

PROYECTO Y TESIS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE IRRIGACIÓN Y ESPACIOS TEMPLADOS EN LA CIUDAD DE LOS ANDES

BORIS IVELIC

Arquitecto e[ad] PUCV

MARCIAL VALENZUELA

Arquitecto Universidad de Valparaíso

RAMIRO MEGE

Ingeniero consultor; Escuela de Mecánica PUCV

OT

EDIFICIO, CLIMA EXTREMO, AIRE TEMPLADO, MODELO

INTRODUCCIÓN

Esta tesis aborda por primera vez en el magíster de la e[ad], el aire como materia arquitectónica. Anteriormente se estudió como energía aerodinámica, a través del túnel de viento. Lo nuevo es tratar el aire como materia para templarlo en un gran interior. Empleamos la palabra templar en el sentido de suavizar la fuerza de algo, sin extremar nada. Tal como José Vial se refiere al valle transversal de Chile:

Se intercala entre el norte cálido y el centro templado. Es tan favorable a la vida lo particular de su lugar y tan perfecto el equilibrio entre el clima, los cerros, la tierra y el agua, que aun los viejos y los que están cansados de una vida de trabajo quieren venir a vivir aquí o a morir, en esta medianía que facilita la existencia (J. Vial, 1986, p. 44).

La palabra aire para los griegos (*air*) indica movimiento “hacia arriba”, levantar, alzar. Anaxímenes

EL EXTRACTO DEL PROYECTO Y TESIS QUE PUBLICAMOS PERTENECE A MARCIAL VALENZUELA, INSCRITO EN ESTA MODALIDAD Y EXPLICITADO EN EL NÚMERO 4 DE ESTA REVISTA: “ACTO, FORMA & MODELO”.

LA TRADICIÓN DE LOS VALLES DE CHILE ES TENER UN EQUILIBRIO ENTRE EL AGUA Y EL CLIMA TEMPLADO, QUE FACILITAN LA EXISTENCIA. LA CIUDAD DE LOS ANDES, CONTRARIAMENTE, TIENE LA TEMPERATURA MÁS EXTREMA DEL VALLE CHILENO, QUE NO FACILITAN LA EXISTENCIA NI LA HOSPITALIDAD PARA SUS CIUDADANOS. LA TESIS SE INSCRIBE EN EL CONTEXTO DE UN PROYECTO URBANO PARA LOS ANDES, QUE GENERE INFRAESTRUCTURA DE IRRIGACIÓN EN EL PASO DEL RÍO ACONCAGUA POR LA CIUDAD, PARA MEJORAR EL REGADÍO DEL VALLE AGRÍCOLA, REUTILIZANDO EL PASO DE LOS CANALES PARA TEMPLAR EL AIRE DE LA CIUDAD. LA TESIS INTERVIENE ARQUITECTÓNICAMENTE, Y CON MEDIOS NATURALES, UN FRAGMENTO DE LAS CALLES DEL COMERCIO, TEMPLANDO EL AIRE Y EL ESPACIO, SOBRE EL PRINCIPIO FÍSICO DE EVAPORACIÓN, EXPERIMENTANDO CON UN MODELO A ESCALA REDUCIDA.

(570/526 a.C.) pensaba una cosmogonía en que el origen del universo era el aire o la niebla. Esta sustancia, afirmaba, se transforma en las demás cosas a través de la rarefacción y la condensación. La rarefacción genera el fuego, mientras que la condensación, el viento, las nubes, el agua, la tierra y las piedras; y a partir de estas sustancias se crea el resto de las cosas.

Para Anaxímenes, el soplo de vida es aire, el mismo aire que nos cohesiona, nos abraza. La sustancia infinita del que parten todas las cosas, así como en el hombre, es el aire que rodea todo y le da sentido. El aire está presente en el entorno y ayuda a la percepción del mundo. El aire es un vehículo en el que se transmite el sonido y el olor, e incluso es percibido por el tacto.

Si bien en nuestros días no son exactos estos conceptos, nos sorprende su visión global.

