



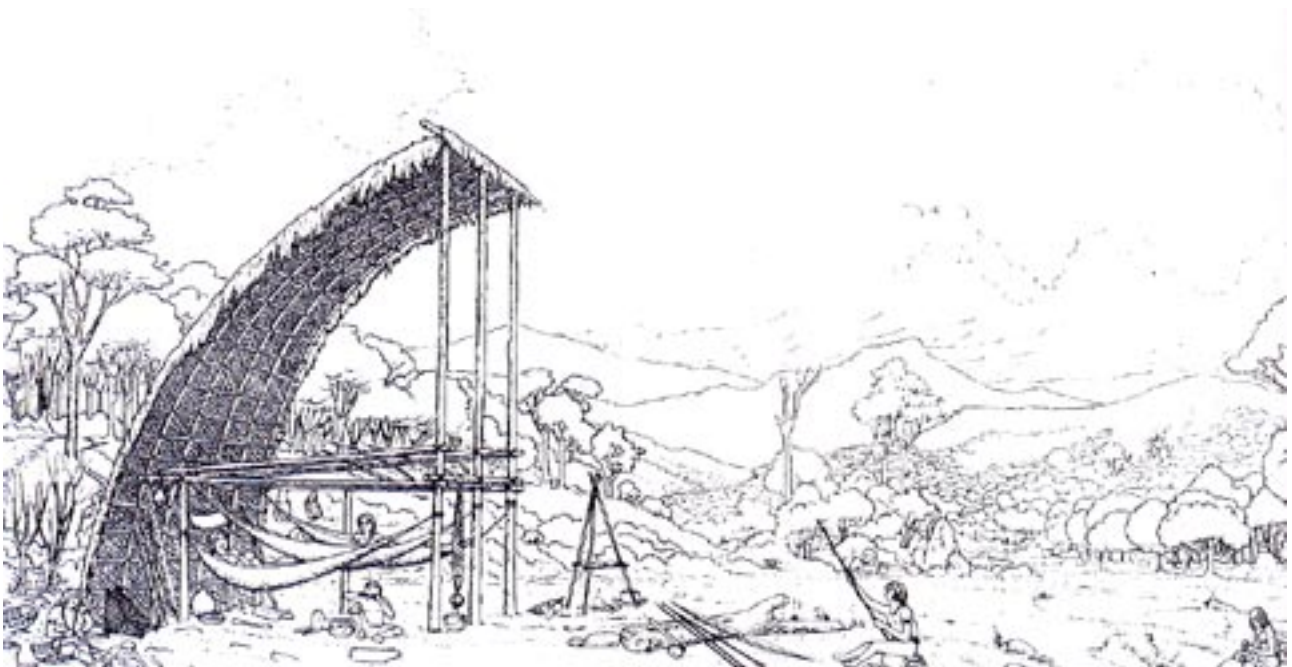
Fundación Príncipe Claus para la
Cultura y el Desarrollo

INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL

FUNDACION PRINCIPE CLAUS PARA LA CULTURA Y EL DESARROLLO

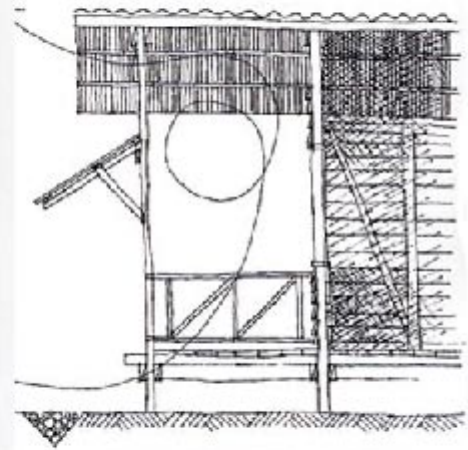
LA CREATIVIDAD EN EL TECHO BIOCLIMÁTICO TROPICAL

Bruno Stagno
COSTA RICA





LIMON, COSTA RICA



**corredor con doble
alero y tiraje**

Bruno Stagno

El paper original, "La creatividad en el techo bio-climático tropical" fue presentado por primera vez en CLACSO4-ENTACO4, San Pablo, Brasil, 2004.
arq. Bruno Stagno
Director Instituto de Arquitectura Tropical,
San José, Costa Rica
stagno@racsa.co.cr
www.arquitecturatropical.org
www.brunostagno.info

RESUMEN

1- Una condición para alcanzar el desarrollo sustentable es hacer intervenir una arquitectura que contemple el bioclimatismo, como una práctica habitual de diseño, para lo cual es necesario modificar el enfoque convencional del diseño arquitectónico.

