

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CERÁMICO A BASE DE
HIDROGELES
HIDROTAB

FERNEY ANDRES VANEGAS
BRYAN STEVEN SIERRA



UNIVERSIDAD LA GRANCOLOMBIA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES
ARQUITECTONICAS
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ, DICIEMBRE DE 2017

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CERÁMICO A BASE DE
HIDROGELES

HIDROTAB

Presentado para optar al título de
Tecnólogo en construcciones arquitectónicas

Docente de proyecto
Arq. Andrea Niampira Daza

FERNEY ANDRES VANEGAS BEJARANO
BRYAN STEVEN SIERRA VILLAMIL



UNIVERSIDAD LA GRANCOLOMBIA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES
ARQUITECTONICAS

PROYECTO DE GRADO

BOGOTÁ, DICIEMBRE DE 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. CONTEXTO.....	3
1.1. Formulación del problema.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivo general.....	6
1.3.1. Objetivos específicos.....	6
2. MARCOS REFERENCIALES.....	7
2.1. Marco conceptual.....	7
2.1.1. Elementos del clima y aplicación en la fachada.....	7
2.1.2. Otros conceptos de interés.....	14
2.2. Marco teórico.....	16
2.2.1. Hidrocerámica.....	16
2.2.2. Hidrogel-Poli acrilato de sodio.....	17
2.2.3. Cerámica como elemento aislante.....	19
2.2.4. Refrigeración por evaporación.....	24
2.2.5. Transmisión por conducción del en sólidos.....	25
2.2.6. La psicometría, base del acondicionamiento ambiental.....	26
2.3. Marco normativo.....	35
3. METODOLOGÍA.....	36
4. DESARROLLO DEL SISTEMA.....	37
4.1. Sistema de enfriamiento cerámico a base de hidrogeles hidrotab.....	37
4.2. Desarrollo del prototipo.....	39
4.2.1. Descripción del sistema de anclaje.....	42
4.2.2. Comparación de precios con otros sistemas de aplacados.....	44
5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	45
5.1. Elaboración de las tabletas.....	45
6. REALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	47
6.1. Realización de ensayo con cámara de termografía.....	47
6.2. Realización ensayo con túnel de viento.....	50
6.2.1. Tela geotextil absorbente.....	52
6.2.2. Tela absorbente de algodón.....	53

7.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	57
7.1.	Análisis de los resultados.....	60
8.	CONCLUSIONES.....	63
9.	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	65
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	66

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Temperaturas promedio en Colombia	8
Ilustración 2 Transferencia de calor de un sólido a otro.....	11
Ilustración 3 Convección térmica del aire en un espacio cerrado	12
Ilustración 4 Radiación por ondas electromagnéticas de un sólido a mayor temperatura a una menor	12
Ilustración 5 Sistema de fachada ventilada.....	14
Ilustración 6 Despiece preliminar de la hidrocerámica realizada por el IAAC	17
Ilustración 7 Absorción de agua por el hidrogel en aproximadamente en 2.5 horas,.....	18
Ilustración 8 Funcionamiento del efecto botijo y sus características,	21
Ilustración 9 Secado de piezas de Arcilla.....	22
Ilustración 10 Funcionamiento efecto botijo y transferencia de temperatura	24
Ilustración 11 Transferencia de calor por materiales,.....	26
Ilustración 12 Diagrama psicrométrico y sus factores climáticos,	31
Ilustración 13 Zonas de confort y variables psicométricas,.....	33
Ilustración 14 Gráfico de niveles de confort según la temperatura y humedad relativa.	34
Ilustración 15 Gráfico del funcionamiento preliminar del sistema,	37
Ilustración 16 Ensayo de termografía activa sobre superficies,	38
Ilustración 17 Sistema de encaje entre ambas tabletas	41
Ilustración 18 Despiece por partes del sistema.....	41
Ilustración 19 Vista frontal del sistema y de las abrazaderas	42
Ilustración 20 Descripción del sistema.....	42
Ilustración 21 Foto de la fábrica donde se construyó el prototipo.	43
Ilustración 22 Análisis de precios unitarios del sistema.....	44
Ilustración 23 Elaboración de las tabletas, arcilla húmeda.....	45
Ilustración 24 Vista superior de las tabletas durante el proceso de secado de la arcilla	46
Ilustración 25 Vista de la parte posterior de las tabletas durante el secado.....	46
Ilustración 26 Colocación de las tabletas al sol.....	47
Ilustración 27 Colocación de las tabletas al sol.....	47
Ilustración 28 Múltiples tomas realizadas a las dos tabletas	49
Ilustración 29 A la derecha, diferencia de temperatura entre ambas tabletas. En la esquina superior derecha la fotografía normal; y en la esquina inferior derecha diferencia de temperatura después de 15 minutos.....	50
Ilustración 30 Primer ensayo de túnel de viento, la tableta no contenía tela ni hidrogeles..	51
Ilustración 31 Segunda medición del paso del viento por los orificios de la tableta.....	52
Ilustración 32 Ensayo de túnel viento a la tableta con hidrogeles y tela geotextil absorbente en su interior.	52
Ilustración 33 Paso del aire caliente en el prototipo con un calefactor	54
Ilustración 34 Comparación entre el porcentaje de humedad durante y después de la prueba	55
Ilustración 35 Porcentaje de humedad más alto tomado en la prueba de túnel de viento	56
Ilustración 36 Resultados de las tomas con la cámara	57

Ilustración 37 última toma registrada por la cámara termográfica, la temperatura en la tableta con hidrogeles es de aproximadamente de 24C° a 28C° 58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Composición del aire atmosférico	27
Tabla 2 Temperaturas de bulbo seco y húmedo para la ciudad de Bogotá	29
Tabla 3 Temperaturas de rocío del aire para la ciudad de Bogotá	29
Tabla 4 Humedad del aire aproximada para la ciudad de Bogotá	30
Tabla 5 Entalpia especifica del aire para la ciudad de Bogotá	30
Tabla 6 Volumen especifico del aire para la ciudad de Bogotá	30

RESUMEN

El creciente desarrollo y aplicación de materiales “inteligentes” en la construcción y la arquitectura ha abierto una tipología constructiva en el cual estos materiales puedan asociarse a los procesos y métodos de construcción actual. En esta investigación se desarrolla un módulo cerámico para refrigeración pasiva donde se implementen materiales sintéticos que trabajan en conjunto, con el fin de recolectar el agua de lluvia para dar como resultado un sistema de refrigeración por evaporación para edificaciones.

Es por esto que a medida que se hace uso de aquellos materiales convencionales en la búsqueda de un confort térmico de un espacio, se desarrolla un sistema en el cual los materiales utilizados puedan interactuar entre sí, y que puedan complementar aquellos sistemas actuales en gran demanda que se usan con el fin de acondicionar un espacio habitable.

Esta investigación busca centrarse en desarrollar un sistema de refrigeración pasiva en donde se implementen materiales sintéticos que trabajen en conjunto con materiales convencionales en la construcción, como lo puede ser el uso de arcilla cocida, hidrogel y telas aislantes retenedoras, esto con el fin de garantizar un confort térmico en cuanto se refiere al acondicionamiento del espacio y que partirá de una justificación cuantitativa en el cual se demuestre su funcionalidad a partir de ensayos de cámara térmica, recopilando los datos de manera que estos apunten a un modelo prototipo del sistema y tenga como resultado una comparativa de función-costo que garanticen la funcionalidad de este frente al sistema de uso actual.

Palabras clave

- Hidrotab, hidroc er mica, refrigeración, evaporación, geo textil, confort térmico.

ABSTRACT

Smart materials are now one of the most growing expansion, the new kind of possibilities for new constructive processes and methods. In addition, synthetics materials as if hydrogel has enormous application on many ways, however currently professional builders can take advantage of its use, applying it new processes like cooling and ventilated facade.

For that reason, this research seeks to get focus to understand thermal comfort as regards the conditioning spaces, compare, and check the cost benefit function on the prototype.

Keywords

- Hidrotab, hydroceramic, cooling, evaporation, absorbent cloth, thermal comfort.

1. CONTEXTO

Actualmente el modelo formativo de la Universidad la gran Colombia ha llevado a los estudiantes a tener un amplio concepto crítico y analítico de los modelos y procesos que con la rama de la construcción tienen que ver, así de esta manera cada estudiante fundamenta sus conocimientos técnicos en implementar y fomentar las buenas prácticas desde una perspectiva responsable, eficiente y social.

En base a esto el programa de Tecnología en construcciones arquitectónicas, incluyó una contextualización sobre la importancia de que los estudiantes reconozcan las problemáticas que se desarrollan en la arquitectura y la construcción, de manera que se fundamente sus conocimientos en la solución de un problema técnico y se considere incluirlo, como una posible solución de corto o largo plazo.

Es por esto que, a partir de la propuesta de dar solución a un problema técnico se accede a evaluar y abordar como tema investigativo el confort térmico de espacios y los aplicativos de este en la construcción, de manera que se enfoque en llegar a realizar un producto final que contenga una posible solución y enfoque los conocimientos técnicos que el programa busca de sus estudiantes.

1.1. Formulación del problema

En este sentido, la pregunta que orienta la presente investigación es: *¿Cómo se puede comprobar que los hidrogel dentro de un elemento de construcción son viables en un sistema de refrigeración pasiva?*, dentro de este concepto se ha centrado la investigación en relacionar las problemáticas en cuanto a refrigeración de espacios se refiere, y de cómo

se puede aplicar y garantizar el uso de hidrogeles absorbentes como posible alternativa de los sistemas de acondicionamiento mecánico actual.

1.2. Justificación

La creciente implementación de sistemas mecánicos de aire acondicionado, constituye una problemática en donde debido al constante consumo energético que estos sistemas requieren, y a la gran demanda de estos en zonas cálidas; se evidencia mediante estudios los problemas y consecuencias que a largo plazo tendrá el seguir implementando como “solución” estos sistemas mecánicos.

De esta manera se toma por ejemplo un estudio realizado por la *Haas School of Business de la Universidad de California* en el año 2015, donde se especifica *> Para 2040, el aumento significativo del uso de aires acondicionados en las zonas de climas cálidos de países en desarrollo redundará en un incremento de 64 por ciento en el consumo de electricidad de los hogares y, un aumento anual de 23,1 millones de toneladas de dióxido de carbono, prevé estudio. <*

Esto da un estimado de cómo estos sistemas actuales tendrán repercusión en el clima global en los próximos años, dice: *> “En el mundo los hogares se están volviendo más ricos. Eso, evidentemente, es bueno. Pero cuando en los hogares se compran más equipos de aire acondicionado no hay que perder de vista los efectos para los sistemas de electricidad y el ambiente” afirma Lucas Davis uno de los autores del estudio. <*

Es por esto que evidenciando el impacto a gran escala que estos sistemas actuales tendrán en el ambiente a futuro, también se puntualiza mediante estudios de la Organización

mundial de la salud (OMS) lo que han llamado el *síndrome del edificio enfermo* (*Sick Building Syndrome*); que es el conjunto de síntomas que provoca un inmueble sobre las personas que habitan o trabajan en él. Aunque se desconocen las causas concretas que lo producen, fundamentalmente se atribuye a la contaminación del aire que circula en su interior.

El síndrome aparece principalmente en edificaciones herméticas que cuentan con sistemas centralizados de ventilación y acondicionamiento mecánico, En este tipo de instalaciones, por ejemplo, un bloque de oficinas, el aire recircula constantemente a través de conductos cargándose de partículas perjudiciales para nuestra salud y bienestar. Cabe resaltar a partir de esto que las aperturas de ventilación resultan beneficiosas para la salubridad de los usuarios dentro de la edificación porque garantizan renovaciones de aire constantes.

Sin embargo, el síndrome del edificio enfermo no es un problema exclusivo de edificios cerrados. También se han dado casos en otros inmuebles con buena ventilación. En términos generales, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente el 30 % de las construcciones modernas que nos rodean pueden provocar este síndrome en sus ocupantes.

En el sector de la construcción la responsabilidad ambiental es parte esencial de las metas y la mitigación de factores contaminantes en los proyectos, de manera que los procesos y sistemas deben ser cada vez más eficientes y tener una solución desde lo arquitectónico con lo constructivo, combinando herramientas técnicas y tecnológicas que ayuden a resolver o en este caso a minimizar el alto uso de estos sistemas mecánicos de acondicionamiento con el fin de garantizar un confort térmico desde una funcionalidad pasiva.

1.3. Objetivo general

Proponer un sistema de refrigeración pasiva en fachada compuesto una tableta cerámica tipo sándwich, constituido en su interior por hidrogeles absorbentes a la humedad y una fibra geo textil, que funcione como un sistema de refrigeración pasiva por evaporación que pueda ser implementada como fachada para una edificación.

