



CLIMATE CONCRETE- PREFABRICATED SOLUTION FOR BIOCLIMATIC FACADE DESIGN

Oriol PARÍS (Autor 1)

Dr. Arquitecto. Universidad Internacional de Cataluña. oparis@uic.es

Zuzana PROCHÁZKOVÁ (Autor 2)

Arquitecta, M.Sc., LITEIS, Universidad Internacional de Cataluña.
z.prochazkova@picharchitects.com

Davide ZAMPINI (Autor 7)

Doctor. CEMEX Global R&D. davide.zampini@cemex.com

Felipe PICH-AGUILERA (Autor 8)

Dr. Arquitecto. LITEIS, Universidad Internacional de Cataluña. felipe@picharchitects.com

ABSTRACT

"Climate Concrete" refers to an innovative application of concrete in architecture. Its incorporation in a prefabricated element for building envelopes permits to explore its bioclimatic characteristics, embracing its intrinsic characteristics, as the heat accumulation capacity, or its permeability to water. Depending on the climatic conditions, these characteristics allow for application of various passive strategies for conditioning of buildings. The most distinctive is the evaporative cooling, allowing for cooling the air of the space adjacent to the façade, by radiation of the façade element cooled by the evaporation of the water introduced to the volume of the porous concrete.

This strategy will be exploited on the façade of the Wellness Hub building in Monterrey, which at the same time represents the initiative to impulse the first building certified as a Net Zero Energy Building in Mexico.

RESUMEN

"Climate Concrete" denomina a una aplicación innovadora del hormigón en arquitectura. Su incorporación en un elemento prefabricado de la envolvente del edificio permite explorar sus características bioclimáticas, poniendo en valor sus propiedades intrínsecas, tales como su

capacidad de acumulación de calor, o la permeabilidad al agua. Dependiendo de las condiciones climáticas, estas características permiten aplicación de varias estrategias pasivas de acondicionamiento de edificios. La más distintiva es la refrigeración evaporativa, que permite refrigerar el aire del espacio adyacente a la fachada, por radiación del elemento de fachada, refrigerado por la evaporación del agua introducida en el volumen del hormigón poroso.

Esta estrategia se explotará en la fachada del edificio Wellness Hub en Monterrey, cual al mismo tiempo representa la iniciativa de impulsar el primer edificio certificado Net Zero Energy Building en México.

Palabras clave: climate, concrete, industrialización, sostenibilidad, estrategias pasivas, fachada, refrigeración evaporativa

1. INTRODUCCIÓN

En la tradición constructiva de climas cálidos, existe un amplio repertorio de celosías minerales. Ese arquetipo no es solo debido a una precariedad constructiva, sino que propone estrategias climáticas muy determinadas para la obtención del confort interior. También eso está presente en el movimiento moderno (Chandigarh, Fundación Miro). La arquitectura high-tech del último cuarto de siglo ha difundido pieles ligeras de materiales altamente conductivos.

El objeto de este artículo es remarcar las ventajas de implicar las propiedades termodinámicas del hormigón en la creación de envolventes activas, para obtener un confort natural más completo que la simple protección solar.

El artículo se enfoca en el desarrollo de una celosía de hormigón prefabricado para el proyecto del edificio Wellness Hub en Monterrey, que servirá como el caso del estudio para demostrar las propiedades bioclimáticas del hormigón y sus aplicaciones en diferentes tipos de hormigón en la fachada del edificio.

La innovación se refleja en a) uso de hormigón poroso en un elemento prefabricado de la fachada y b) aprovechamiento de las características bioclimáticas del hormigón, incorporando agua para mejorar el comportamiento climático y producir un efecto de refrigeración evaporativa, con objeto de mejorar el confort de los usuarios del edificio.

2. EL EDIFICIO Y LA CELOSIA

En el caso de estudio- edificio Wellness Hub, la celosía bioclimática se aplica en las fachadas longitudinales del edificio, orientadas al norte y al sur.