2- Al sol y la lluvia, y sus derivados de alta temperatura y humedad, la arquitectura tropical debe responder con responsabilidad. Los techos tipo paraguas han sido una constante en la latitud tropical, pues han desempeñado su cometido con eficiencia, sin embargo es conveniente reconsiderar su forma incorporando los recursos ambientales locales para mejorar su función en el comportamiento energético.

3- Se presentará un panorama universal con ejemplos históricos y regionales para culminar con estudios de casos contemporáneos incluyendo ejemplos con mediciones de temperatura, humedad relativa, iluminación, etc.

4- Se demostrará qué creatividad se requiere para las funciones adicionales que corresponden al techo como ahorrador de recursos en la arquitectura bioclimática tropical, por ejemplo creador de confort térmico, generador de ventilación, modulador de la claridad (controlando la iluminación, y los claroscuros, provocando límites de luz) productor de sombra, cobijo de la lluvia, recolector de agua, creador de imágenes regionales, en fin, el techo como arquitectura.

Palabras claves:

Sustentable, trópico, sombra, iluminación, ventilación, confort

INTRODUCCION

La globalización, tiene como uno de sus objetivos la homogenización de los productos y su comercialización universal. Si bien es cierto esto puede representar una ventaja para el comercio, no creemos que lo sea para la cultura en general y para la arquitectura en particular.

La implantación de hoteles y sucursales de transnacionales semejantes en cualquier latitud, sin considerar los aspectos regionales o locales, nos ha conducido a una arquitectura independiente del lugar. Para nosotros, esto representa un grave error pues induce a tener que climatizar artificialmente los edificios, por ignorar las ventajas y dificultades de cada emplazamiento individualmente.

Es insensato por ejemplo, pasar por alto las soluciones vernáculas de Marruecos, del Caribe o de Holanda, para citar sólo tres muy diversas y contradictorias. En cada una de ellas se encuentran soluciones y respuestas a situaciones particulares que se adecúan perfectamente a la latitud donde se encuentran.

Nos parece que el techo, es el protagonista principal en la arquitectura tropical, porque un techo mal diseñado o mal construido, tiene consecuencias dramáticas y provoca grandes trastornos a los usuarios. No sucede lo mismo con las paredes, las cuales son un elemento que responde más a una necesidad de privacidad que de cobijo. El techo sin embargo, es esencial, aunque sea lo único que se tiene y así lo han demostrado las tribus primitivas, a quienes les bastaba con una techumbre que consistía en ramas y hojas de árboles que les proporcionaba sombra y protección.



1- Arquitectura bioclimática

El rompimiento del equilibrio ambiental, producto del indiscriminado consumo, está llevando al planeta Tierra a un estado de precariedad que pone en peligro las posibilidades de bienestar de la población. Sin más explicaciones de esta situación inédita, se concluye que todos los esfuerzos encaminados hacia la restauración del equilibrio ecológico son bienvenidos, y al respecto la arquitectura tiene una importante tarea en la consecución de un desarrollo sustentable.

En los países ricos se abordan soluciones en las que se aplican las tecnologías de vanguardia para diseñar una arquitectura sustentable, mientras que en los países pobres estas mismas tecnologías resultan muy caras y por eso son inaccesibles. Por esta razón, es necesario encaminarse hacia soluciones más adaptadas y que apliquen los recursos disponibles localmente.