1.3.1. Objetivos específicos

- Investigar e indagar sobre niveles de confort térmico y datos climáticos.
- Desarrollar un prototipo tipo tableta para ser implementado en fachada, con el fin de demostrar el funcionamiento del sistema, a través del ensayo con cámara termo gráfica en espacio cerrado y al aire libre con una incidencia directa del sol.
- Demostrar la rentabilidad del sistema en cuanto a la relación costo-beneficio respecto a otros sistemas de fachadas ventiladas

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Elementos del clima y aplicación en la fachada

Los elementos del clima son aquellas propiedades o condiciones atmosféricas que, consideradas de forma conjunta, definen el clima de un lugar para un periodo de tiempo determinado y son de vital importancia para realizar un estudio sobre los climas que puedan aportar mayor beneficio a la investigación.

La temperatura

La temperatura del aire, que está condicionada muy directamente por la radiación solar, es un parámetro indispensable del clima, y depende en gran medida de la naturaleza de la superficie del suelo. Una vez caliente, la superficie de la tierra emite radiación en el espectro infrarrojo, que es absorbida principalmente por el vapor de agua, este calentamiento de la atmosfera inferior provoca el efecto invernadero que dificulta el enfriamiento nocturno. Este efecto desaparece en atmosferas nítidas, secas y en calma.

En cuanto a la temperatura, los valores habitualmente utilizados en relación con el clima son los siguientes:

El valor medio de la temperatura media mensual diaria para cada uno de los doce meses del año, tomando como temperatura media diaria el promedio entre la máxima y la mínima.

Los valores medios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias, siendo estos valores los promedios de las temperaturas máximas y mínimas de los días del mes. Estos últimos valores se determinan para tener una indicación de las variaciones diarias, estableciendo, de esta forma, el intervalo medio mensual de temperaturas.

Asimismo, es habitual determinar las temperaturas máximas y mínimas extremas mensuales y con ellas se establece el intervalo de temperaturas extremas mensuales. Estos valores, correspondientes a una localización geográfica concreta, y considerados para un periodo de tiempo suficientemente largo, constituyen una información válida para determinar la influencia de la temperatura en el clima del lugar.

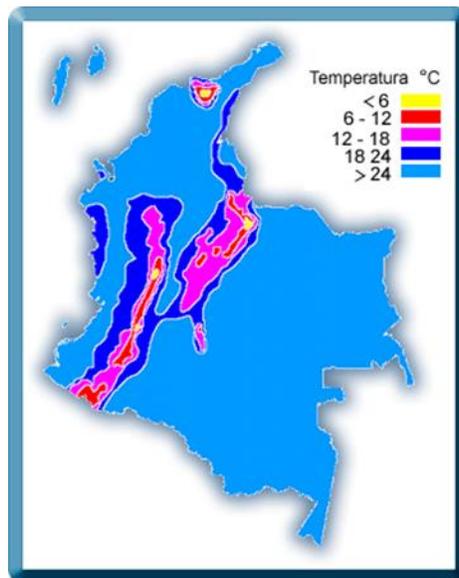


Ilustración 1 Temperaturas promedio en Colombia

Recuperado de: <https://goo.gl/PwBDEu>

La humedad

El aire atmosférico contiene una cierta cantidad de vapor de agua, que es variable en función del tiempo y del lugar. La influencia en el tiempo atmosférico del contenido de vapor de agua en la atmosfera es fundamental y, por tanto, es también determinante del clima de un lugar. Este vapor de agua que se genera en la atmosfera, por efecto de la radiación solar, debido a la evaporación de las masas de agua de superficie de la tierra, es transportado por el viento y, posteriormente, cuando las condiciones termodinámicas lo provocan, se produce su condensación.

La cantidad de vapor de agua en la atmosfera disminuye rápidamente con la altura, debido, en primer lugar, a que este vapor proviene del agua de la superficie de la tierra y, por otra parte, a que la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener un ambiente disminuye a medida que lo hace la temperatura.

Los valores más utilizados en meteorología para la determinación del contenido de vapor de agua en la atmosfera son la humedad absoluta, la humedad relativa, la presión de vapor y la humedad específica, que es uno de los elementos climáticos más utilizados. Otro de los parámetros que permite cuantificar la humedad es la determinación de las temperaturas de rocío.

Mecanismos de transferencia de calor

En la termodinámica se denominan transitorias a dos formas de energía, que son el trabajo y el calor. Se denominan transitorias porque existen únicamente cuando se produce un intercambio de energía entre dos sistemas. En lo relativo a la energía trabajo, existe cuando

se produce una transferencia de masas, sin que sea preciso que medie diferencia de temperatura, sin embargo, si existe esa diferencia de temperatura, esa transferencia se denomina flujo de calor.

Este apartado, que, por tanto, trata de transferencias de energía provocadas por diferencias de temperatura, parte de dos conceptos: según el segundo principio de termodinámica, ese intercambio se produce desde el sistema en el cual la temperatura sea más elevada, al sistema con menor temperatura y, según el primero, la cantidad total de calor cedida por un sistema debe ser absorbida en su totalidad por el otro.

La transmisión de calor se produce mediante tres mecanismos que se pueden dar separadamente o, lo que es más habitual, combinados. Estas tres formas de transmitir el calor se conocen con los nombres de *conducción*, *convección*, y *radiación*.

La conducción

La conducción es el método de transmisión de energía térmica interna en los cuerpos sólidos puestos en contacto. El calor transmitido por conducción se dirige de las moléculas con energía más elevada, las que se encuentran a mayor temperatura, a las que tienen menor temperatura (*ilustración 2*).

Se produce mediante el intercambio de la energía cinética entre moléculas contiguas. Por tanto, es necesario que para que se produzca la conducción exista continuidad física en la materia, ya sea mediante el contacto de dos cuerpos distintos, o a través de un mismo cuerpo, cuando los extremos se encuentran a distintas temperaturas.

El ejemplo más clásico de conducción se produce al calentar el extremo de un elemento longitudinal conductor, como puede ser un metal. Cuando se calienta ese extremo, sus moléculas aumentan su vibración con la temperatura, chocando con las moléculas contiguas, que se mueven más lentamente, y comparten su energía cinética con ellas. A su vez, estas la transmiten a las más alejadas, hasta alejadas, hasta alcanzar, finalmente, el otro extremo de la barra.

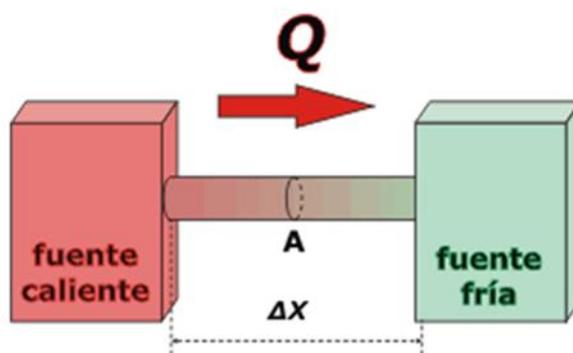


Ilustración 2 Transferencia de calor de un sólido a otro

Recuperado de. goo.gl/9LmFpR

La convección

Se define la convección como el mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en un fluido, provocado por los movimientos de la masa del mismo. La transferencia de calor que se produce en el interior de ese fluido sigue siendo un proceso de conducción, al ponerse en contacto moléculas del fluido entre sí, pero la energía se transporta de un lado a otro por el desplazamiento de la materia. (Neila Gonzalez & Bedoya Frutos, 1997)

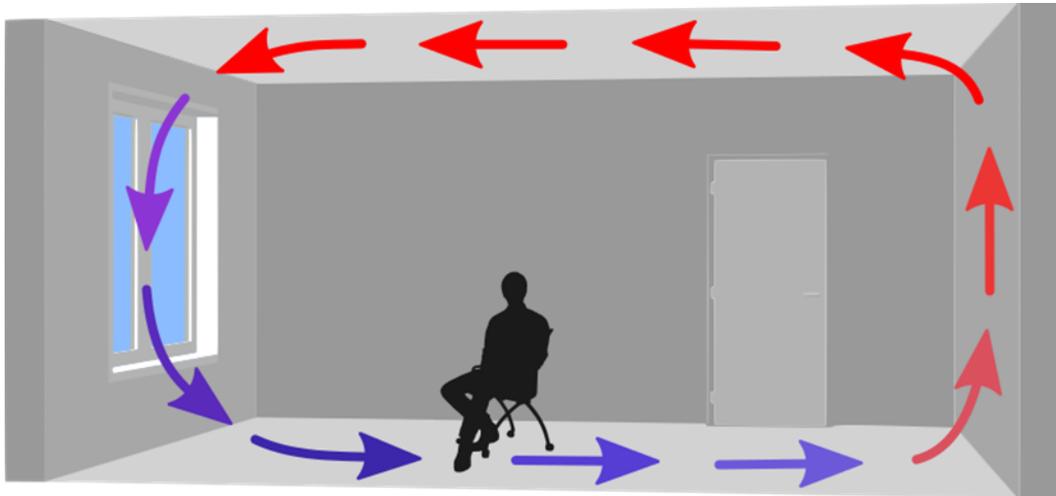


Ilustración 3 Convección térmica del aire en un espacio cerrado

Recuperado de: goo.gl/sEVnZ2

La radiación

La radiación es una emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas que se manifiesta en cualquier cuerpo por el simple hecho de encontrarse a una cierta temperatura (*ilustración 4*). Se aprecia la radiación al colocar un cuerpo frente a los rayos solares o frente a una superficie muy caliente (una chimenea, un radiador de infrarrojos, etc.) (Neila Gonzalez & Bedoya Frutos, 1997)

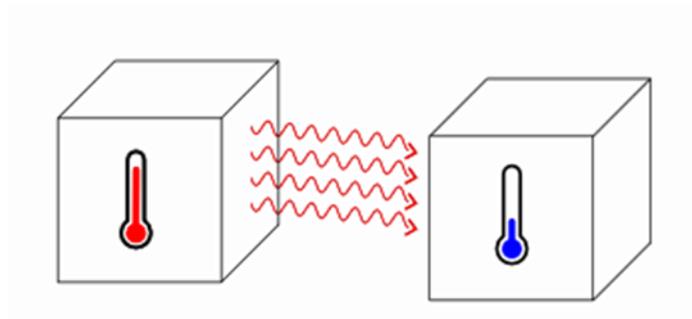


Ilustración 4 Radiación por ondas electromagnéticas de un sólido a mayor temperatura a una menor

Recuperado de: goo.gl/SJfJ2M

Fachadas ventiladas

Las fachadas ventiladas son un tema de carácter referencial para el proyecto, porque son elementos constructivos que aprovechan los factores medioambientales que las rodean; es decir son elementos diseñados para generar un máximo aprovechamiento de los factores como el viento predominante y la máxima incidencia solar posible respecto al emplazamiento de la edificación. Además, los sistemas de fachadas ventilada toman aspectos relacionados con la conductividad térmica de los materiales para su instalación en la edificación, un ejemplo de esto es que el espacio que se deja entre la fachada y el muro con el fin de generar un espacio para el paso del aire.

Cuando hay una circulación de aire entre el objeto de la fachada y el muro de cerramiento se genera una pérdida de energía por parte del aire en circulación, y por ende la temperatura del flujo del aire tiende a descender. Por esta razón su importancia y se relación con los demás conceptos de física de los materiales y elementos del clima.