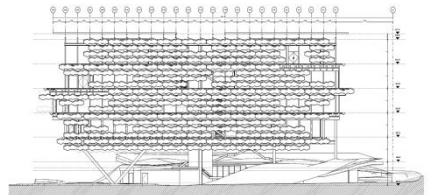


Figura 1: Fachada Norte Wellness Hub

Está diseñada para trabajar conjuntamente con otras estrategias pasivas, como el patio central de

ventilación y la creación de un microclima mediante un estanque central con aportación de agua pluvial y vegetación. El conjunto, juntamente con las estrategias activas, consiguen el estándar Net Zero Energy Building.

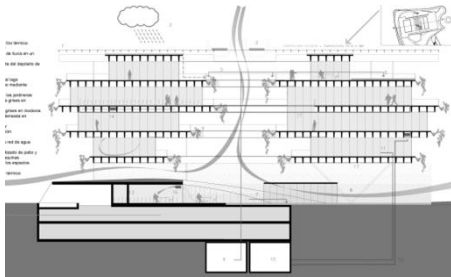


Figura 2: Estrategias bioclimáticas Wellness Hub

La celosía está compuesta por 2 paneles de distintas formas geométricas, que se combinan entre sí, permitiendo modificar el porcentaje de hueco de la fachada y crear padrones de apariencia orgánica. El hueco resultante de la combinación aporta una apertura de 40 cm. En los puntos dónde se pretende aportar más luz al edificio, se elimina algún panel para aumentar el carácter natural de la fachada.

Los 2 paneles tienen una forma alargada, de longitud de 5m, y altura variable con un máximo de 0,7m. Los paneles están colocados como segunda piel del edificio, proporcionando principalmente la protección solar a los espacios interiores, y un uso integral de las características bioclimáticas de los paneles en la zona central del edificio, que colinda con un espacio semi-exterior, orientado al patio central. En esta ubicación el usuario puede gozar de forma inmediata de las propiedades

ambientales de la celosía.

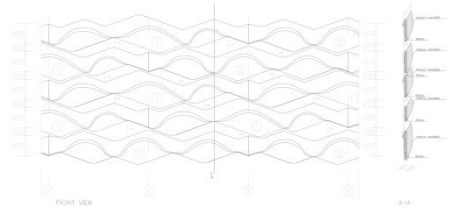


Figura 3: Ejemplo de configuración de los 2 paneles

La celosía comprende dos tipos de hormigón especial, para optimizar su comportamiento. La cara exterior está formada por hormigón de alta resistencia, denominado Resilia™ (Cemex Global R&D), asegurando la resistencia a las cargas mecánicas y permitiendo un punto de anclaje en una distancia de 2,5 metros en el sentido horizontal, lo que libera la fachada de soportes horizontales. Se utiliza sólo la estructura vertical del edificio para anclar los paneles. La cara interior está formada por hormigón poroso, denominado Pervia™ (Cemex Global R&D), específico por su capacidad de conducir y contener agua. Su composición porosa también permite una densidad inferior a la de un hormigón normal. (Tabla 1).



Figura 4: Sección del elemento celosía

Tabla 1: Principales propiedades de los dos hormigones utilizados

	Tamaño del árido (mm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m ² K)	Capacidad drenante (mm/sg)
'Resilia'	0,2-12	2.200	1,850	-
'Pervia'	5-12	900	0,258	11

Con esta composición de materiales y formas se pretende mejorar el confort del usuario, principalmente en el período de refrigeración, cuando las condiciones climáticas del caso del estudio más se alejan de las condiciones de confort. Esta mejora se propone mediante 5 estrategias: (1) protección solar + sombra propia, (2) reflexión de calor, (3) inercia térmica, (4) transmitancia térmica y (5) efecto agua.

Algunas de estas estrategias están en proceso de comprobación mediante ensayo, mientras que otras se pueden evaluar parcialmente utilizando referencias de estudios previos.

2. APORTACIÓN DEL ARTICULO

El artículo explora y analiza cinco estrategias elementales de comportamiento termodinámico que influyen en la respuesta del control térmico en una celosía de hormigón poroso como elemento de la envolvente del edificio.

