacios. Los materiales más universales en esta función son los metálicos, por evidentes razones. Pero entendemos que algunas propiedades de la cerámica la hace idónea también en este campo.

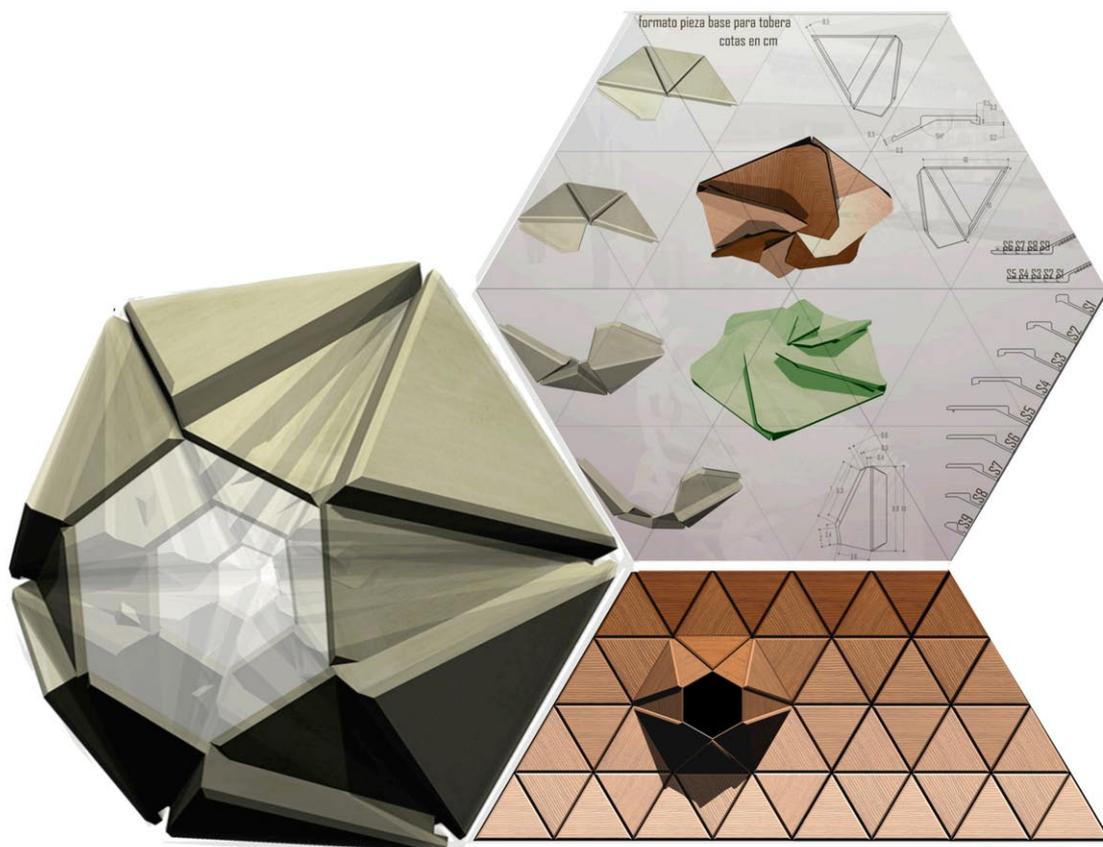


Figura 8.

Elegimos la tobera como campo de experimentación. Al pensar en el diseño de una tobera, queríamos huir de la idea y forma convencional de embudo, como elemento estático y pasivo, dentro de la instalación de aire acondicionado. Nuestro elemento debía erigirse como el protagonista de la instalación, expresando por sí mismo el funcionamiento del sistema. Una estructura triangulada, compuesta por seis piezas iguales esmaltadas fabricadas por moldeo. Todas ellas se maclan por una especie de machihembrado que permite el deslizamiento de una sobre otra cuando el aire de impulsión ejerce una mínima presión. En cuanto la presión de salida del aire acondicionado cesa, un muelle devuelve el sistema a su posición de reposo, con la abertura hexagonal completamente cerrada.

Pensamos en la tobera como un ser orgánico, vivo. De esta manera expresa su funcionamiento abriéndose como un diafragma al paso del flujo de aire y cerrándose con el cese de aire. A través de sus venas circula aire. Un ser vivo y palpitante que se mueve mediante impulsos, impulsos provocados por la presión que el aire genera sobre ella.