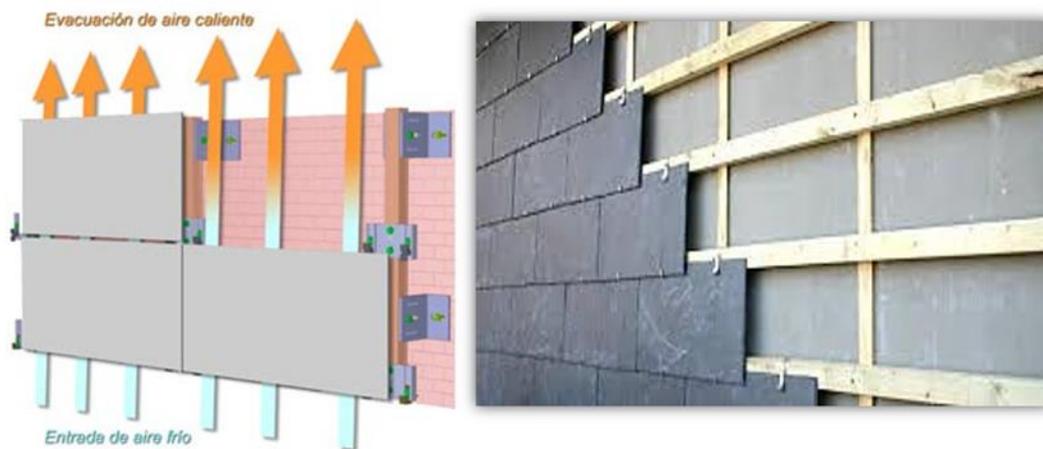


Ilustración 5 Sistema de fachada ventilada

2.1.2. Otros conceptos de interés

Humedad absoluta: Es el peso de agua contenido en una mezcla de aire-vapor de agua, en gramos de agua por Kg de aire seco. (Goríbar, 2010)

Hidrogel: materia o una sustancia: Que adsorbe el agua con gran facilidad, para este caso se usará un polímero

Sensación de comodidad: Si la temperatura de la piel supera los 32 grados centígrados, sentimos calor y si diciendo debajo de los 32 grados centígrados sentimos frío. (Goríbar, 2010)

Temperatura efectiva: Es un índice empírico del grado de calor que percibe un individuo cuando se expone a varias combinaciones de temperatura, humedad y movimiento de aire. Las temperaturas efectivas en climas cálidos oscilan por lo general varían de 20° a los 24°. Asimismo, las temperaturas de bulbo seco recomendable durante el verano varían desde 21° a 29° con humedades relativas de que van desde 40 % al 60%. (Goríbar, 2010)

Aire insalubre: El aire se denomina salubre cuando no está mezclado con fluidos ni impurezas (polvo, humo, bacteria, etc.) en cantidades suficientes para afectar al organismo humano. (Goríbar, 2010)

Calor sensible: Cuando un objeto se calienta, la temperatura aumenta según se añade calor, de forma similar, cuando se elimina calor de un objeto y su temperatura cae, el calor eliminado también se denomina calor sensible. El calor que causa un cambio en la temperatura de un objeto se denomina calor sensible. (conditioning Academy, 2012)

2.2. Marco teórico

Para contextualizar el proyecto es importante conocer los antecedentes que definen y delimitan las ideas que son la base para identificar la problemática y poder resolverla. Para esto se indagaron acerca de estas características.

2.2.1. Hidrocerámica

El proyecto se radica en la investigación del IAAC, que tiene el fin de hacer uso de materiales poliméricos con una aplicación explotaría, que tienen la habilidad de absorber hasta cuatro veces su peso en agua, envueltos por un geotextil absorbente dentro de una tableta de arcilla cocida, el proyecto ha tenido una serie de análisis con ensayos, el IAAC no ha determinado si el sistema debe contar con una serie de anclajes, ni de cómo debe ser instalado.

“La hidrocerámica es un proyecto que especula sobre los procesos termodinámicos en los edificios y cómo estos pueden abordarse pasivamente con una clase de materiales llamada "hidrogel". Al combinar la propiedad de evaporación de los hidrogeles con la masa térmica y la propiedad de control de la humedad de la arcilla cerámica y la tela, se creó un material compuesto sensible al calor y al agua. La solución propuesta es un sistema de evapotranspiración pasiva capaz de reducir la temperatura de un espacio interior en 5°C.” (<https://iaac.net>)

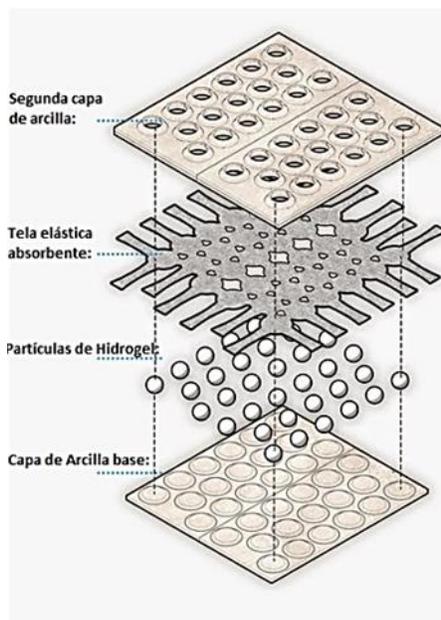


Ilustración 6 Despiece preliminar de la hidrocerámica realizada por el IAAC

Recuperado de: goo.gl/Gyv5L

2.2.2. Hidrogel-Poli acrilato de sodio

El poli acrilato de sodio o también llamado hidrogel, es un material innovador gracias a sus diferentes utilidades que cumple con las características ideales para los diferentes usos, como por ejemplo en el campo de la medicina, donde las posibles utilidades son diversas, tanto para la creación de medicamentos en capsulas de gel fáciles de disolver en el organismo, hasta en el desarrollo de implantes de prótesis de sustitución en caso de pérdida. Además, los avances de este campo incluyen la implementación de diferentes procedimientos quirúrgicos de mucha precaución. Por otro lado, la industria de los pañales usa estos materiales en sus productos por la habilidad de absorber grandes cantidades de fluidos o materiales hidrófilos que son los polímeros con capacidad de absorción de líquidos. Estos tienen la capacidad de absorber hasta cuatro veces su peso en agua.



Ilustración 7 Absorción de agua por el hidrogel en aproximadamente en 2.5 horas.

Recuperado de goo.gl/xb9xXP

No solo estos materiales cuentan con aplicaciones en ciencias médicas, sino también en diversidad de aplicaciones en diferentes medios de desarrollo; la ingeniería de petróleos, la poli acrilamida es un material indispensable en la perforación de terrenos para la extracción de crudo, el material es sometido a una gran presión dentro de los sistemas de perforación sin sufrir un daño almacenando las aguas freáticas que puedan emerger en el proceso de extracción. Así mismo, en el campo de la agricultura los hidrogeles funcionan en la mejora de los suelos, aumentando la humedad de los mismos y permitiendo más productividad en las cosechas, todo esto gracias a la gran capacidad de absorción de líquidos que tienen estos polímeros. Hay muchas utilidades del poli acrilato de sodio por investigar, como es el caso del sector de la construcción donde sus aplicaciones en materiales están siendo desarrolladas, como el uso de en los procesos de refrigeración de espacios. El IAAC (instituto de arquitectura avanzada de Cataluña) apela a este estudio aún desconocido y aún en fase exploratoria.

2.2.3. Cerámica como elemento aislante

Sus antecedentes se remontan a épocas muy antiguas, las funcionalidades de la misma son amplias, debido a que sus materiales siempre han sido de bajo costo y fácil acceso, grandes civilizaciones usaron la cerámica en la construcción, tanto para realizar sus casas y centros de reunión, como para hacer variados implementos decorativos, artesanales y que eran bastante funcionales para el almacenaje de agua.

“Los materiales cerámicos han tenido un recorrido milenario y apasionante: desde los orígenes de la alfarería hasta el revestimiento de las naves que surcan el espacio, desde los humildes ladrillos hasta los aplacados más sofisticados...La cerámica siempre ha fascinado a las mentes más creativas que han visto un reto en aprovechar el legado de este material para aprovecharlo al futuro con nuevos sistemas de producción, nuevas técnicas de colocación, nuevos formatos y nuevas aplicaciones”(Sarrablo, 2016) citado en (Consejo superior de investigaciones científicas, 2016, pag.7)

La cerámica es una aglomeración de varios materiales entre ellos la arcilla, el barro, arena y otros materiales, que en la composición dan un material muy resistente a altas temperaturas al momento de ser cocido.

“Extracción y acopio de las arcillas: se obtiene de canteras mediante excavaciones mecánicas y de sedimentos arcillosos producidos por las lluvias. El material debe homogeneizarse mediante mezclado en “montañas” artificiales formadas por el material que acarrear los camiones y lo vuelcan desde lo alto por los bordes, mientras la estiba se riega constantemente, expuesta a la intemperie durante varios meses; manteniendo constante el volumen de material almacenado.” (Nieto, 2009)

También la cerámica ofrece una alta resistencia y una baja conductividad térmica respecto a otros materiales, como también mayor resistencia ante la humedad. Estas técnicas de construcción en tierra son bien conocidas por su gran capacidad de generar confort térmico, gracias a que estos muros tienen una baja conductividad térmica, es decir el calor que los muros reciben por radiación (actividad solar) durante el día no logra pasar ágilmente a través del material, sino por el contrario retiene el calor durante el día y cuando la temperatura logra atravesar el muro, la temperatura exterior comienza a descender haciendo los días frescos dentro de estas construcciones y las noches confortables sin ningún tipo de aparato mecánico de refrigeración convencional. Algunos ejemplos de análisis de transmitancia térmica en construcciones en tierra.

Por supuesto estas técnicas, aunque son bastante eficientes en lo que confort térmico respecta, aún carecen de las habilidades constructivas y están limitadas por las leyes de construcción que regulan el uso de estas técnicas dentro de unos escenarios específicos. Una de las particulares más grandes que tienen los materiales cerámicos, más específicamente de las arcillas, es su gran habilidad de refrigeración pasiva.

“El efecto botijo es un buen ejemplo de refrigeración de agua por evaporación. El botijo es un recipiente hecho de barro que almacena agua en su interior. La superficie del barro se caracteriza por presentar poros a través de los cuales el agua que se encuentra en el interior puede salir. Cuando el agua se evapora necesita energía para que se produzca el cambio de estado de líquido a vapor de agua. Esa energía la toma del agua del botijo. Así cuando se evapora una parte de agua, extrae energía (2,2 kJ por gramo de agua evaporada) del sistema y, por tanto, la temperatura del agua remanente, disminuye, produciéndose el enfriamiento.” (Cañada Soriano, 2016)

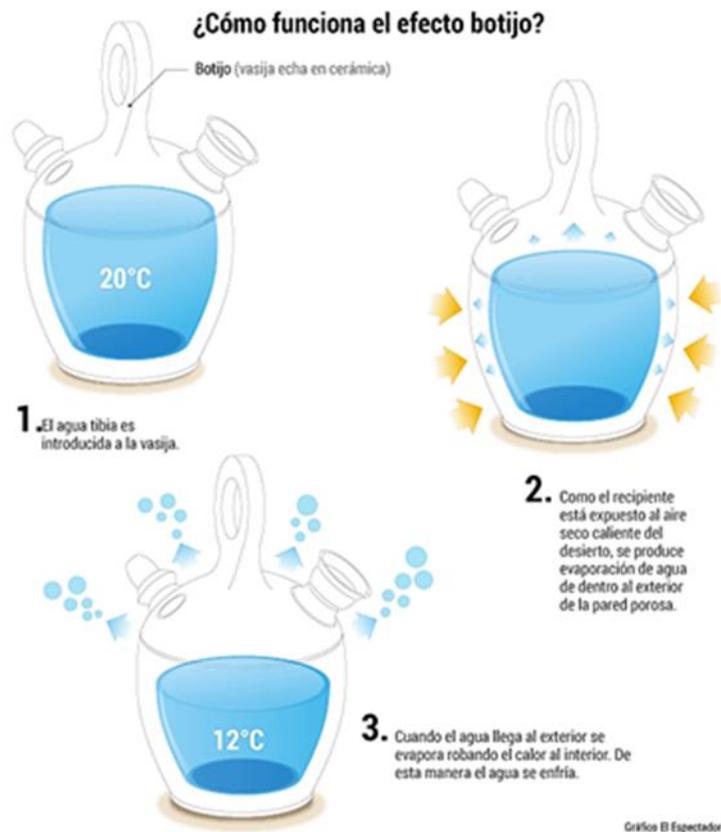


Ilustración 8 Funcionamiento del efecto botijo y sus características.

Recuperado de: goo.gl/R2MguS

Proceso de secado y construcción de la arcilla

“El ciclo de elaboración se ajusta al esquema general, que se puede resumir así: 1)

Preparación de la tierra: extracción, estacionamiento, dosificación y amasado. 2)

Conformación. 3) Secado. 4) Cocción.” (Cañada Soriano, 2016)

Para la conformación de la arcilla se realiza la selección del tipo de suelos de donde extraer los materiales para la conformación de los materiales, es decir las mezclas de tierra para lograr homogeneidad en la mezcla y garantizar un elemento con cierto grado de plasticidad y

maniobrabilidad por el fabricante. El fabricante luego de haber hecho la selección de los suelos, con su respectiva caracterización y tamizaje, humedece con cierta cantidad de agua la pieza para lograr una adecuada plasticidad del material. Las piezas de arcilla independientemente del uso que se las vaya a dar deben llevar un proceso para poder ser llevadas al horno a su posterior cocción.

Si el contenido excede los límites de humedad para poder manipular la mezcla de tierra no será moldeable, por esta razón debe aplicarse la correcta cantidad de agua. Luego de obtener una mezcla que se puede moldear, las piezas en arcilla deben ser llevadas a un elemento sobre el cual girarán sobre su propio eje, esto con el fin de que la persona que está realizando el moldeo tenga la capacidad dar forma al elemento y así conseguir la forma ideal.