El aire, que es incoloro, inodoro e invisible, recoge otro rayo invisible: la luz, que al incidir contra la atmósfera, la hace visible por dispersión, a través de partículas difusoras: moléculas de aire, nitrógeno, oxígeno, polvo, humedad, hollín. El rayo luminoso se dispersa en ellos y según el grosor de aire que atraviesa, el azul, de corta frecuencia, se dispersa antes y el cielo se vuelve azul y en el atardecer amarillo, naranja, rojo, captado por nuestros ojos. Los astronautas llamaron a la tierra el planeta azul.

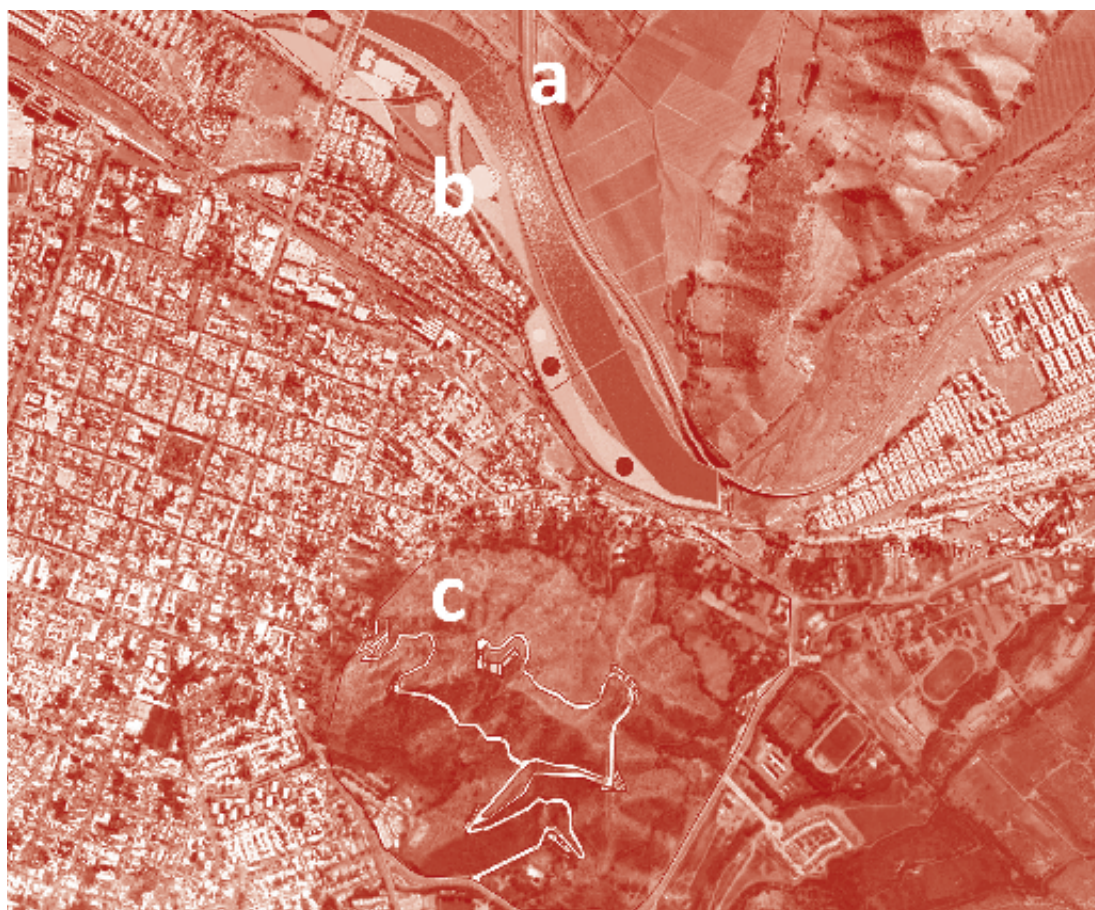


Figura 1: Proyecto general: a. Sistema de represas escalonadas, reguladoras de flujo; b. Balneario parque; c. Forestación cerro La Virgen y estanque de agua (enfriamiento calles céntricas).

La atmósfera iluminada por la luz proveniente del Sol es un privilegio de la Tierra; el cosmos es oscuro, no tiene atmósfera, oxígeno ni presión. Sin la presión atmosférica nuestros océanos se evaporarían. En la Tierra se puede estar a la intemperie, pero en la Luna nos herviría la sangre y estallaríamos sin la protección de un traje espacial.