El recurso más abundante en cualquier sociedad es su sabiduría, entendida como la capacidad para combinar equilibradamente tradición y desarrollo, al enfrentar los desafíos del habitar. Desafortunadamente este recurso se ha ido sustituyendo por el uso automático e indiscriminado de tecnologías modernas que son muchas veces evitables y no siempre indispensables, por ejemplo el uso del aire acondicionado, del césped y plantas artificiales, de materiales y procesos inadecuados de construcción. Esta práctica es lamentable si se compara con la disponibilidad de recursos energéticos renovables y baratos que existen y que son despreciados.

En arquitectura es aconsejable aplicar el bioclimatismo para diseñar, con el fin de ser lo más eficiente que se pueda, al menor costo posible, apoyándose en la disponibilidad de recursos renovables y aprovechando las energías pasivas en el logro del necesario confort. Es inevitable que esta práctica modificará el enfoque convencional de la enseñanza y práctica de la arqui-

tectura y cambiará las formas de los edificios que nos hemos acostumbrado a ver en el último cuarto del siglo XX, y que son el resultado de la aplicación de conceptos abstractos de diseño, muchas veces con una fuerte dosis de diletantismo.

La arquitectura bioclimática se rige por ciertas reglas y normas que son el resultado de la observación de las condiciones de la realidad, es decir del terreno, del clima, de la vegetación, de los materiales y de las destrezas de la mano de obra disponible, sin olvidar las vivencias de la población. Cada uno de estos aspectos aporta su dosis de información y condiciona las decisiones que toma el arquitecto. El resultado serán edificios más adaptados a las demandas de la realidad y con el conveniente confort.

Un paso más adelante llevará a diseñar edificios con una conciencia ecológica mayor cuando se disponga de una catalogación de los materiales de acuerdo a su impacto en el ambiente. Si este proceso ya ha comenzado con normas en los países ricos, (Leadership in Energy and Environmental Design –LEEDS- en los Estados Unidos y su homóloga europea), en los países pobres es muy incipiente y la mayoría de las veces inexistente, lo que permite, desgraciadamente, la utilización sin control de productos no certificados y sin “etiqueta verde”.

La arquitectura bioclimática recurre a las energías pasivas para resolver el acondicionamiento de los edificios y a una planimetría rigurosa en cuanto a la orientación y, a una distribución estratégica de los recintos, con el fin de:

- 1-bloquear los inconvenientes del excesivo asoleamiento con la disposición espacial adecuada de los recintos de tránsito (circulaciones, servicios, baños etc),
- 2-definir una forma arquitectónica que ayude a la ventilación natural,
- 3-reducir el efecto de los vientos en la ciudad, que son modificados con la construcción de edificios altos,

4-uso extensivo de la vegetación horizontal y vertical, etc.

En la franja tropical del planeta, que es hacia donde se enfoca esta presentación, estas nuevas prácticas resultan de crucial trascendencia no sólo por el impacto local sino por el impacto planetario, muy especialmente si consideramos que es en esta latitud donde se está produciendo el más alto crecimiento de la población que impacta de manera importante en las ciudades que ya han llegado a ser las más pobladas. Esta franja, que tiene condiciones ambientales bien precisas demanda soluciones arquitectónicas adaptadas.

Para proponer esas nuevas arquitecturas es importante remitirse a las enseñanzas que encierran las arquitecturas tradicionales y entenderlas para actualizarlas con modernidad, en un proceso que hace evolucionar la tradición, pues lo peor sería promover el simulacro de una arquitectura del pasado construida en el presente. Para esto se requiere sabiduría y medida en la incorporación de la modernidad para que el resultado sea equilibrado y adaptado. Cualquier cambio obcecado resultará en una mala solución con lamentables consecuencias, como lo son las torres de cristal tipo Houston que se construyen sin mayor consideración ambiental.

2- La evolución del techo bioclimático tropical

En el acto de construir, el techo define un espacio cubriéndolo e indica que el edificio es ya habitable. El representa la protección contra los elementos y la creación de un cobijo con un microclima particular.