Para ser llevadas a un horno, deben someterse a un proceso de secado, ya que no pueden ser llevadas al horno en su estado inicial, las piezas no resistirían la temperatura aplicada y se desintegrarían. El proceso de secado puede ser llevado a cabo de forma natural dejando a la intemperie las piezas para que se sequen, esto dependerá de la ubicación del sitio y las condiciones ambientales y meteorológicas. Durante este paso las piezas exudarán el porcentaje de agua que contengan, y se endurecerán. Desde luego hoy en día, hay sistemas mecanizados que regulan este proceso de secado, donde las situaciones meteorológicas no son la ideales para el proceso de secado y se pretende lograr un mayor número de producción que la técnica artesanal no consigue.



Ilustración 9 Secado de piezas de Arcilla

Recuperado de: goo.gl/Ag1qgJ

Para el proceso de cocción las piezas en arcilla deben cumplir con una serie de factores para pasar al proceso de cocción. Para empezar el artesano verifica que la pieza haya pasado el proceso satisfactoriamente y ya no tenga el contenido de humedad inicial, para esto el fabricante se cerciora se observan las piezas.

Análisis del material cerámico frente al confort térmico.

En la envolvente de la edificación se generan ganancias de temperatura por la radiación solar, es decir gracias al material por el cual esté conformada la envolvente la energía será transferida al interior del edificio, haciendo que se genere un consumo energético para refrigerar el espacio

El ideal para que cualquier material sea considerado aislante térmico es que cumpla con dos características es 1) Un coeficiente de conductividad térmica (representado por la letra griega λ , lambda) menor de 0,6 W (m.K). 2) Una resistencia térmica (R) superior a 0,5 m²·K/W.

Con este fin, el sistema de hidrogeles pretende disminuir mediante la refrigeración por evaporación el traspaso de energía hacía el interior de la edificación.

En los ambientes donde se presentan altos niveles de radiación solar, los sistemas vernaculares a base de piezas cerámica con hidrogeles buscan ser una alternativa de solución a las necesidades térmicas que permiten controlar el paso de conductividad térmica del material y refrescar los espacios interiores de la edificación.

2.2.4. Refrigeración por evaporación

“La evaporación es un cambio de la fase líquida a la fase gaseosa que se efectúa en la superficie de un líquido. La temperatura de cualquier sustancia se relaciona con la energía cinética promedio de sus partículas. Cuanta mayor temperatura tenga la sustancia, mayor será la energía cinética de sus partículas. No todas las moléculas se mueven a la misma velocidad, algunas son rápidas y otra lentas. Ocasionalmente, las moléculas más rápidas y por tanto las de mayor energía se escapan de la superficie pasando de líquido a vapor de agua. Como las moléculas que quedan son las más lentas, la temperatura del agua que queda es más baja. Esta es la causa por la cual la evaporación produce refrigeración”.

(Cañada Soriano, 2016)

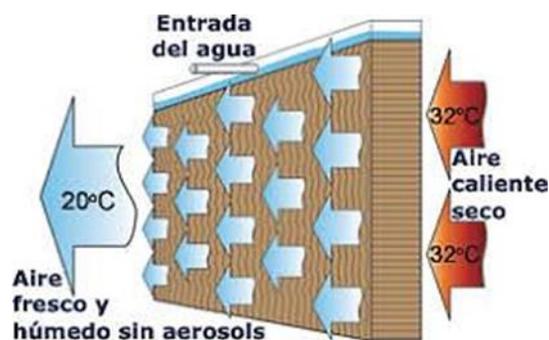


Ilustración 10 Funcionamiento efecto botijo y transferencia de temperatura

Recuperado de: goo.gl/7HvQxY

El efecto botijo o efecto vasija, es de igual antigüedad que las técnicas de construcción en tierra; consiste en la refrigeración de agua dentro de un elemento de arcilla cocida, por el cual la temperatura del aire exterior producía que el elemento de arcilla aumentara su temperatura y una cierta cantidad de agua dentro del recipiente se evaporara. Dando como resultado el descenso de la temperatura del agua, que salía por el otro extremo del elemento. El agua descendía su temperatura unos grados a comparación de la temperatura

ambiente del exterior, gracias al proceso de enfriamiento por evaporación dentro del recipiente.

La arcilla como material poroso retiene el líquido y logra hacer que el agua descienda hasta 10 grados centígrados de temperatura. Este procedimiento es bastante ingenioso, y muestra las habilidades de la arcilla como un material en lo que respecta a conductividad térmica y sus características de refrigerar gracias a las porosidades del material. Esta técnica es un referente fundamental de las ventajas de la arcilla como material rentable y de sus buenas características térmicas aprovechables en cualquier proyecto.

2.2.5. Transmisión por conducción del en sólidos

“Cualquier cuerpo sólido simple (por ej. Un muro de hormigón, un vidrio, etc.), puede conducir el calor. Basta que haya una diferencia de temperatura entre ambas caras y una superficie, por donde fluirá una potencia térmica que transportará calor de la pared más caliente a la más fría. El coeficiente de transmisión de calor se suele representar con la letra griega lambda λ y tiene por unidades $W/m\ ^\circ C$ e indica la potencia en W transmitida a través de $1\ m^2$ de pared de un espesor de $1\ m$.” (Ribot Martín, 2010)

La transmisión de calor a través de los elementos, permiten dar las características de comportamiento de los materiales frente a la radiación solar y su incidencia dentro de la confortabilidad de la construcción, un ejemplo de conductividad necesaria es comparar dos materiales con diferentes características, y poder analizar su comportamiento frente a temperaturas ambiente elevadas.

Todo material requiere de un análisis de su comportamiento físico frente a los cambios de temperatura para poder ser implantados en una construcción, es necesario además conocer las características del ambiente que acoge cualquier proyecto de construcción.



Ilustración 11 Transferencia de calor por materiales.

Recuperado de: goo.gl/nDPYrW

2.2.6. La psicometría, base del acondicionamiento ambiental

El término *psicometría* o sicrometría se compone con las raíces del griego *psychros*, frío, y *metron*, medida, y se define, por tanto, como la determinación de la medida del estado térmico.

Se denomina como “*la ciencia que se ocupa de la determinación de las propiedades termodinámicas del aire húmedo, así como de la utilización y control de estas propiedades en el análisis de las condiciones y procesos que involucran al aire húmedo*”. (Neila Gonzalez & Bedoya Frutos, 1997)

La atmósfera en la que vivimos o aire atmosférico, contiene un gran número de componentes gaseosos, así como vapor de agua y mezclas contaminantes. Se considera

como aire seco al aire atmosférico del que se ha eliminado en su totalidad tanto el vapor de agua como los contaminantes. La composición del aire seco en la atmosfera baja o troposfera es prácticamente constante, y puede considerarse como un gas perfecto, pero pueden existir pequeñas variaciones dependiendo del tiempo atmosférico, de la localización geográfica o de la altitud a la que se efectúa la medición.

COMPONENTES	PESO MOLECULAR (kg/kmol)	PORCENTAJE MOLAR	
Nitrógeno	28,0	78,08%	0,0 27887
Oxígeno	32,0	20,95%	0,0 06546
Dióxido de Carbono	44,0	0,04%	0,0 00008
Argón	40,0	0,93%	0,0 00233
Neón	10,0	0,00%	0,0 00002
Helio	4,0	0,00%	0,0 00004
TOTAL		100,00%	

Tabla 1 Composición del aire atmosférico

El diagrama psicométrico

En el estudio de las diferentes magnitudes relativas a la psicrometría, y principalmente en el campo de los problemas sobre acondicionamiento del aire, se recurre al empleo de los llamados diagramas, cartas o gráficos psicométricos, que, manteniendo constante la presión atmosférica, permiten, a partir de dos de los parámetros que caracterizan un ambiente, conocer el resto de las variables de la mezcla aire vapor consideradas, ya que en ellos aparecen referidas y relacionadas todas las características del aire.

Un diagrama psicométrico, una representación gráfica de las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Existen diferentes diagramas según su construcción, su lectura y los parámetros que en el representan, pero todos pueden considerarse como variantes, obtenidos a partir de pequeñas modificaciones.

Parámetros del aire húmedo

Para poder iniciar el proceso de construcción de un diagrama psicométrico se van a definir los diferentes parámetros a considerar en la mezcla de aire húmedo, y cuya representación se incluye en los diagramas psicométricos.

Temperatura seca o de bulbo seco (T_s): *Temperatura obtenida con un termómetro de bulbo seco, que se encuentra protegido para evitar que absorba o emita radiación en cantidad apreciable y que incida sobre el aire en movimiento.*

Temperatura húmeda o de bulbo húmedo (Th): *Temperatura obtenida con un termómetro cuyo bulbo se encuentra envuelto en un tejido empapado de agua y sometido a una corriente de aire continua, de forma que exista un proceso constante de evaporación.*

Temperatura de bulbo seco (°C)	25
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	20
Altura sobre el nivel del mar (m)	2640

Tabla 2 Temperaturas de bulbo seco y húmedo para la ciudad de Bogotá

Temperatura de rocío (Tr): *Temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua de un ambiente, para unas condiciones dadas de humedad y presión.*

Presión parcial de vapor de agua (kPa)	2,104
Temperatura de punto de rocío	18,3

Tabla 3 Temperaturas de rocío del aire para la ciudad de Bogotá

Presión de vapor (Pv): *Presión parcial que ejerce el vapor de agua contenido en el aire.*

Presión de vapor de saturación: *Presión parcial del vapor de agua de una mezcla saturada a una temperatura dada.*

Humedad específica (HE): *Relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco contenidos en la muestra de aire húmedo (Kg/Kg de aire seco).*

Humedad relativa (HR): Relación entre la presión parcial de vapor de agua del aire y la presión parcial de saturación del vapor de agua a la misma temperatura y presión (%).

Razón de humedad de saturación del aire (kg/kg)	0,02814
Razón de humedad húmeda de saturación	0,02052
Razón de humedad del aire (kg/kg)	0,01840
Grado de saturación	0,65405
Humedad relativa aprox.	66,13%

Tabla 4 Humedad del aire aproximada para la ciudad de Bogotá

Entalpia o densidad energética (i): Magnitud termodinámica que indica la cantidad de energía que hay en la unidad de masa de materia y queda definida como la suma de la energía interna más la cantidad que se obtiene del producto de la presión por el volumen (J/Kg de aire seco).

Entalpia específica del aire (kJ/kg)	72,05
--------------------------------------	-------

Tabla 5 Entalpia específica del aire para la ciudad de Bogotá

Volumen específico de una mezcla de aire húmedo (Ve): Volumen ocupado por el aire húmedo por unidad de masa de aire seco. Es pues, la relación entre el volumen total del aire atmosférico y la masa total de aire seco. Es la magnitud inversa de la densidad (m^3/Kg de aire seco).

Volumen específico del aire (m^3/kg)	1,2044
--	--------

Tabla 6 Volumen específico del aire para la ciudad de Bogotá

Diagrama psicométrico de Givoni

El diagrama de Givoni permite determinar la estrategia bioclimática a adoptar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año. En el diagrama se distinguen unas zonas asociadas a sus respectivas técnicas bioclimáticas que permiten alcanzar la zona de bienestar.

La carta se construye sobre un diagrama psicométrico y en ella se distinguen una serie de zonas características:

- Una zona de bienestar térmico delimitada a partir de la temperatura del termómetro seco y la humedad relativa, sin tener en cuenta otros factores.
- Zona de bienestar ampliada por la acción de otros factores adicionales:

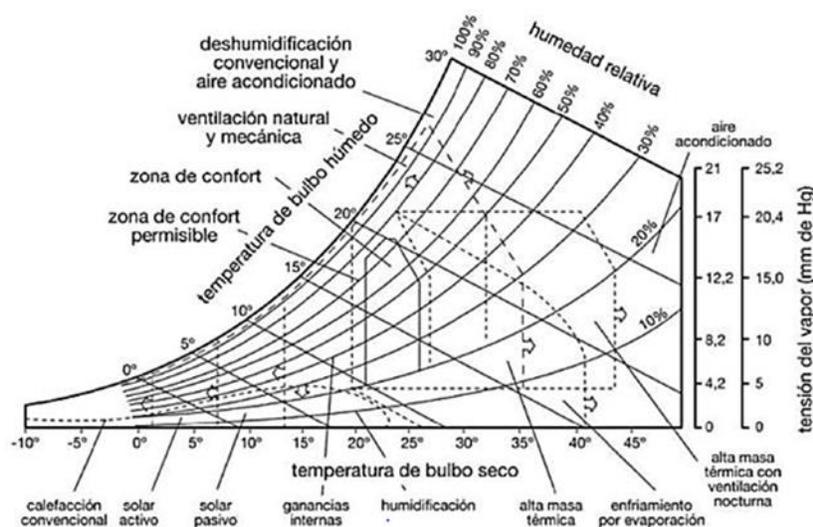


Ilustración 12 Diagrama psicométrico y sus factores climáticos.