A través de las moléculas de aire se propaga de manera ondulatoria el sonido –que también es invisible–, y lo percibimos a través de nuestros oídos. Sin aire no hay sonido. Asimismo, los olores y aromas –otro invisible– son captados por nuestra nariz, por donde además, junto a la boca, respiramos el aire que oxigena nuestras células y nos permite la vida.

El infrarrojo del sol –también invisible– templará las moléculas de aire percibido en nuestra piel por el tacto: sin aire tendríamos -270°C a la sombra y $+270^{\circ}\text{C}$ al sol.

Este infrarrojo calienta la superficie de la tierra y, dependiendo del calor específico de los suelos y superficies con agua, unos lugares se calentarán más (aire menos denso) y otros menos (aire más denso). Las masas de aire tenderán al equilibrio y se producirán vientos locales y continentales.

El aire contiene vapor de agua; este asciende, se condensa y se transforma en nubes, y al saturarse precipita, distribuyendo el agua en la tierra.

El aire es de todos y no es de nadie. Cuidarlo es un imperativo.

Esta tesis trata fundamentalmente este gas como materia arquitectónica, acompañado del agua y la energía solar “gratuitas”, como diría Miguel Eyquem, quien nos introdujo con maestría en el trato con este fluido.

Con este aire que trae tantos bienes al espacio, junto a la energía, se quiere volver hospitalaria la habitabilidad

de los principales espacios urbanos de la ciudad de Los Andes, sensibilizando la percepción a través del tacto y dando cabida a los demás sentidos, sin extremarlos, solo templarlos.

PROYECTO: INFRAESTRUCTURA CRÍTICA PARA LOS AFLUENTES DE IRRIGACIÓN DE LA CIUDAD DE LOS ANDES

Objetivos

Los objetivos planteados por este proyecto abarcan la realidad agrícola, el regadío, las altas temperaturas de la ciudad de Los Andes y su repercusión en el espacio urbano; ligado a sus elementos naturales: el río Aconcagua, el cerro de La Virgen y los canales de irrigación, y por tanto, es un proyecto urbano a gran escala, en que se complementan la arquitectura, el urbanismo y la ingeniería.

El proyecto reestructura los recursos hídricos del río, creando un sistema de represas escalonadas del Aconcagua para racionalizar el regadío agrícola y el paso de los canales por la trama urbana. Se crea un balneario-parque en torno suyo, como base de temperie del calor extremo de la ciudad en el verano. Un estanque de acumulación de agua en el cerro La Virgen permitiría la forestación del cerro y abastecer un sistema de enfriamiento en las calles céntricas. Río y cerro se transformarían en parques sombreados con agua: áreas verdes templadas, que oxigenan el aire y absorben el CO₂, donde puedan refugiarse sus habitantes del calor extremo. La ciudad de Los Andes tiene 3 m² de área verde por habitante; Santiago tiene 10; Valdivia, 20. Este déficit impide que sus habitantes acudan a espacios públicos de esparcimiento, ocio y frescor, donde pasar los días de verano. Este proyecto puede ser desarrollado profesionalmente por los ingenieros con los conocimientos conocidos y probados de la hidráulica.

Así la técnica moderna y el manejo del agua pueden establecer relaciones y magnitudes no solo de “vecindad”, sino de “orden ciudadano”.

Sin embargo el poder de transformación de la naturaleza por los ingenieros es unilateral, y debe darse en una relación con la arquitectura no excluyente ni de residuos que la arquitectura convertirá en jardines u obras meramente decorativas. Debe ser una relación fecunda, que dé cabida a uno y otro oficio, para generar obras complejas. Obras que trasciendan la solo funcionalidad y protección de la ciudad. Hacer del agua un “elemento urbano”, capaz de crear un

nuevo orden ciudadano, que dé figura y orientación a la ciudad (J. Vial, 1986, p. 49). (Figura 1).

Tesis: Espacio templador de la ciudad en torno a sus afluentes

Requiere de la existencia del proyecto y reduce su campo de estudio a un aspecto desconocido de este: templar el aire.

Este es el acto de la tesis y a ella se dirige la hipótesis.

Templar, como ya lo expusimos, se define como moderar o suavizar una cosa: ni frío, ni caliente.