El techo es probablemente el elemento arquitectónico que más caracteriza la arquitectura tropical y esto es porque el techo por si solo cumple funciones importantes, resolviendo con su diseño los problemas que plantean la lluvia y el sol, es decir la necesidad de cubrirse.



Cobijo vernacular, realizado con bejucos flexibles y follaje. Cabaña construida con materiales locales. Burundi.
Casa del Regente, Maslete, Indonesia.



El sol y la lluvia, y sus derivados de alta temperatura y excesiva humedad relativa son las características del clima tropical que produce una vegetación exuberante y unas vivencias particulares en el comportamiento de los habitantes. El exceso de sol provoca la necesidad de sombra y el exceso de lluvia provoca la necesidad de grandes cubiertas y ambas se convierten en requisitos indispensables para la arquitectura tropical.

La solución a estas condiciones climáticas, como es de esperar ha evolucionado desde las arquitecturas mas primitivas o vernaculares hasta las soluciones contemporáneas. En la arquitectura vernacular la solución se buscó por medio de la forma de los techos que era posible con los materiales disponibles y las técnicas conocidas. Los techos cónicos y piramidales, y piramidales ventilados con aberturas para mejorar la ventilación son característicos de ese tipo de arquitecturas.

La ventilación es una necesidad para lograr confort en el trópico por lo que se convierte en una de las funciones que el techo puede resolver con propiedad y eficiencia. El solo hecho de levantar el techo ampliando el volumen de aire cubierto ayuda al confort. Las aberturas estratégicamente ubicadas que permitan el movimiento del aire es un recurso de diseño usual. La aceleración del movimiento del aire es otro recurso que ayuda a bajar la temperatura y la humedad. Para acelerar naturalmente el movimiento del aire se echa mano de principios de la física mediante toberas, inyectores o deflectores o del diseño específico de las vertientes del techo para beneficiarse de la dirección y velocidad del viento del lugar. La aplicación de los conceptos sobre la aceleración del aire expresados por el principio de Venturi y el manejo de las corrientes de aire de acuerdo con la mecánica de fluidos, son herramientas útiles para lograr mejores diseños.



Techos en Porto Novo, Jakarta y Java.

En Costa Rica y como en muchos países ubicados en el trópico, la humedad relativa del aire, es superior al 85% como promedio mensual, en los meses lluviosos, con registros del 100% en las madrugadas. Por lo tanto la humedad relativa debe controlarse. Un método natural consiste en no detener el flujo del aire con diseños en los que se embolse, para lo cual hay que dejarlo pasar sin restricciones. Una buena solución es disponer de espacios abiertos y elevados del suelo.

La iluminación es otra de las funciones que el techo puede cumplir. Siempre es difícil iluminar las zonas centrales de las grandes áreas cubiertas, y en este caso el techo es el llamado a resolver. Abrir el techo implica introducir calor junto con la luz, por lo que es importante diseñar estas aberturas de tal modo que no entren los rayos del sol. Eso obliga a ubicarlas en puntos estratégicos y a controlar con pericia su tamaño. Demasiada luz encandilaría a los usuarios y muy poca sería insuficiente, por cuanto es indispensable conocer en detalle la latitud y la longitud y la altitud donde se ubica el proyecto.

El confort que se experimenta en el espacio es también un aspecto que debe considerarse. Mucho calor, poca sombra, o falta de ventilación, afecta la vida y el rendimiento de los usuarios. En la arquitectura bioclimática se depende de las condiciones ambientales, lo que hace que estos espacios tengan parámetros de confort cambiantes y por lo tanto diferentes de los espacios artificialmente climatizados en los que las condiciones son estables y permanentes e independientes de las condiciones del clima. Los espacios bioclimáticos exigen, de parte del usuario, tolerancia y adaptación del cuerpo, condición que se pierde luego de 3 meses de vivir en un ambiente climatizado artificialmente.