Recuperado de: goo.gl/kcHc3j

a) *Hacia la derecha la zona de bienestar puede ampliar en función de la masa térmica del edificio, representada por los tipos de materiales de la construcción; el enfriamiento evaporativo, que se produce cuando una corriente de aire seco y cálido pasa sobre una superficie de agua, parte de la cual se evapora produciendo un doble efecto positivo: descenso de la temperatura por la energía utilizada en el proceso de evaporación y aumento de la humedad ambiental. Fuera de estos límites y hacia la derecha del gráfico, solo se pueden conseguir las condiciones adecuadas con sistemas mecánicos de ventilación y des humidificación. (Neila Gonzalez & Bedoya Frutos, 1997)*

b) *Hacia la izquierda del gráfico la zona de confort se extiende siempre que se produzca calentamiento, que puede ser calentamiento pasivo, es decir, utilizando la radiación solar directa, durante el día, o el calor almacenado en acumuladores, durante la noche y calentamiento mecánico, mediante el uso de sistemas convencionales de calefacción. (Neila Gonzalez & Bedoya Frutos, 1997)*

Con este diagrama se logra determinar las zonas de confort térmico agradables dentro de una edificación y la ubicación geográfica que es más favorable por la temperatura y la humedad relativa (HR) que pueda tener, de esta manera se estudia la posibilidad de implementar el Hidrotab en una zona específica cuya temperatura media no sea mayor a los 28 grados centígrados y su humedad relativa no supere el 65%.

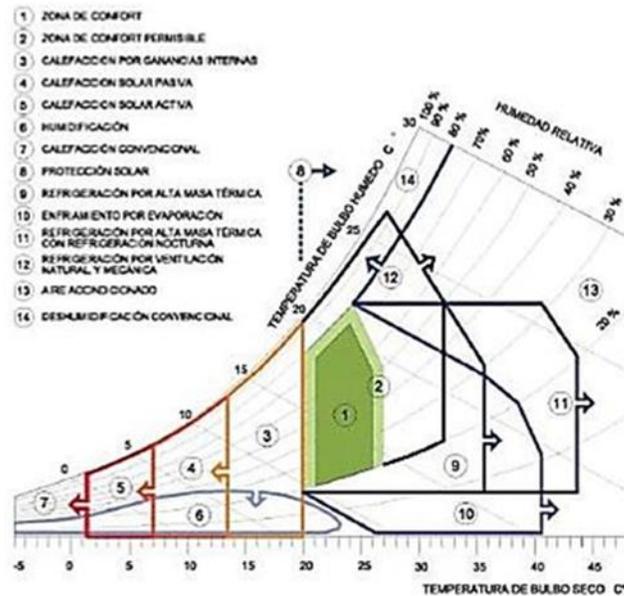


Ilustración 13 Zonas de confort y variables psicrométricas.

Recuperado de: goo.gl/U5P8

De esta forma analizando los parámetros de confort térmico de la zona a proponer se evaluará mediante el ensayo de cámara termo grafica la proporción de refrigeración que el Hidrotab aporte a un área y determinar cuál es la disminución de temperatura y porcentaje de evaporación de agua

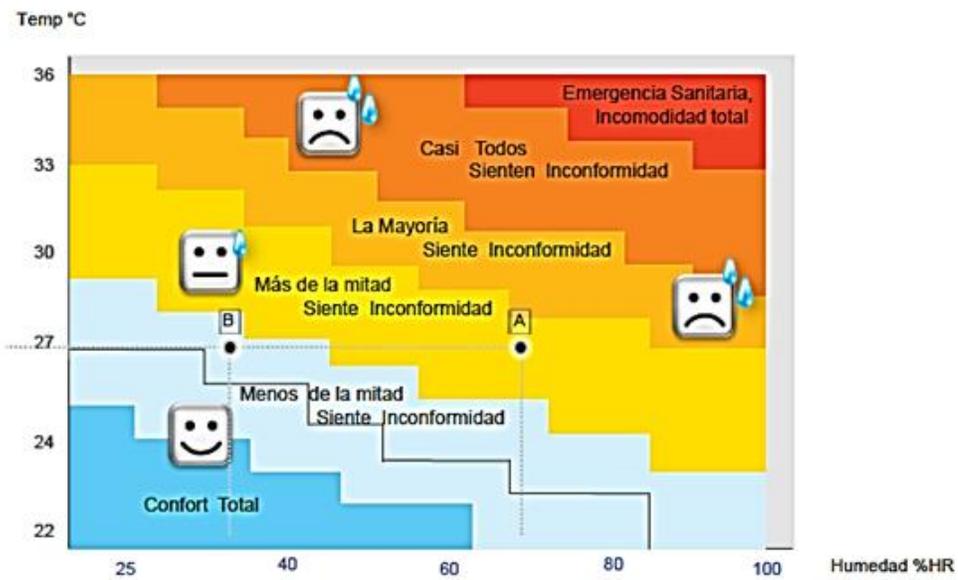


Ilustración 14 Gráfico de niveles de confort según la temperatura y humedad relativa.

Fuente: (conditioning Academy, 2012)

2.3. Marco normativo

Norma técnica colombiana NTC 6024

0.2 PRINCIPIOS DEL SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO

Los criterios ambientales establecidos en esta norma se han definido considerando los siguientes principios del ecoetiquetado:

- El producto debe hacer un uso sostenible de los recursos naturales que emplea como materia prima o insumo.
- El producto debe minimizar el uso de materias primas nocivas para el ambiente.
- Los procesos de producción o de prestación de los servicios deben utilizar menos cantidades de energía o hacer uso de fuentes de energía renovables o ambos.
- El producto debe utilizar menos materiales de empaque, preferiblemente reciclables, reutilizables o degradables.
- El producto debe fabricarse o el servicio debe prestarse haciendo uso de tecnologías limpias o generando un menor impacto relativo sobre el ambiente.

Crterios ambientales para baldosas cerámicas

La presente norma se centra en hablar sobre las condiciones y características que se deben tener en cuenta para la obtención, proceso y aplicación de arcillas en cualquier aspecto, esta debe cumplir unas condiciones para su tratamiento y aplicación.

3. METODOLOGÍA

Como investigación exploratoria se desarrollará un procedimiento para la problemática a desarrollar, y se ahondará dentro de lo referente a conceptos climáticos, estrategias de diseño sobre el material cerámico y uso en las fachadas ventiladas

Fase 1: Se realizará la construcción de un prototipo en arcilla y se procederá a hacer dos tabletas para la comparación entre ambos elementos. Este prototipo constará de criterios de diseño para la aplicación del hidrogel y la tela absorbente.

Fase 2: Como fase de validación del proyecto se buscará realizar los ensayos con cámara termográfica, para medir las diferencias de temperatura en el prototipo, también se realizará el ensayo con túnel de viento para la medición de humedad relativa y flujo evaporativo en los prototipos, luego se procederá analizar mediante gráficas el tiempo transcurridos en los ensayos.

4. DESARROLLO DEL SISTEMA

4.1. Sistema de enfriamiento cerámico a base de hidrogeles hidrotab

El sistema cerámico de enfriamiento Hidrotab se desarrolla a partir del contexto y problemáticas en base a los sistemas mecánicos de aire acondicionado y de cómo elaborar un sistema conjunto que funcione con materiales sintéticos como lo son el Hidrogel y la tela geo textil absorbente, para que funcionen dentro de un módulo cerámico que ayude a almacenar y captar el agua de lluvia con el fin de ser absorbida y almacenada dentro de las capsulas de hidrogel y luego mediante procesos de evaporación por radiación y conducción térmica esta agua almacenada sea liberada por flujo evaporativo a un área específica, ayudando así a disminuir la temperatura y aumentar la humedad relativa permitiendo una mayor sensación de confort térmico.

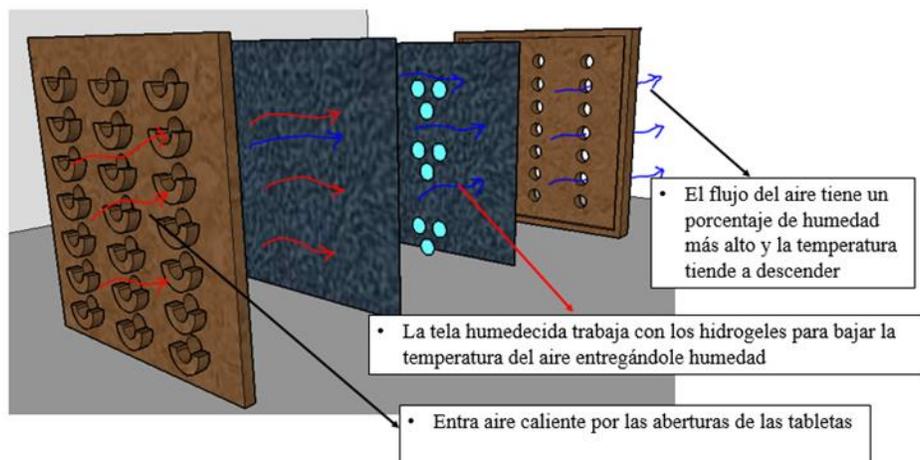


Ilustración 15 Gráfico del funcionamiento preliminar del sistema.

Fuente: propia

Ensayo no destructivo con cámara de termografía infrarroja

El objetivo del presente ensayo consiste en analizar el comportamiento de las tabletas de cerámica frente a aumentos de temperatura en el ambiente para comprobar el funcionamiento de los hidrogeles como facilitadores del proceso de refrigeración. Los resultados son posteriormente confrontados frente a la investigación para sustentar o confrontar, el objetivo de refrigerar espacios con el sistema.

El ensayo con cámara termo gráfica es un ensayo no destructivo que consiste en analizar capacidades térmicas de un material y las características de los materiales sin alterar la estructura de los mismos. Es decir, el ensayo permite obtener imágenes de la distribución de la termografía, por la cual se hace análisis que utiliza la transmisión de calor por radiación para medir la capacidad del material frente a la temperatura.

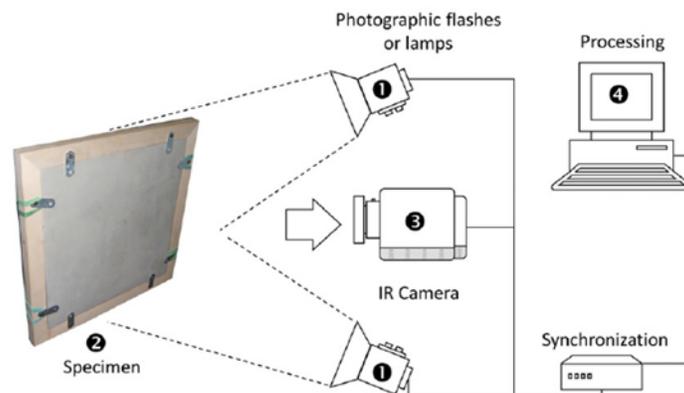


Ilustración 16 Ensayo de termografía activa sobre superficies.

Fuente: (Cañada Soriano, 2016)

Las imágenes resultantes del ensayo se muestran con una variedad de colores, lo que permite ver la distribución de temperatura obtenida durante en el ensayo.

“Los sistemas de termografía están diseñados para captar las emisiones infrarrojas ente 3 y 13 μm de longitud de onda. Se apoyan en que todos los cuerpos emiten radiación infrarroja que es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura superficial del objeto (Ley de Stefan-Boltzmann).

Se dice que son ensayos no destructivos ya que en el proceso el material mantiene sus propiedades sin sufrir alteración alguna. El aparato utilizado en los ensayos tiene la habilidad de recibir las emisiones de temperatura del elemento a estudiar, gracias a que la información es clasificada en colores se pueden apreciar las zonas donde la concentración de temperatura es mayor o inferior.

4.2. Desarrollo del prototipo

Dimensiones

Hidrotab está compuesto por dos tabletas de arcilla cocida con acabado rojizo a la vista, ambas tabletas encajan una sobrepuesta sobre la otra, y se encuentran unidas por medio del sistema de anclaje.

La primera tableta tiene unas dimensiones de 30cm x 30cm y con un espesor de 2.5 cm.

Cuenta con una ranura de encaje que tiene un espesor de 2cm y 21 aberturas en la

superficie con un diámetro de 1 cm que atraviesan la tableta de lado a lado. Estas aberturas están espaciadas por 8 cm de forma horizontal y de 3cm de forma vertical.