3.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La presente investigación analiza la contribución al control ambiental de la celosía diseñada para el edificio Wellness Hub en Monterrey (Mexico). El sistema de doble piel diseñado se describe en el estudio como Water-Wall.

Dos de los principales objetivos del sistema Water-Wall (de ahora en adelante 'WW'), pueden resumirse en:

1. Mejora del confort térmico del ocupante del espacio intermedio de doble piel:
 - Reduciendo la temperatura del aire en la fachada del corredor.
 - Reduciendo la temperatura radiante de la fachada externa de hormigón y el cristal interno fachada del sistema WW.
2. Reducción de la transferencia de calor (ganancias y pérdidas) a través de la fachada:
 - Reduciendo la diferencia de temperatura entre el ambiente interior y exterior (aire y superficies).

3.1 El ensayo Test Cell TWINS

El ensayo aplicado a la celosía se está desarrollando a través de un sistema de doble celda (Fig. 5. twins system) en condiciones ambientales exteriores.



Figura 5: Ensayo Test Cell TWINS

El módulo de pruebas está formado por una celda o caja cerrada y opaca por cinco de sus lados, dejando uno de ellos translucido cerrado con un vidrio simple. Las dimensiones del módulo son 3,6m x 1,6m x 2,5m de altura.

El sistema de celosía está colocado frente al vidrio separado 150cm creando una cámara cerrada por todos sus lados, excepto por el lado de la celosía de hormigón poroso, que permite el paso del aire exterior. El sistema está dotado de 15 sensores de temperatura distribuidos según la figura 6, que toman temperaturas simultáneamente, tanto del aire (interior, exterior y de la cámara), como sobre la superficie de los diferentes materiales.

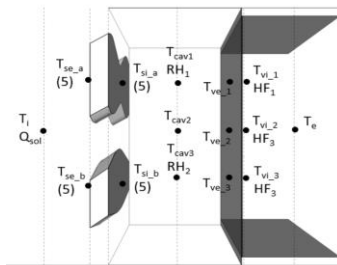


Figura 6: Posición de los sensores de temperatura

Con el objetivo de cuantificar las diferencias de comportamiento térmico del sistema, se desarrollan diversos escenarios del ensayo, diferenciados por la presencia de flujo de agua. El escenario sin agua es el de referencia.

4. EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS CONSIDERADAS

4.1. Protección solar + sombra propia

Considerando el efecto de la radiación solar incidente a la superficie del panel se desarrollan varias estrategias climáticas. Una de ellas se dedica a limitar la cantidad de radiación, utilizando la propia

geometría- forma del panel. La superficie exterior del panel cuenta con una topografía, que produce sombra sobre el propio panel. El impacto aumenta por el carácter vertical de la radiación solar durante las horas del mediodía, en la región climática de Monterrey (México). La topografía se ha optimizado mediante un estudio solar.

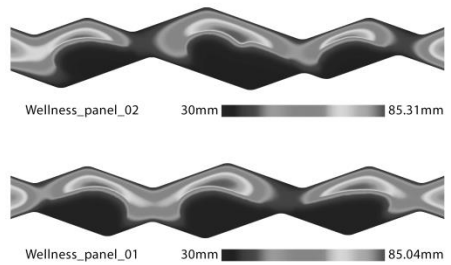


Figura 7. Mapa topográfico del panel. Valores Z

4.2. Reflexión de calor

Además de la geometría, el tipo de superficie del panel permite atenuar el impacto de la radiación solar y con ello atemperar la temperatura superficial en la cara exterior del panel. De este modo disminuye la temperatura de la cara interior y del aire adyacente al panel- así como sus condiciones de confort.

El color y la rugosidad de la superficie incidente afecta a su reflectividad. Para maximizarla, se propone un color claro, aunque no blanco. Se opta por un color beige claro- PANTONE 4545 U, y una superficie con rugosidad mínima (Figura 8).