Se trata de templar el aire, fundamentalmente con energías naturales y materias que provee la naturaleza: aire, agua y sol, en el contexto de transformarlas a través de la forma arquitectónica para la habitabilidad y hospitalidad de sus habitantes.

Habitualmente esto se resuelve mediante máquinas y energías derivadas del petróleo. Con alto costo, y contaminando el propio aire que queremos cuidar.

Es más fácil recurrir a mecanismos forzados (aire acondicionado, bombas de calor) que provee el comercio, que la de estudiar su reemplazo por las energías que nos da la naturaleza: no contaminantes, renovables y sustentables, pero que requieren tiempo de estudio y experimentación en modelos.

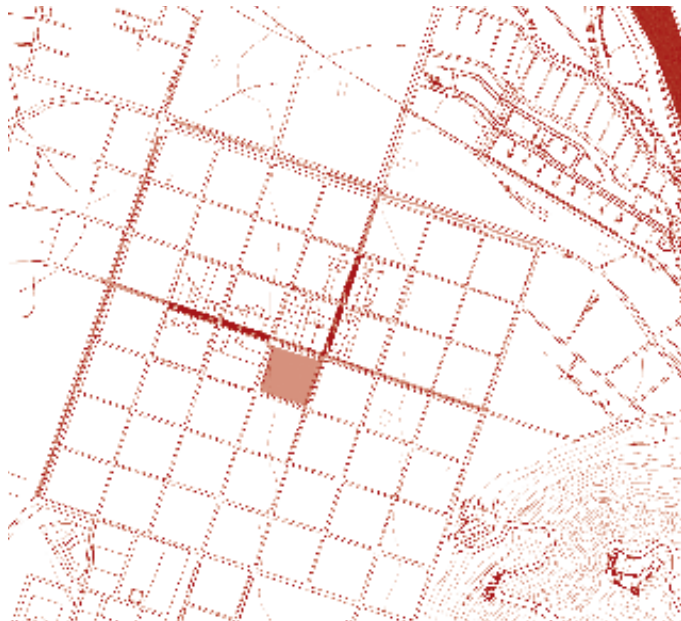


Figura 2: Tesis. Ubicación de los módulos templadores: calle Maipú y calle Esmeralda, que convergen en la plaza del damero.

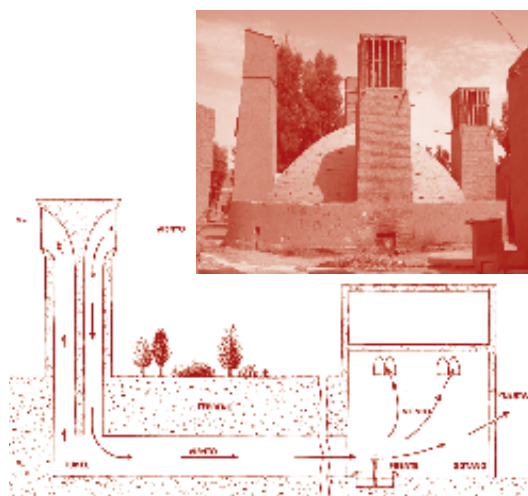


Figura 3: Casas de Irán. Torres eólicas ventilan y enfrían las casas con la forma y las energías naturales.

Esto es trabajar a favor de la naturaleza y obtener una energía “gratis”, con un manejo sabio de las formas. Es lo que hoy se llama sustentable. No abusar ni agotar el planeta (Eyquem, 2015). (Figura 2).

Las milenarias casas de Irán

Un ejemplo notable es la concepción de las casas del desierto de Irán, de clima extremo. Desde hace milenios temperan sus casas mediante torres eólicas que permiten ventilar y enfriar sus casas con solo abrir y cerrar puertas, mediante torres compartimentadas y corrientes convectivas, extrayendo el aire caliente hacia lo alto (menos denso) por una fachada e inyectando aire frío (más denso) descendente por la otra, de acuerdo a su orientación. (Figura 3).

Es la forma arquitectónica la que transforma la energía, un tamiz que temple el sol, el aire, la humedad, el sonido, la temperatura, el olfato, para dar hospitalidad a quienes moran los espacios interiores, sin recurrir a mecanismos forzados. El arquitecto debe ser un experto en el trato con estas energías como también lo debe ser con los órganos sensoriales del cuerpo, en los que estos fenómenos energéticos inciden directamente. Fenómenos que si son mal tratados, inciden en la salud física y mental de sus moradores. Se trata de templar estas energías. Arquitectos y diseñadores deben conocer la fisiología de nuestros sentidos con los que percibimos y admiramos las obras que ellos nos regalan.