La segunda tableta tiene unas dimensiones 27cm x 27cm, con un espesor de 2 cm, igual que la primera tableta también 21 aberturas con un diámetro de 1cm, que atraviesan la pieza y que encajan con las aberturas de la primera tableta, de igual forma las aberturas están espaciadas por 8 cm de forma horizontal y de 3cm de forma vertical.

En la parte frontal y debajo de cada abertura hay una pestaña para la captación de agua.

Dentro de las piezas hay dos cortes de tela de algodón absorbente con unas dimensiones de 27cm x 27 cm, que se encuentran pegadas al panel por silicona en los extremos de las dos tabletas. Dentro de los dos cortes de tela se encuentran 8 gramos de hidrogeles absorbentes que cuando crecen aumentan 3 veces su tamaño.

El sistema tiene un peso aproximado de dos kg por cada Hidrotab, que varía con el contenido de humedad que contenga el panel, para un total de 20 kg por m² sin contar con el sistema de anclaje. En la siguiente imagen se puede apreciar el encaje de la posición de las tabletas y su posición sobre la ranura.

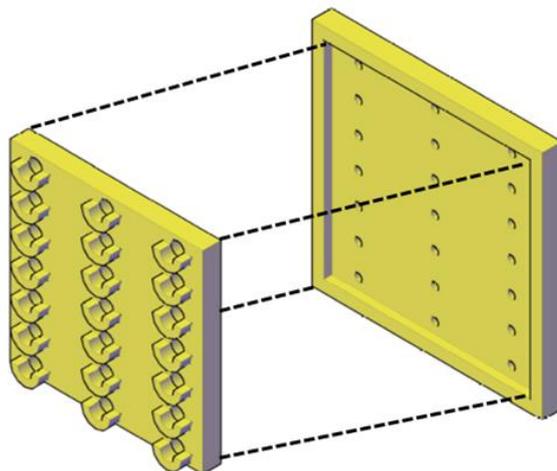


Ilustración 17 Sistema de encaje entre ambas tabletas

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

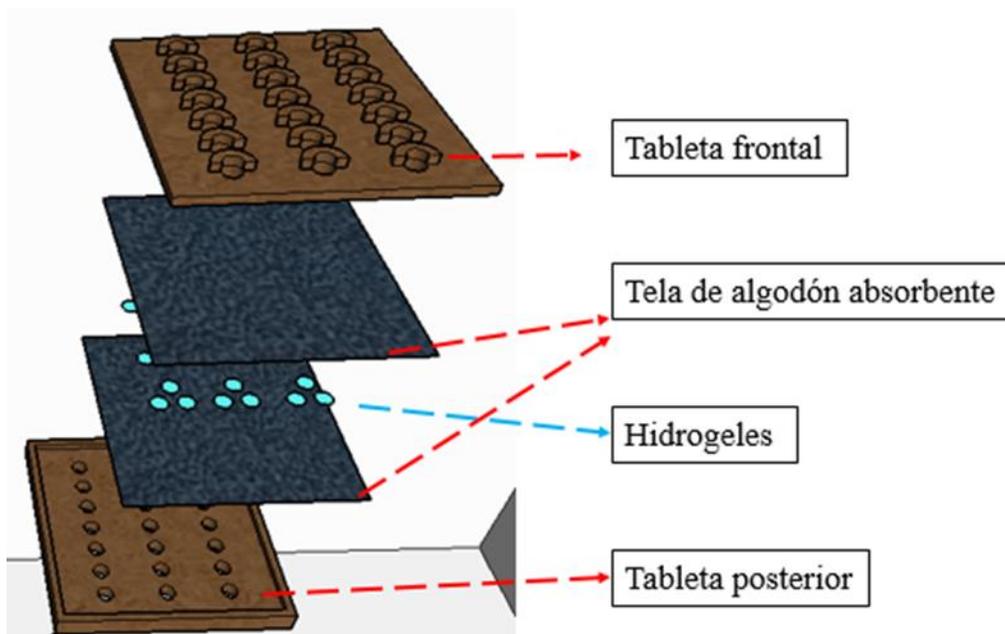


Ilustración 18 Despiece por partes del sistema

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

4.2.1. Descripción del sistema de anclaje

El sistema de anclaje es parte fundamental del sistema porque permitirá una fácil instalación, debido al sistema de abrazaderas ancladas al muro de la edificación.

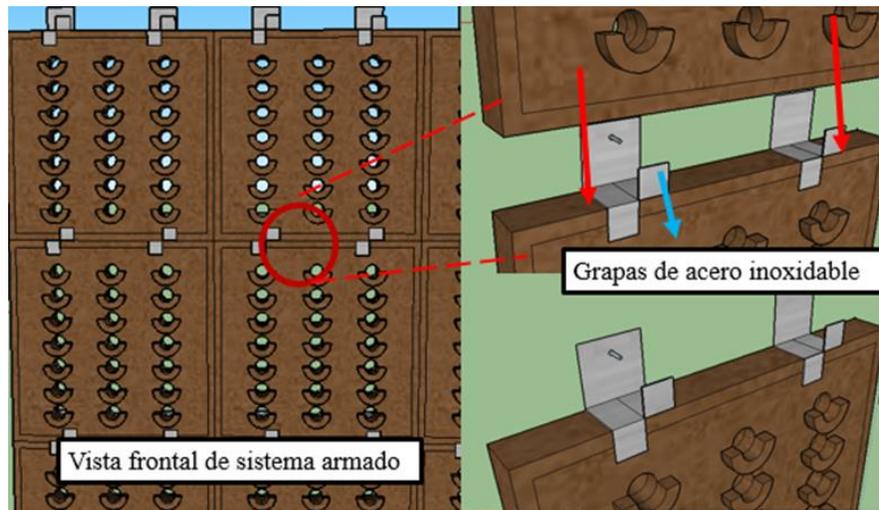


Ilustración 19 Vista frontal del sistema y de las abrazaderas

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

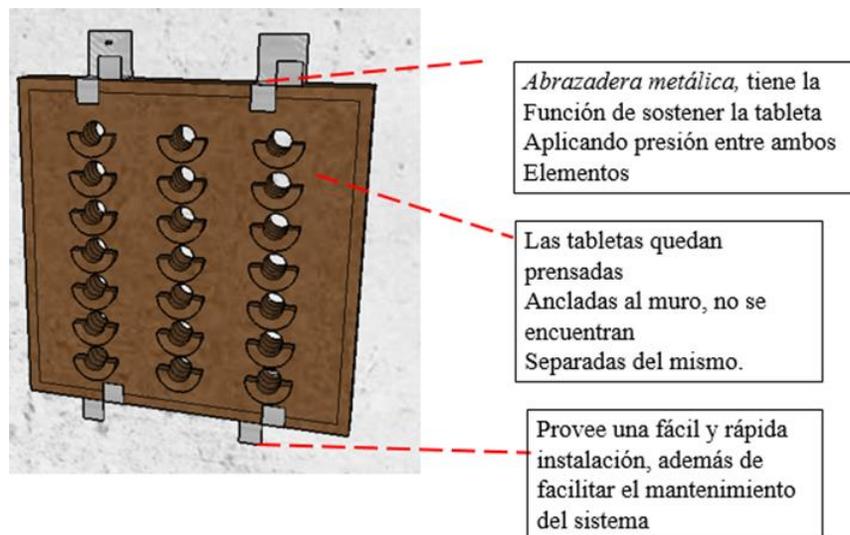


Ilustración 20 Descripción del sistema

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Lugar de la elaboración del prototipo

Para la realización del prototipo se buscó una fábrica de producción de elementos de arcilla cocida. La ciudad de Ráquira localizada en el departamento de Boyacá, fue el sitio ideal para localizar el lugar para la fabricación de las tabletas.



Ilustración 21 Foto de la fábrica donde se construyó el prototipo.

Fuente: Google Street view

La fábrica, localizada en la vía entre los municipios de San Miguel y Ráquira de producción de elementos de arcilla para la producción de las dos tabletas, un horno para la posterior cocción y una mano de obra calificada para la elaboración del prototipo.

4.2.2. Comparación de precios con otros sistemas de aplacados

Como objetivo se decide evaluar la viabilidad económica del sistema en comparación con otros sistemas de fachadas ventiladas existentes en el mercado. Para esta evaluación se escogieron los sistemas. Se procedió a hacer el análisis de precios unitarios del sistema basados en los costos de la elaboración del prototipo por lo cual se determinó que el costo estimado por M2 49,188 pesos.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
NOMBRE PROYECTO: Sistema de enfriamiento cerámico		INTEGRANTE: FERNEY ANDRES VANEGAS- BRYAN STEVEN SIERRA		
FECHA: 11/12/2017		UNIDAD: M2		
ÍTEM: Unidad de panel		CANTIDAD: 1		
DESCRIPCIÓN: SE ESPECIFICARÁ LOS VALORES DE MATERIALES POR PANEL PROPUESTO.				
MATERIALES E INSUMOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
Arcilla excavada de sitio	LIBRA	24	800	19200
Esferas de hidrogel	UND	20	30	600
Geotextil 1800 1 metro lineal x 3.5 metros Pavco	M lineal	0,5	14.400	7200
Perfilería de anclaje	M lineal	3	3000	9000
			SUBTOTAL \$	\$ 36.000
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
OFICIAL TIPO AA	HC	0,25	9300	\$ 2.325
AYUDANTE TIPO AA	HC	0,25	7450	\$ 1.863
			SUBTOTAL \$	\$ 4.188
TRANSPORTES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
TRANSPORTE	VJ	1	9000	9000
OBSERVACIONES: Un metro lineal de Geotextil tiene un rendimiento para 2 paneles aproximadamente.			TOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ 49.188

Ilustración 22 Análisis de precios unitarios del sistema.

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La elaboración de los módulos por parte de la fábrica, tomó aproximadamente dos semanas, desde la elaboración a mano de las tabletas hasta su posterior envío a la ciudad de Bogotá.

La demora en la cocción se presentó porque la fábrica no hace producción diaria de elementos cocidos, sino cada semana.

5.1. Elaboración de las tabletas



Ilustración 23 Elaboración de las tabletas, arcilla húmeda.

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

La elaboración de las tabletas fue completamente a mano, no fue utilizado ningún molde para la elaboración de las mismas. Para este proceso el fabricante tuvo que tomar las medidas originales de la planimetría, y tener en cuenta el porcentaje de contracción de material que se da por la pérdida de humedad. Para agregar como una futura línea de investigación, la construcción de un molde para las tabletas agilizaría la producción y disminuirá los tiempos de elaboración.

Secado de las tabletas

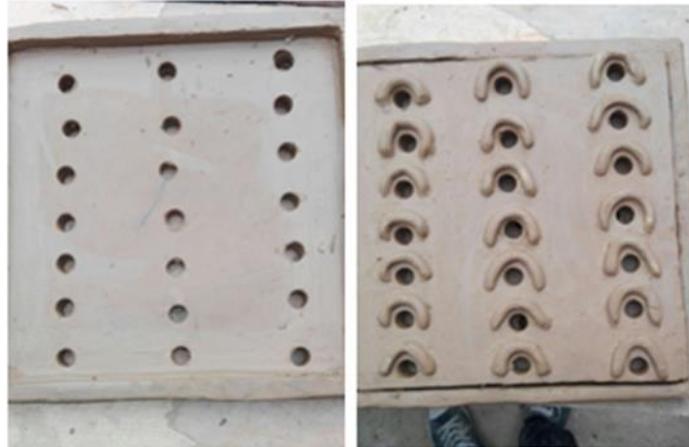


Ilustración 24 Vista superior de las tabletas durante el proceso de secado de la arcilla

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

El proceso de secado tomó 5 días, en las ilustraciones se evidencia el cambio en la coloración del material debido a la pérdida de humedad de la arcilla. Este proceso es delicado porque la pérdida de agua del material lo hace menos resistente a la abrasión.



Ilustración 25 Vista de la parte posterior de las tabletas durante el secado

6. REALIZACIÓN DE ENSAYOS

6.1. Realización de ensayo con cámara de termografía

- Para la evaluación experimental se dispuso de las tabletas en un espacio abierto con una alta incidencia solar, esto con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar transmitidas a las tabletas. La temperatura del día oscilaba entre los 18 C° a los 20C°, y fueron expuestas por 30 minutos.