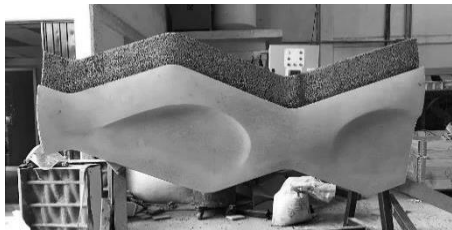


Figura 8: Maqueta en escala real con prueba de color

Para cuantificar las diferencias de color podemos tomar como referencia el Índice de Reflectancia Solar (SRI) y emisividad (ϵ) de unos revestimientos cementicios, estudiados por N. L. Alchapar, con valores de SRI=60/91/98% y $\epsilon=0.90/0.85/0.85$ para una superficie blanca (con rugosidades varias) y de SRI=88/86/91% y $\epsilon=0.85/0.85/0.90$ de una superficie color marfil (referencia). El color seleccionado cuenta con valores ligeramente inferiores a los valores ideales [5].

Para ver la diferencia en el impacto del color en la temperatura superficial del material, podemos considerar los resultados del trabajo de J. M. Blanco, en el que se estudian 2 placas de metal-negro mate y blanco brillante. La placa blanca brillante ha alcanzado cambios de temperatura de 6-8°C menores al respecto de la negra. [2]

El efecto del color en la temperatura superficial, esta estudiado también por A. Chatzidimitriou y K. Axarli, concluyendo que las variaciones de color provocan diferencias de temperatura de hasta 8K en paredes verticales [4].

4.3. Inercia térmica

La capacidad térmica y el calor específico son propiedades intrínsecas del hormigón como material constructivo. Sus ventajas se aprovechan generalmente para aumentar el confort de un espacio interior, atenuando los cambios en la temperatura interior. En el caso de una celosía la inercia del material ayuda a retrasar el efecto producido por la radiación solar. El hormigón absorbe y acumula una cantidad de calor, que en caso de otros materiales con una masa térmica menor disiparían directamente hacia el aire por ambas caras del panel. El efecto producido, en nuestro caso, es por tanto muy favorable.

Adicionalmente, la masa térmica del panel puede influir positivamente en la percepción de confort durante las horas de la mañana, reteniendo el frío nocturno para disminuir así el impacto de la radiación solar.

La inercia térmica es uno de los parámetros más importantes en la obtención de una calidad térmica, sobre todo en casos dónde no se trata de un acondicionamiento continuo [1].

4.4. Transmisión de calor

La aplicación de un material poroso en la cara interior del panel tiene la importancia sobre todo para retener y conducir agua. Sin embargo, este material tiene otra característica positiva, pues tiene la capacidad de disminuir la transmisión de calor por conducción ($\lambda = 0,258\text{w/mk}$), comparando con otros materiales utilizados para las protecciones solares (aluminio: $\lambda = 160\text{W/mk}$, chapa galvanizada perforada: $\lambda = 50\text{W/mk}$) y el

mismo hormigón convencional ($\lambda = 1,20\text{W/mk}$).

Este efecto se puede observar en el ensayo en seco, cuando la temperatura de la cara interior del panel presenta temperaturas más bajas respecto al sensor, en la parte exterior del panel. La diferencia entre los dos valores mencionados llega a ser hasta $5\text{ }^\circ\text{C}$.

La capacidad de acumulación de calor entre el hormigón de alta resistencia (exterior) y el hormigón poroso (interior), junto con cierta resistencia a transmisión por parte del hormigón poroso, consiguen una protección efectiva frente a la radiación solar.

4.5. Efecto agua y refrigeración evaporativa

La incorporación de agua en un elemento de doble piel como el del estudio, formado por una celosía de hormigón poroso, permite plantear la estrategia de enfriamiento del material mediante un flujo constante de agua. La incorporación del material poroso en la cara interior de la celosía garantiza el control del flujo de agua que desciende verticalmente por la doble piel del edificio.