Figura 4: Canales de irrigación, la sombra de los árboles y el frescor del agua (evaporación) “templan” el aire en los espacios públicos de las calles de Mendoza.

Los canales de Mendoza

El automóvil se apoderó de la ciudad, circulando o estacionado en aceras peatonales, desplazando y contaminando su aire. Sin embargo, en el valle de Mendoza, las autoridades han recuperado importantes avenidas y céntricas calles, transformándolas en peatonales, con arboledas y canales abiertos de irrigación. Se modifica el espacio público no solo para los trámites que se deben realizar, sino como lugares para caminar, pasear, vitrinear, detenerse en un café o en un restaurante a charlar, tomar el fresco bajo un toldo o un árbol, o simplemente para mirar o leer. En Los Andes, eso se perdió. (Figura 4).

Experiencias cotidianas

- Los exploradores saben muy bien que mojando la tela del forro de su cantimplora en presencia de sol –y ojalá viento– se genera evaporación, manteniendo frío el líquido que contiene.
- Durante los primeros años de fundación de Ciudad Abierta no contamos con electricidad. Para conservar los alimentos básicos diseñamos y construimos un refrigerador solar y eólico. Consistía en un cilindro de aproximadamente 1 m de largo por 60 cm de diámetro y una puerta en el largo. Forrado en tela de arpillera con un estanque superior irrigador de agua que, gota a gota, mantenía húmeda la tela. Se ubicaba bajo una estructura orientada al viento sur y al sol. Igual que en la cantimplora, la temperatura interior se mantenía a cinco grados menos que en el exterior.

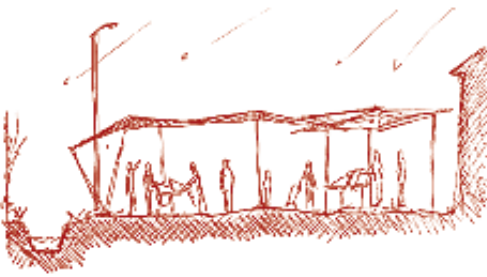
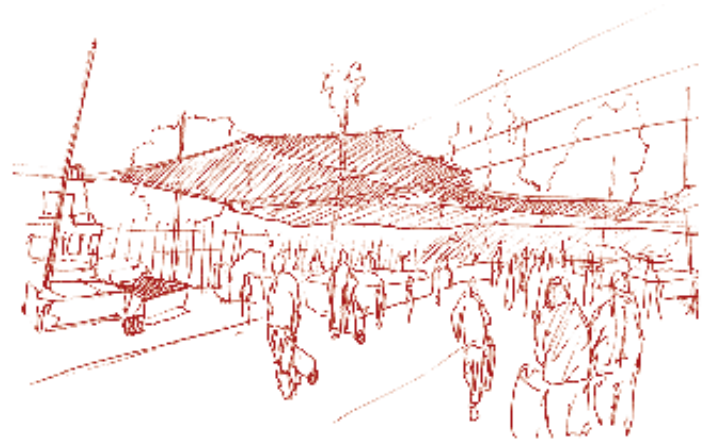


Figura 5: Croquis. El toldo negro de sombra, la brisa y el canal generan frescor en la feria de Los Andes.



- Para conservar fría una sandía hay que envolverla en una toalla mojada, ojalá al viento y al sol.
- Para evitar dolor con una inyección, se coloca una gota de alcohol en el brazo y se sopla. El alcohol, muy volátil, enfría rápidamente la zona del brazo, volviéndolo insensible al pinchazo. (Ver Figura 5).

Principio físico

El agua para evaporarse requiere de energía para cambiar de estado y esa energía la toma del aire que la rodea, enfriándolo, siempre y cuando ese aire no esté saturado de humedad, es decir, la humedad relativa debe ser lo más baja posible. Si adicionalmente el agua esta más fría que el aire, hay una transferencia de calor al agua, calor sensible. La evaporación es calor latente, mucho más efectiva. El proceso de enfriar por medios forzados requiere utilizar aproximadamente cinco veces más energía que calefaccionar.