Ilustración 26 Colocación de las tabletas al sol

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

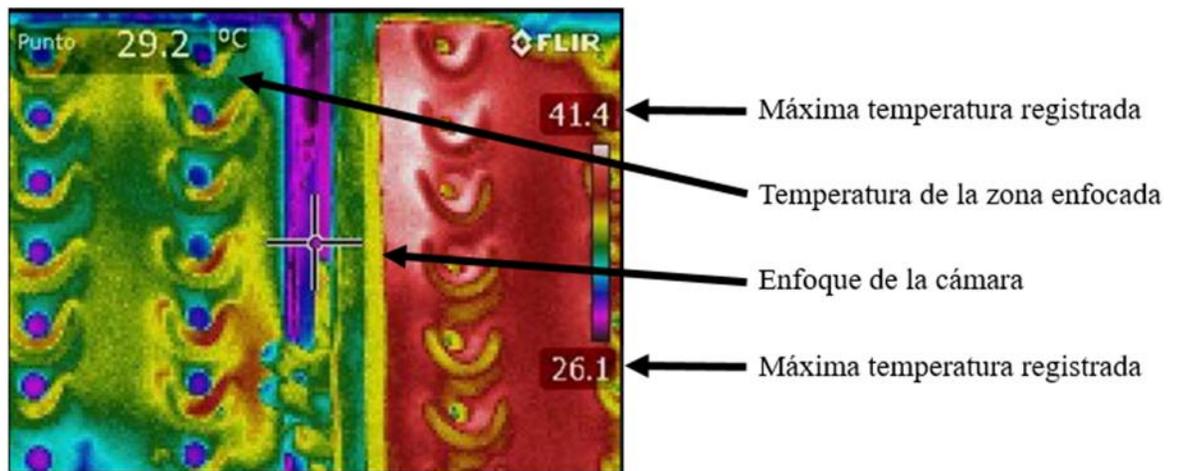
- Durante este procedimiento los hidrogeles fueron sumergidos en agua durante 15 minutos, para lograr su máxima absorción de agua. Se utilizaron 10 gramos para realizar la primera prueba.



Ilustración 27 Colocación de las tabletas al sol

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

- Se procedió hacer la comparación entre ambas tabletas con la misma incidencia solar en el ambiente. Luego con la cámara de termografía se hicieron una serie de disparos para medir la temperatura y hacer la comparación entre ambas tabletas. Dentro de la escala el color blanco representa la mayor temperatura alcanzada en la toma, y el rosado representa la menor temperatura registrada.



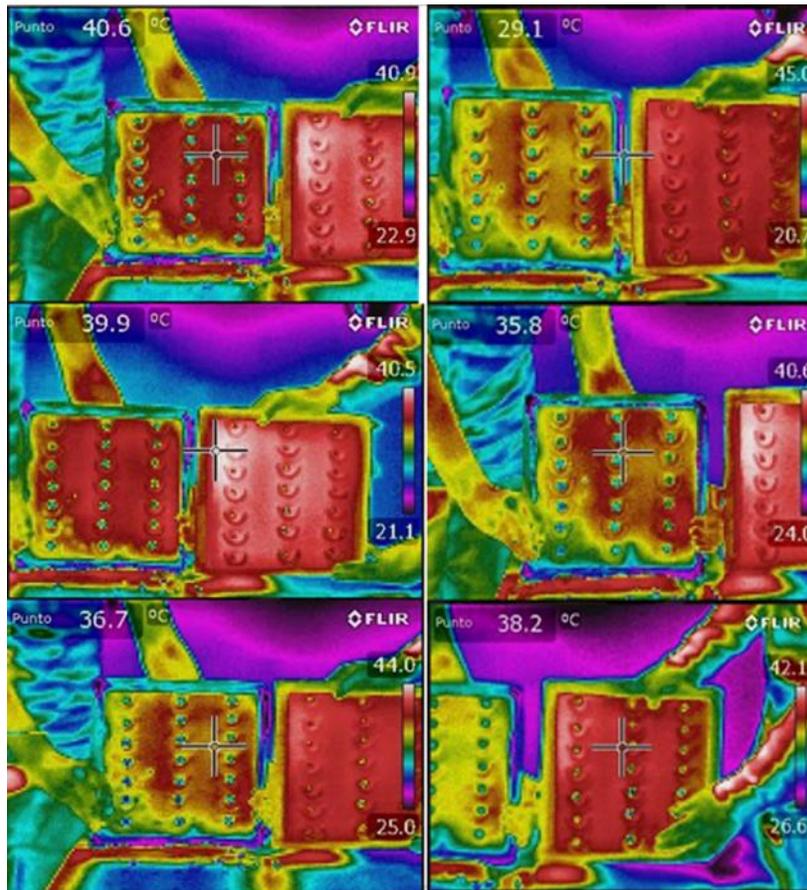


Ilustración 28 Múltiples tomas realizadas a las dos tabletas

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Durante 15 minutos se tomaron una serie de fotografías con intervalo de tiempo de dos minutos por cada toma. Esto con el fin de tener las diferencias de temperatura mediante el tiempo avanzaba. La última toma realizada con la cámara de termografía arrojó una notable diferencia de temperatura entre ambas tabletas, las zonas azules y moradas se encuentran un promedio de 25° y 27 grados más frescas respecto a la otra tableta. Cabe resaltar que los hidrogeles tienden a deslizarse a la parte inferior de la tableta debido a

la incidencia de la gravedad. Por otro lado, las diferencias de temperatura evidencian la capacidad de los hidrogeles de descender la temperatura en todo el elemento

Las zonas verdes de la tableta sin hidrogeles son producto de que previamente había sido mojada, estas zonas se encuentran aproximadamente a 36 C°, lo que refleja una gran diferencia entre ambos elementos; también se puede observar que las zonas rojas en la tableta alcanzan los 45 C°.

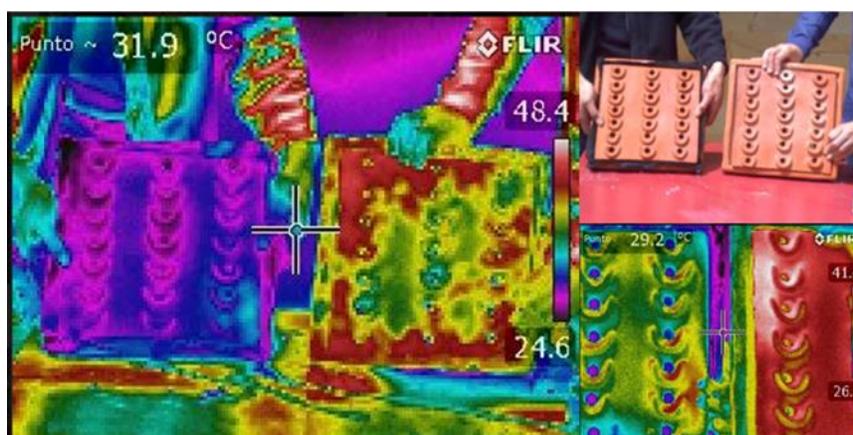


Ilustración 29 A la derecha, diferencia de temperatura entre ambas tabletas. En la esquina superior derecha la fotografía normal; y en la esquina inferior derecha diferencia de temperatura después de 15 minutos

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

6.2. Realización ensayo con túnel de viento.

El ensayo con túnel de viento fue realizado en el laboratorio de bioclimática de la universidad La Gran Colombia, con el apoyo del tutor Juan David Giraldo Gallego, para este ensayo se utilizó permite ver la cantidad de flujo de aire que es capaz de atravesar la tela y el hidrogel.

- En primer lugar, se analizó la cantidad de flujo de aire generada por el túnel de viento, que era capaz de atravesar la tableta sin tela ni hidrogeles en su interior, esta medición se desarrolló con el termoanemómetro.



Ilustración 30 Primer ensayo de túnel de viento, la tableta no contenía tela ni hidrogeles

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Efecto Venturí

En este primer ensayo la cantidad de aire que lograba pasar por los orificios de la tableta no se alcanzaba a medir, por esta razón se decidió recortar el espacio de circulación de aire para aumentar la velocidad del viento y tener mejores resultados.



Ilustración 31 Segunda medición del paso del viento por los orificios de la tableta

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

6.2.1. Tela geotextil absorbente

Después de haber generado que la velocidad del viento se acelerara debido al efecto Venturi, por los orificios hubo una mejor circulación de aire y se dispuso a utilizar el prototipo con hidrogeles y tela geotextil absorbente en su interior.



Ilustración 32 Ensayo de túnel viento a la tableta con hidrogeles y tela geotextil absorbente en su interior.

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Se analizó el comportamiento de la tela geotextil para permitir el paso del flujo del aire, se realizó las mediciones, pero la tela no permitía la circulación del flujo del aire debido a su composición de material grueso. El termoanemómetro arrojaba resultados de velocidad del viento que era inferior a 1m/segundo; y desde luego no se podían hacer los análisis correspondientes de humedad y comprobar la evaporación; por esta razón se propuso una a tela de algodón con mayor capacidad de absorción y una composición de material más liviana que permitiera un mejor paso del viento.

6.2.2. Tela absorbente de algodón

Ya identificado que el paso del aire se limitaba por el geotextil, se decide hacer la comprobación del ensayo con la tela de algodón absorbente en el túnel de viento, también se observó con esta tela que el paso de flujo de aire se encontraba limitado por la cantidad de hidrogeles que, contenida el prototipo, así que se decidió bajar el contenido en gramos de hidrogel en el prototipo a 8 gramos.

Se pudo observar un mejor comportamiento del prototipo frente a la velocidad del viento, gracias a que la tela permitía de un flujo mayor de viento. La comparación entre ambas telas se puede ver en la siguiente ilustración.

COMPARACIÓN

Telas usadas en las tabletas



Geotextil absorbente.

Tela absorbente de algodón

Características:

1. Tiene la mitad de capacidad de absorción de la tela de algodón.
2. No elástica, lo que no permite el paso del flujo del aire.
3. Contiene por más tiempo la humedad, lo cual es una ventaja para el hidrogel

Características:

1. Posee una mayor capacidad de absorción que el geotextil, pero el agua tiende a evaporarse con mayor rapidez.
2. Tiene más elasticidad y es más delgada lo que permite aprovechar mejor el espacio dentro del panel.



Ilustración 33 Paso del aire caliente en el prototipo con un calefactor

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

En el túnel de viento se calentó el aire a una temperatura cercana a los 21C° con la ayuda de un calefactor de ambiente y con el fin de aprovechar a l máximo la velocidad de viento emitida por el túnel de viento.



Porcentaje de humedad y temperatura durante la prueba.

Porcentaje humedad y temperatura dentro del túnel del viento luego de la prueba

Ilustración 34 Comparación entre el porcentaje de humedad durante y después de la prueba

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Se realizaron las mediciones del porcentaje de humedad emitido por el prototipo por el flujo de evaporación que arrojaban resultados de un aumento en el porcentaje de humedad en el aire, además de un descenso de la temperatura de 2 C°. Esta comparación entre ambas temperaturas determina que con el proceso de evaporación de agua en las tabletas es posible generar un descenso en la temperatura al paso de una corriente de aire por las mismas y debido a la capacidad de la cerámica de tener una baja transmitancia térmica e impedir el paso de la temperatura por el material.

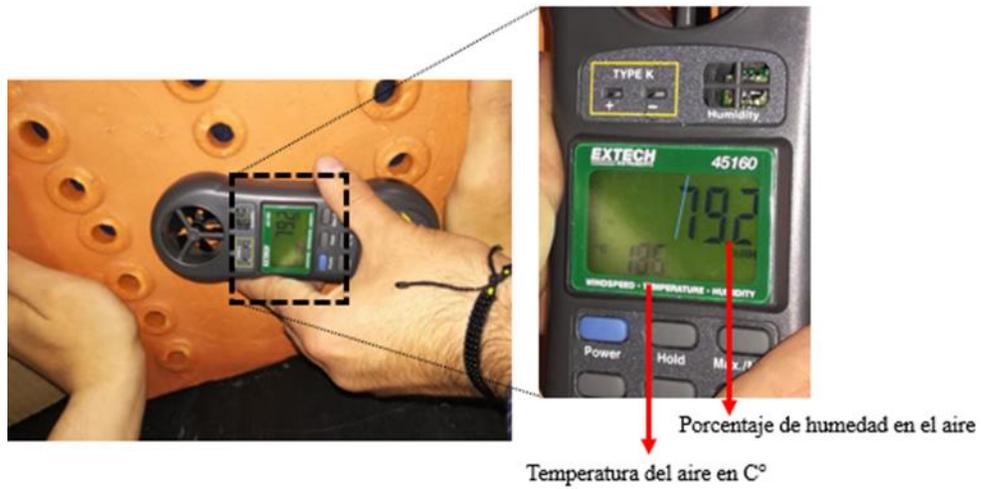


Ilustración 35 Porcentaje de humedad más alto tomado en la prueba de túnel de viento

Fuente de Elaboración propia autores Sierra y Vanegas

7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Ensayo con cámara de termografía

Este ensayo tuvo como resultado un descenso notable de la temperatura entre ambas tabletas, producto del trabajo de los hidrogeles dentro de la tableta. En la siguiente tabla se muestran los datos arrojados por el ensayo sobre las diferentes temperaturas registradas a lo largo de un periodo de 15 minutos.