Podemos avanzar que uno de los resultados esperados es el enfriamiento de la capa de hormigón poroso, así como de la cara interior de esta celosía. Este enfriamiento del elemento podría garantizar un descenso de la temperatura del aire que está en contacto y del aire que la atraviesa. Desde el punto de vista de la capacidad de enfriamiento por evaporación del agua, también se considera físicamente posible que la celosía enfríe el aire en contacto, a través

de un proceso evaporativo del agua. Esta estrategia se considera óptima en climas áridos secos.

Los resultados preliminares confirman las hipótesis iniciales del estudio. La incorporación del flujo de agua en la celosía modifica la temperatura tanto del aire en contacto, con la cara interior de hormigón poroso, como el aire que pasa a través de la propia celosía.

El comportamiento de la temperatura del aire en todos los escenarios que se están estudiando responde a la figura 9, donde podemos ver un incremento inicial de la temperatura superficial exterior de la celosía y a continuación un descenso notable de la temperatura por efecto directo del flujo de agua. El incremento de temperatura del aire de la cámara es debido a la mezcla con el aire exterior. Este trabajo analiza distintas posiciones y aperturas de la celosía.

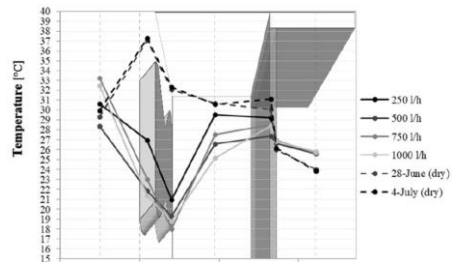


Figura 9: Evolución de las temperaturas en valores reales

Como hemos enunciado, los valores preliminares del descenso de temperatura respecto del aire exterior oscilan entre los $3\text{ }^\circ\text{C}$ y $5\text{ }^\circ\text{C}$, intuyendo que este descenso puede incrementarse acotando el paso del aire exterior.

6.- CONCLUSIONES

Como resultado de los análisis realizados y tomando todos los escenarios considerados, podemos afirmar que la presencia del sistema de celosía porosa como elemento de doble piel, permite mejorar las condiciones ambientales del aire de la cámara. Esta mejora, queda condicionada por la presencia del flujo de agua y por la separación entre piezas que permite el paso del aire exterior al interior de la cámara.

La disminución de la temperatura del aire de la cámara puede descender entre un 3% y un 20% respecto a la temperatura exterior, lo que vendría a ser, en nuestro caso, entre 1°C y 5°C según intensidad del flujo de agua.

Podemos resumir, que el comportamiento del sistema con introducción de agua es beneficioso para el confort, tanto considerando la temperatura en la cámara de aire, como la temperatura superficial de la pieza en su cara interior. Cambiando el porcentaje de hueco intuimos resultados muy superiores, tanto en el escenario en seco, como en el de flujo de agua.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración y el apoyo al equipo CEMEX Global R&D, representado por Alexandre Guerini, Carlos Enrique Terrado y Giovanni Volpatti, y a Teresa Batlle Pagés de Pich-Aguilera Arquitectos.

REFERENCIAS

- [1] N. Aste, A. Angelotti y M. Buzzetti, "The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings"; *Elsevier Energy and Buildings vol. 41, pp. 1181–1187*, 2009
- [2] J. M. Blanco, P. Arriaga, E. Rojí y J. Cuadrado, "Investigating the thermal behavior of double-skin perforated sheet façades: Part A: Model characterization and validation procedure", *Elsevier Building and Environment, vol. 82, pp. 50-62*, 2014
- [3] G. C. Roel Gutierrez y L. Chebel Labaki, PhD, "An Experimental Study of Shading Devices: Orientation Typology and Material", *Conference Proceeding by ASHRAE*, 2008
- [4] A. Chatzidimitriou y K. Axarli, "Open spaces envelopes: influence of vegetation and surface colour on microclimate and comfort at pedestrian level"; *International Conference on "Changing Cities": Spatial, morphological, formal & socio-economic dimensions, At Skiathos island, Greece*, June 2013
- [5] N. L. Alchapar y E. N. Correa y M. A. Cantón, "Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana, *Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 107-123, jul./set. 2012*"