La luz negra

En los primeros ensayos realizados para enfriar el aire, verificamos que un manto negro retiene las ondas infrarrojas y no las refleja, logrando mayor vaporización y enfriamiento, con un promedio de 7° C menos de temperatura que un manto blanco.

¿Cómo trabajar con luz negra? La Casa de los Nombres, obra efímera construida en 1992 con motivo de la exposición de los 40 años de la Escuela de Arquitectura y Diseño UCV, llevaba como cubierta unos casquetes de malla Raschel negra doble, con un polietileno entremedio y unos canales traslúcidos para recoger el agua lluvia. Estos canales se transformaron en arbotantes luminosos. El resultado fue que la luz cruda de la duna, donde estaba erigido el pabellón, se transformó en luz tenue, templada. Luz de sombra como un árbol frondoso. El exceso de luz lo asociamos al calor y la sombra, al frescor. (Ver Figura 6).

Hipótesis

Templar, mediante el principio físico de evaporación, utilizando agua, sol y aire a través de un manto modular tensado negro, cónico (efecto chimenea), lo que genera sombra en la calle. Por el interior del manto se irriga agua pulverizada (microgotas) de evaporación instantánea. Por el exterior, va un sistema de irrigación de agua (gota a gota). Ambos sistemas son asistidos por un ventilador para provocar la evaporación. Por el perímetro del manto, se coloca un sistema de tubos (chimeneas), que extrae el exceso de humedad y evita la saturación del aire.



Figura 6: Casa de los Nombres. La "luz negra" templada la luz cruda de la duna mediante nervaduras luminosas.

Metodología

Para demostrar la hipótesis recurrimos a un modelo a escala reducida 1:10. Realizamos las pruebas en Los Andes, haciéndolas coincidir con los pocos días de 30° C de temperatura (escasos en los meses de invierno, julio y agosto). Es la primera vez que se realiza un modelo para temperar el aire. Lo ideal es contar con una cámara climática en la que se ubique el modelo y se gradúe su temperatura interior mediante una bomba calórica (desde -10° C hasta + 40° C), y mediante sensores recoger los datos en un software. (Ver Figura 7).

Resultados

(Figuras 8, 9, 10, 11 y 12).

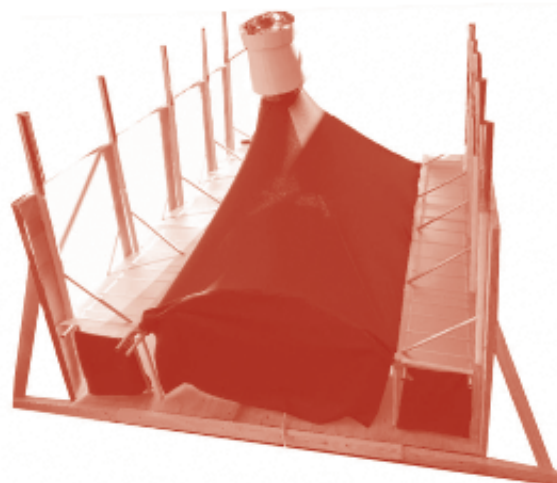


Figura 7: Modelo de prueba. Escala 1:10 (90 × 180 × 80 cm). Materiales: terciado, tela lycra, cable de acero, tubos de PVC y cobre, manguera plástica, válvulas gota a gota y pulverizadoras; ventilador de 10 cm de diámetro, campana o cráter en cartón al esmalte. Mediciones con anemómetro marca Kestrel, modelo 4500. Se mide temperatura, humedad y velocidad del aire.

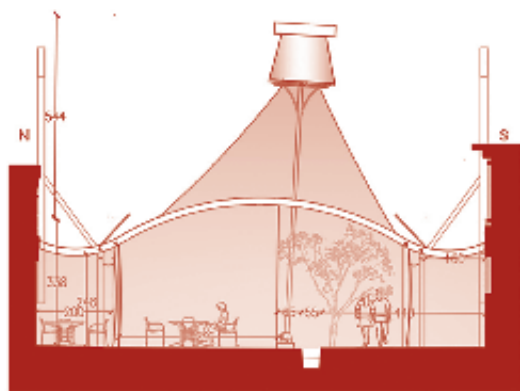


Figura 8: Corte esquemático longitudinal del manto negro de un módulo.