Tomas con la cámara termográfica	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Temperatura final
Temperatura tableta sin tela ni hidrogeles	40C°	40°	37C° (se humedece el panel)	35C°	36 C°	36C°
Temperatura tableta con hidrogeles	40C°	35C°	31C°	27C°	24.6C°	24.6 C°
Tiempo entre tomas	3 min	3 min	3 min	3 min	3 min	15 min

Ilustración 36 Resultados de las tomas con la cámara

Fuente de elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Se puede apreciar una diferencia de la temperatura de 15 C° respecto a temperatura inicial del ensayo, en cada toma la temperatura desciende aproximadamente 3C° por toma, en la ilustración 27 se puede apreciar la diferencia de temperatura.

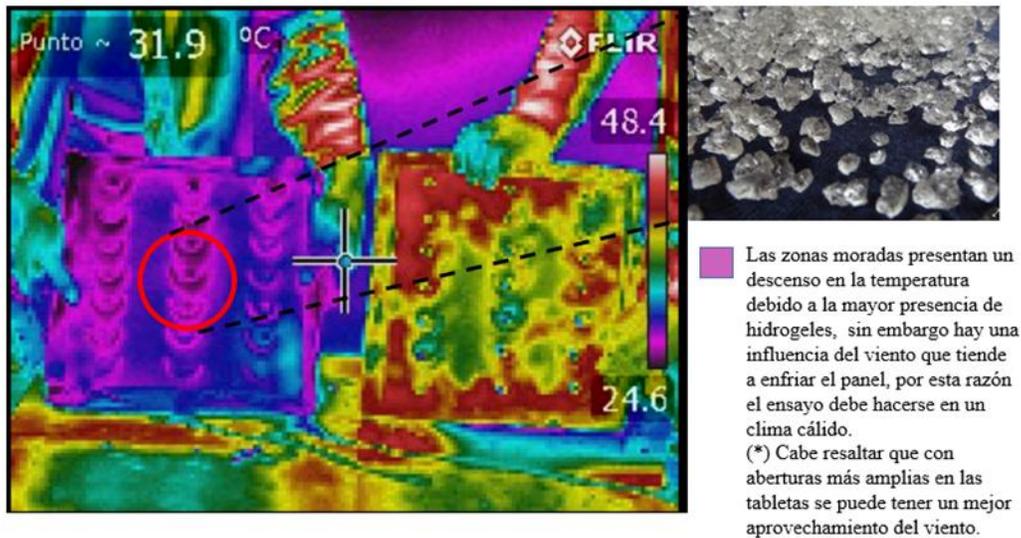
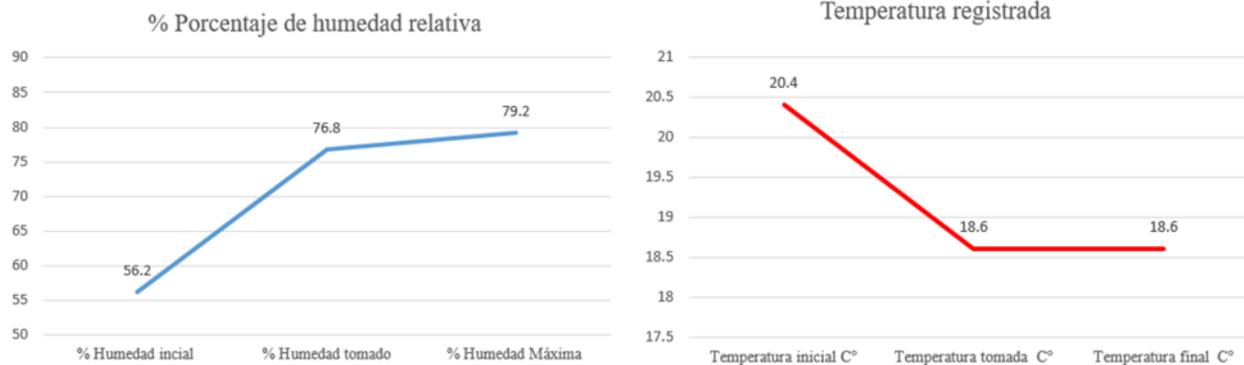


Ilustración 37 última toma registrada por la cámara termográfica, la temperatura en la tableta con hidrogeles es de aproximadamente de 24C° a 28C

Fuente de elaboración propia autores Sierra y Vanegas

Ensayo con túnel de viento

Los resultados de este ensayo arrojaron dos variables importantes, una es el porcentaje de humedad contenido por el aire a paso del prototipo y la temperatura registrada durante la prueba. En las siguientes graficas se muestra a fondo los valores predeterminados dentro del ensayo:



En la primera medición se registra un porcentaje de 56.2% de humedad relativa en el aire al momento de atravesar el prototipo, con el paso de los minutos la escala tiende a elevarse y se observa un aumento al 76.8% de humedad. Partiendo de estos datos, se puede analizar que el comportamiento del paso del flujo del aire al momento de atravesar el prototipo es que tiende a incrementar la humedad del aire, lo que por ende produce un descenso en la temperatura del aire comprobando un efecto de refrigeración por evaporación. Se ve reflejado en ambas gráficas que los valores de humedad tienden al ascenso mientras que los

valores de temperatura tienden a disminuir. También se puede observar que el cambio de la tela fue un factor clave para un mejor paso del flujo del aire por el elemento.

La temperatura más baja registrada fue de 18.6 C° y se mantuvo en esa escala por la mayoría de tiempo del ensayo, así mismo el porcentaje de humedad más alto alcanzado fue del 79.2% y se mantuvo de la misma forma durante el ejercicio comprobación.

7.1. Análisis de los resultados

En el ensayo realizado con cámara termográfica se puede observar que se obtuvo un claro descenso de la temperatura en la tableta con hidrogeles, lo que infiere que el comportamiento de este material frente a la incidencia de la radiación emitida por el sol, permite generar una superficie más fresca que la no tenía hidrogeles. Así mismo las evidencias señalan un descenso de la temperatura de la superficie en más de 15 C° con una incidencia solar predominante, lo que respalda el hecho que el hidrogel es el mecanismo más importante en todo el proceso de refrigeración para las tabletas. Cuando se procedió a rociar el otro panel las diferencias mostraron que las zonas verdes en la fotografía se encontraban aproximadamente a 31C° una diferencia que ya había superado el panel con hidrogeles.

Sin embargo la temperatura ambiente de la ciudad de Bogotá no es el clima ideal para hacer el ejercicio exploratorio, pero los resultados son satisfactorios si se tiene en cuenta que las condiciones para generar un confort térmico debe estar en temperaturas oscilantes entre los 24C° y los 27C°, lo que lograría una pérdida de ganancia de energía por parte de los ocupantes de la edificación en un clima con temperaturas superiores a los 28C°, es decir,

una pérdida de energía que la fachada de Hidrotab puede absorber y generar espacio más frescos.

Como desventajas cabe resaltar que las propiedades físicas de la cerámica deben ponerse a prueba de igual forma, y ser confrontadas con otros materiales que permitan conservar la temperatura y tengan una mala conductividad térmica, esto con el fin de validar que es el material ideal para este ejercicio.

Para el caso del ensayo del túnel de viento, hay una serie de análisis que se deben tener en cuenta.

- La velocidad del viento que se utilizó en el ensayo demuestra que el lugar ideal para que el sistema sea ubicado es en la fachada predominante del viento, porque de otro modo la refrigeración por evaporación no alcanzaría su grado máximo de utilidad. Se necesitó calentar el viento antes del ensayo para poder determinar los valores de temperatura después del mismo, así que las condiciones y resultados pueden ser diferentes en un clima más cálido y con poca humedad relativa.
- Las dos telas usadas durante el ensayo, funcionaron muy bien absorbiendo el contenido de humedad de los hidrogeles logrando uniformidad en la temperatura dentro de la tableta, sin embargo, para el paso del flujo del aire a través de la tableta lo ideal es una tela más delgada y con una composición más elástica. La comparación entre telas determino que ambas pueden funcionar en el prototipo, si las aberturas de la tableta son más grandes y permiten un mejor paso del aire, esto por supuesto permitiría alojar más hidrogeles y proporcionar más humedad al aire.

- En los resultados de las pruebas se puede evidenciar una tendencia a la baja de la temperatura del flujo de aire que circula, esto está relacionado con la evaporación y la pérdida del contenido de agua que los hidrogeles tenían en un principio, las partículas de aire salen saturadas de un contenido más alto de agua lo que produce una disminución eventual de la temperatura en el flujo de aire. Esto respalda la teoría de que los hidrogeles sí tienen la capacidad de liberar su contenido de agua al ambiente, sin perder todo el contenido restante gracias a su capacidad de conservar la humedad por mucho más tiempo.

Por último, el porcentaje de humedad del ensayo es influenciado por el clima de Bogotá que se encuentra saturado de humedad relativa, lo que indica que el procedimiento en un clima más seco y cálido arrojaría un descenso más pronunciado de la humedad inicial, colocándola en un rango del 60% aproximadamente.

8. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los ensayos realizados a las dos tabletas se puede inferir, que la disminución de la temperatura reflejada en los dos ensayos en condiciones particulares se debió en gran medida al comportamiento de los hidrogeles frente a los cambios de velocidad del viento e incidencia solar, los cuales son factores climáticos predominantes para la ubicación del sistema. Por esta razón el sitio ideal es la fachada y no otro espacio de la edificación, se puede contemplar la idea de su ubicación en la cubierta, pero esta debe cumplir con unos parámetros de inclinación para el máximo aprovechamiento del viento.
2. Además, los hidrogeles son los principales responsables de toda la dinámica del sistema, este material tiene una gran capacidad de absorción y conservación del contenido de humedad, lo que permitiría su uso en condiciones más adversas de precipitaciones. La cantidad de los mismos no es un factor determinante para una mejor evaporación, sino por el contrario la distribución de los mismos debe hacerse de manera equitativa por toda la tableta, así que el sistema de anclaje debe asegurar una buena presión de la tableta e impedir que se deslicen a la parte inferior de la misma.
3. El sistema sí logra un descenso de la temperatura del ambiente y un aumento de la humedad lo que provoca una refrigeración por evaporación. Con este fin el diseño de la tableta debe permitir una mejor circulación del aire con unas aberturas de un mayor diámetro, lo que ayudaría en este proceso físico. Debe comprobarse en un ambiente con las condiciones requeridas para su fin, un lugar con baja humedad relativa e incidencia de radiación alta, así que sí es posible su

implantación en las diferentes zonas de Colombia que cumplan con estos requisitos.

4. En términos de factibilidad económica lo referente a costos de materia prima, se puede concluir que los materiales usados son de bajo costo y adquisición lo que permite su producción. Sin embargo, se deben explorar más alternativas de uso para el caso de la cerámica. En lo referente a la construcción de los mismos no requiere mano de mano de obra especializada para su instalación e armado. Los costos de los hidrogeles no son elevados para su implementación en un sistema de fachada si se contempla el hecho de su adquisición es de bajo costo. Comparado con otros sistema de fachada convencionales el costo por m² de este sistema ronda los 48mil pesos, que es un bueno precio de inversión inicial para el sistema de fachada

9. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Comprobar e implementar el prototipo en un sitio o área de temperatura promedio superior a los 23 C°, con el fin de verificar su funcionalidad y factibilidad de acuerdo a la aplicación de los ensayos realizados en la investigación.
- Realizar ensayos más específicos de comportamiento térmico de cada uno de los materiales al igual que ensayos de resistencia mecánica de las tabletas en laboratorio de materiales.
- Implementar el prototipo en una edificación y comprobar su funcionalidad y durabilidad. Estudios de análisis de ciclo de vida.

10. BIBLIOGRAFÍA

Cañada Soriano, M. a. (2016). *Termografía infrarroja: nivel II*. Madrid, ESPAÑA: FC Editorial.

conditioning Academy, L. (2012). *Principios basicos & sistemas inverter*. Madrid: LG.

Goríbar, E. H. (2010). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. México DF: Limusa .

Neila Gonzalez, J., & Bedoya Frutos, C. (1997). *Tecnicas arquitectonicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*. Madrid: Munilla-Leira.

Ribot Martín, J. a. (2010). *Guía rápida de necesidades térmicas para calefacción y aire acondicionado*. Barcelona: Ediciones Experiencia.

Yarke, E. R. (2011). *Ventilación natural de edificios* . Bogotá : Nobuko.