7. MURO TROMBE

El muro Trombe es un sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta, que se utiliza para el calentamiento interno de viviendas en fase nocturna, utilizando transferencia de calor de un muro de suficiente inercia térmica al aire interior de un espacio. Este muro trabaja absorbiendo radiación solar en la cara exterior mediante efecto invernadero y transfiriendo este calor a través de la pared por conducción. El muro debe tener suficiente capacidad calorífica (C_p) y espesor para acumular energía suficiente. Los materiales más habituales son piedra, cerámica y hormigón. Los espesores varían entre 20 y 45 cm (tabla 1). La superficie del muro van en función de la superficie del espacio interior a calefactor (tabla 2). Delante del muro se dispone una cámara cerrada de aire conformada por una superficie de vidrio, de entre 20 y 50 cm. de espesor, a modo de un colector térmico solar. La superficie del vidrio debe estar entre un 7-12 % del área de la casa. El sistema se orienta hacia la incidencia solar, entre 5° y 15° del sur verdadero, y por efecto invernadero la energía de radiación se acumula en el muro. Este se va calentando progresivamente a lo largo del día. Su espesor debe ser tal que su conductividad térmica (k), efusividad (ϵ) y difusividad (a) impidan la entrada de calor al interior de la estancia durante el día. Durante la noche, en los meses en que se demanda calefactar el espacio interior por descenso de la temperatura exterior, mediante aberturas en la parte superior e inferior del muro, el aire de la estancia se recircula por la cámara introduciendo el calor acumulado en el muro por efecto chimenea. La energía acumulada por el muro debe ser suficiente para mantener una temperatura media en el interior de 18°C a 20°C durante 24 horas.

Material	Espesor recomendado (cm)
Adobe	20 - 30
Ladrillo	25 - 35
Hormigón	30 - 45

Tabla 2.

$$\alpha = \frac{K}{\rho \cdot c_p} \qquad e = \sqrt{(k\rho c_p)}$$

Ecuación 1.

Tª media exterior de invierno	Superficie de pared necesaria por unidad de superficie útil
	Muro
Climas frío	
-10 °C	0.72 > 1.0
-7 °C	0.60 - 1.0
-4 °C	0.51 - 0.93
-1 °C	0.43 - 0.78
Climas templados	
+2 °C	0.35 - 0.60
+5 °C	0.28 - 0.46
+7 °C	0.22 - 0.35

Tabla 3.

Nuestro planteamiento consiste en utilizar la cerámica no solo como elemento de acumulación energética en el muro trombe, sino también como material con el que permitir la apertura y cierre de las corrientes de convección. Diseñamos un conjunto de piezas cerámicas con referencia formal de trompeta. De modo que éstas se encuentran en las perforaciones del muro, quedando la parte mayor atrapada en la cámara de aire. Las trombetas pueden moverse manualmente a gusto del usuario de forma que, pegadas al cristal, no dejan pasar el aire y, separadas de él, permiten el flujo de aire caliente durante la noche.

Para el dimensionado de los orificios la experiencia dicta que su área debe ser suficiente para garantizar un flujo uniforme y constante, sin producir movimientos bruscos del aire circulante. Se sugiere que debe tomarse como superficie total de las perforaciones de una hilera, aproximadamente 1dm² por m² de muro, o sea, un 1 % de la superficie del muro. Con este dato y, sabiendo que la máxima longitud de la fachada ha de ser de 8m para que se consiga calentar el espacio interior, propusimos 16 "trombetas" en la parte superior y otras 16 en la parte inferior, con un diámetro de 10 cm de abertura, de modo que consiguiéramos que la superficie perforada fuese aproximadamente de 1 dm² por cada m² de superficie del muro.

$$A_1 + A_2 + \dots + A_n = \frac{L \times H}{100}$$

Ecuación 2.

Además los orificios de un muro Trombe, para su correcto funcionamiento, deben estar a una distancia mayor de 1,5m entre ellos. Nuestra propuesta consiste en piezas de diámetros variados, con separaciones en altura entre 1,50 y 1,80 m.