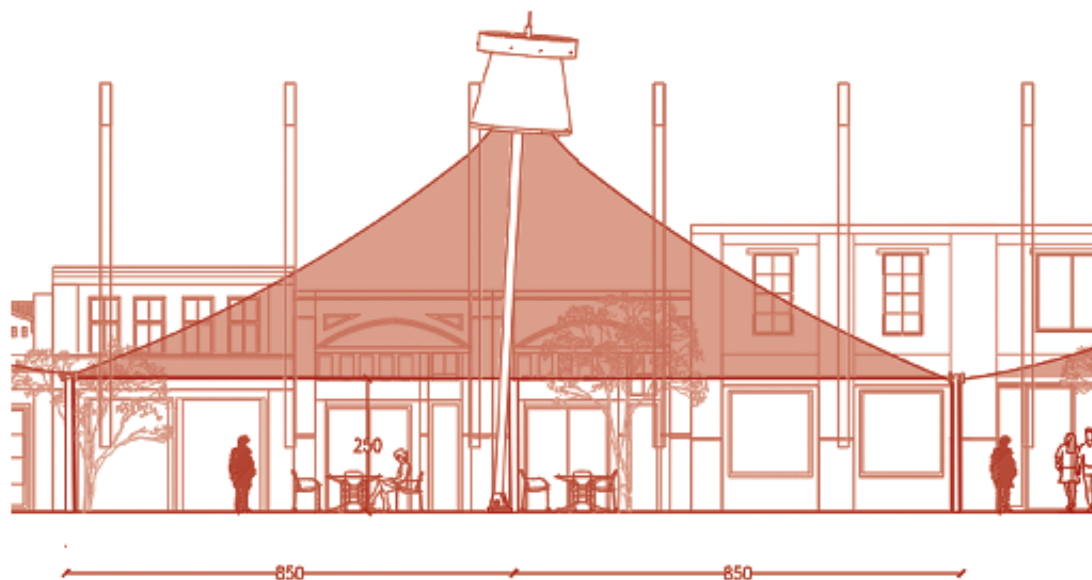


Figura 9: Corte esquemático transversal.



Figura 10: Perspectiva módulos de temperación.

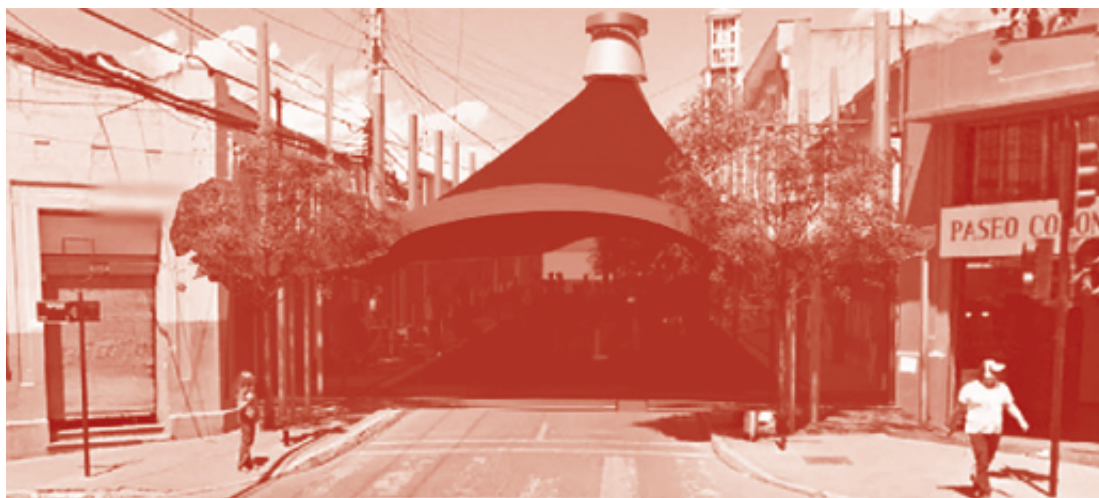


Figura 11: Fotomontaje de los módulos.

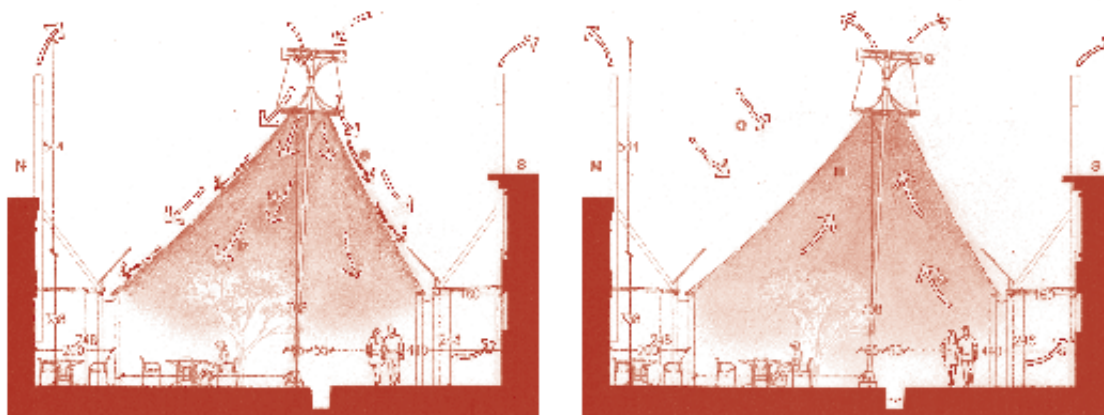


Figura 12: Funcionamiento y resultados del modelo de prueba.

Conclusiones

Lo sorprendente es que la temperatura haya descendido 18° C. Asimismo lo alto del factor enfriamiento del manto se explica por las corrientes convectivas del efecto chimenea del cráter central y de los tubos externos de extracción del exceso de humedad. Si a esto le agregamos el ventilador, forzando la salida del aire hacia el exterior por el cráter, se podría optimizar aún más este factor.

Esto permite, de acuerdo a la temperatura ambiente, introducir gradualmente cada factor de enfriamiento a través de una programación digitalizada, manteniendo templado el aire.

Al único elemento forzado al que debemos recurrir es a un ventilador, por ausencia de viento natural en el damero de Los Andes. El consumo es mínimo, se contemplan paneles solares, sin costo y sin daños al aire, para la electrificación general del módulo.

Dentro del equipamiento de laboratorio no contamos con una cámara climática que permitiera ensayar con cualquier temperatura, independiente de la del medioambiente. Solo pudimos experimentar con las condiciones climáticas buscadas (cercas a 30° C, en algunos días de agosto). Este equipo aceleraría el proceso de verificación, arrojando resultados más exactos.

Hipótesis para mejorar el modelo en la eventualidad de nuevas pruebas:

- Hermetizar el manto, evitando entradas de aire no controladas. La entrada de aire será exclusivamente a nivel de acequia, para que esta inicie el proceso de enfriamiento.
- Otorgar movilidad al ventilador (giro en 180°) para extraer o inyectar aire. Estas mejoras podrían elevar el factor manto y ventilador.

FUENTES

- Baixas, J. & Ivelic, B. (1972). "Sistemas de Tratamiento de la Energía". Apuntes del curso.
- Bardou, P. & Arzoumanian, V. (1980). *Sol y Arquitectura*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Cruz, F. & Ivelic, B. y Zahr, S. (1992). "Escuela de Arquitectura: Casa de los Nombres". Revista CA (87).
- Eyquem, M. (2018). "Discurso Encuentro Universidades Católicas". Citas.
- Ivelic, B. (2006). "Principios y leyes físicas, a través de modelos". Apuntes del curso. Magíster N&M, e[ad] PUCV.
- Mehdi, N. (1978). "Sistemas pasivos de refrigeración en la arquitectura iraní". Revista *Investigación y Ciencia* (19).
- Ponte, J.R. (2016). "El sistema de acequias y arboleda urbana como patrimonio cultural." *Edición U* en <https://www.universidad.com.ar/el-sistema-de-acequias-y-arboleda-urbana-como-patrimonio-cultural>
- Segura, E. (2006). *Espacio y Energía*. Apuntes del curso. Magíster N&M, e[ad] PUCV.
- Vial, J. et al. (1986). "Quillota y el Aconcagua". Revista CA (46).