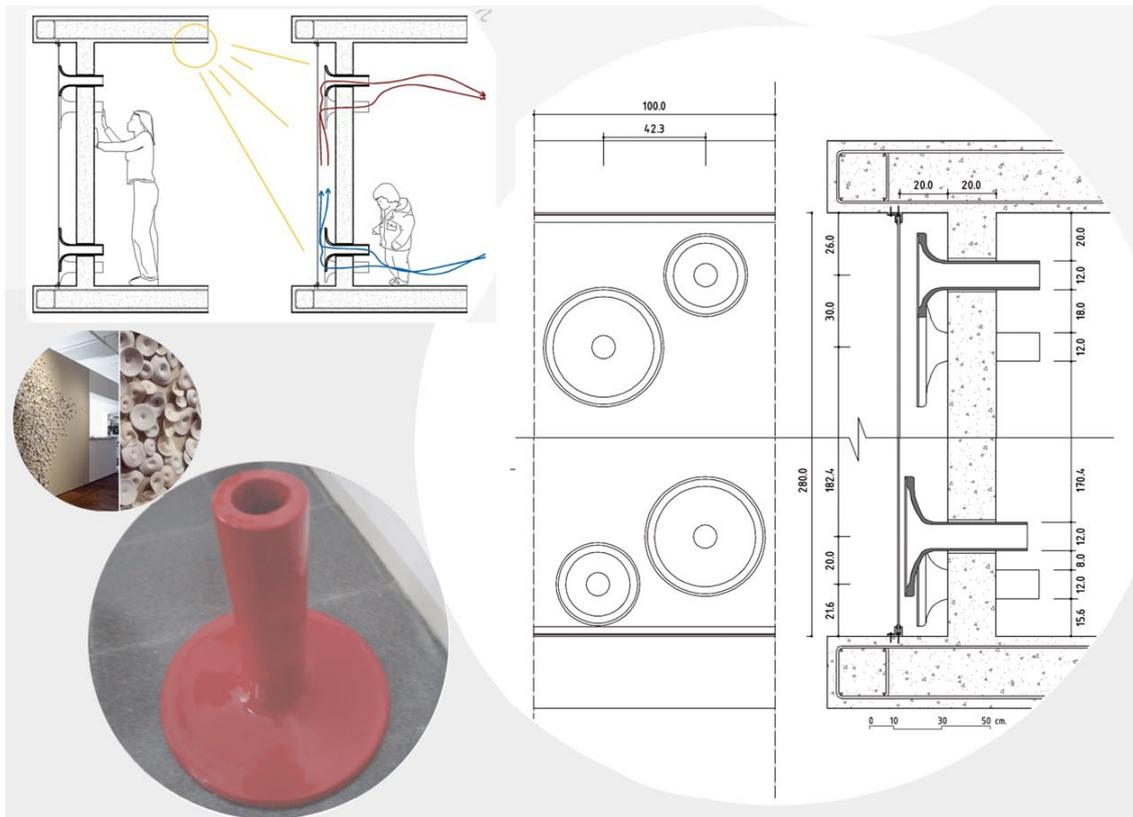


Figura 9.

8. CONCLUSIONES

A pesar de que las soluciones presentadas todavía no han sido prototipadas y, por tanto, estudiado su funcionamiento y cuantificación de eficiencia energética, podemos concluir que los materiales cerámicos, por su efusividad, porosidad variable que permite una casi nula absorción o el efecto botijo, elevada inercia térmica, adaptación a las más variadas formas y superficies, durabilidad, ausencia de mantenimiento y economía de fabricación, pueden colaborar de manera eficiente a crear soluciones sostenibles y eficientes energéticamente [6][7] en el acondicionamiento arquitectónico y urbano [8]. Los materiales cerámicos pueden utilizarse tanto en sistemas pasivos como activos de acondicionamiento, tanto en sistemas de elevado soporte tecnológico como en otros bioclimáticos [9], contribuyendo a crear una arquitectura más sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BAH ABBA, M. Evaporation-driven refrigerador. Jigawa Polytechnic University of Dutse (Nigeria). Popular Science, January 2001.
- [2] J. MARTÍ-HERRERO, M.R. HERAS-CELEMIN. Dynamic phisical model for a solar chimney. Sol. Energy 81, 614-622, 2007.
- [3] KaRo Systems España. www.karo.es
- [4] SCHITTICH, Ch. (ed.). Arquitectura Solar. Edición número especial DETAIL. Birkhäuser. Edition Detail.
- [5] MAZRIA, Edward. El Libro de la energía solar pasiva. Ediciones G. Gili S.A., México 1983.
- [6] ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip. Cities for a smallll planet. Faber & Faber Limited, London, 1997.
- [7] CUCHÍ, Albert. Las Claves de la Sostenibilidad, en SOLANAS, Toni (coord.). Vivienda y Sostenibilidad en España, vol. I. Gustavo Gili. Barcelona, 2007, pp. 19-20.
- [8] YEANG, Ken. Ecodesign. A Manual for Ecological Design. John Wiley & Sons, Ltd. London, 2006, p. 414.
- [9] FOSTER, Norman. "Preface. 3rd European Conference on Architecture. Solar Energy in Architecture and Urban Planning". Proceedings of an International Conference. Florence, 1993, p. III.