El carácter del espacio cubierto resulta de especial interés para el arquitecto y muy particularmente para el proyecto. Es sabido que el carácter depende de los estímulos que el usuario recibe del espacio y estos se expresan, además de las dimensiones y forma del mismo espacio, por la claridad, la temperatura, la calidad del



Pabellón de Togo y de Camerún, Exposición Colonial, Paris, 1831.
Casa colonial, Lagos, Nigeria.

aire, la brisa que como un todo se experimenta. Estos estímulos, al ser percibidos por el usuario, afectan su comportamiento y también la funcionalidad de los espacios.

En la arquitectura bioclimática el techo y la sombra son elementos que se constituyen en recursos de diseño importantes para una arquitectura sostenible para la latitud tropical.

De las arquitecturas vernaculares hemos aprendido que el techo cónico, soportado sobre una viga circular sobre columnas es una evolución del techo cónico apoyado directamente en el suelo y con estructura que apunta hacia arriba hasta un vértice. Esta solución tiene como ventaja el microclima interior muy fresco, en parte por la gran masa de aire y en parte por la cubierta vegetal que permite una ventilación cruzada en todas las direcciones, independiente de la dirección del viento.

El techo piramidal a 4 aguas es también una solución vernacular que se encuentra en toda la franja tropical del planeta. Aunque de menor altura que los techos cónicos esta es una solución apropiada porque los 4 aleros bajan lo suficiente para proteger las paredes y las aberturas de los 4 costados del edificio.

En muchos países, antes de la influencia europea, la arquitectura vernácula tenía techos cónicos y piramidales. En Costa Rica el techo cónico vernacular se encuentra en la costa caribeña y piramidal en la costa pacífica, ambos contruidos con hojas de árboles locales para la cubierta y ramas para la estructura. En la costa caribeña se usaban hojas de una planta gramínea conocida como suita (*sporobolus saetia*), y en la costa pacífica hojas de palma real (*oreodoxa regia*).

Luego de la llegada de los españoles a América, el techo pasó a ser un elemento pesado, construido con tejas y vigas macizas de madera apoyadas en los muros y formando una cubierta de 2 aguas. El resultado era de pobre ventilación ya que las tejas no respiran y los muros de adobe no permiten grandes aberturas,



Case, Nueva Caledonia.
Amabalana, Colombo, Sri Lanka.
Templo hindú, Colombo, Sri Lanka.
Casa de patio central, llanos de Venezuela.

sin embargo esto era compensado con su gran capacidad de aislamiento. Esta fue una respuesta no diseñada a partir de los datos climáticos regionales, sino más bien una modificación de modelos autóctonos ibéricos que prosperaron en las zonas menos calientes.

La solución mejor adaptada al trópico es el techo que se conoce en el Caribe como “techo holandés” (dutch roof) y que consiste en un techo a 4 aguas y con ventilación cruzada por las 2 aberturas en las partes altas de las 2 vertientes angostas y que permiten una ventilación cruzada. En el Caribe, originalmente muy pobre, las soluciones pasaron de unas simples láminas con caída libre, a unas sofisticadas combinaciones de planos y ángulos, tan ricos y elaborados, como los trabajos en fretwork que los acompañaban.

3-La creatividad en el techo bioclimático tropical.

Los edificios contemporáneos se caracterizan por soluciones más complejas y por el uso de materiales industriales variados. Esto ha dado como resultado techos muy complejos que no solo cubren del sol y la lluvia sino que cumplen varias funciones importantes.

LA LLUVIA Y LA CUBIERTA

La lluvia tropical, con aspecto bíblico, es comparable con el diluvio universal por su larga duración en el tiempo de los monzones y por la abundancia del agua caída. Esta característica, unida a las temperaturas hacen que la gente camine bajo la lluvia y se moje sin las consecuencias para la salud que existen en otras latitudes.

En Costa Rica caen como promedio 6.000 mm al año en la costa caribeña y 2.800 mm en la Meseta Central cuya altura promedio es de 1100 msnm. Al analizar estas estadísticas encontramos más de una sorpresa, por ejemplo en el caso de la Meseta Central los 2.800 mm caen en 8 meses, concentrados en un promedio de 4 horas en las tardes. Se entiende fácilmente que la lluvia torrencial, por la cantidad de agua



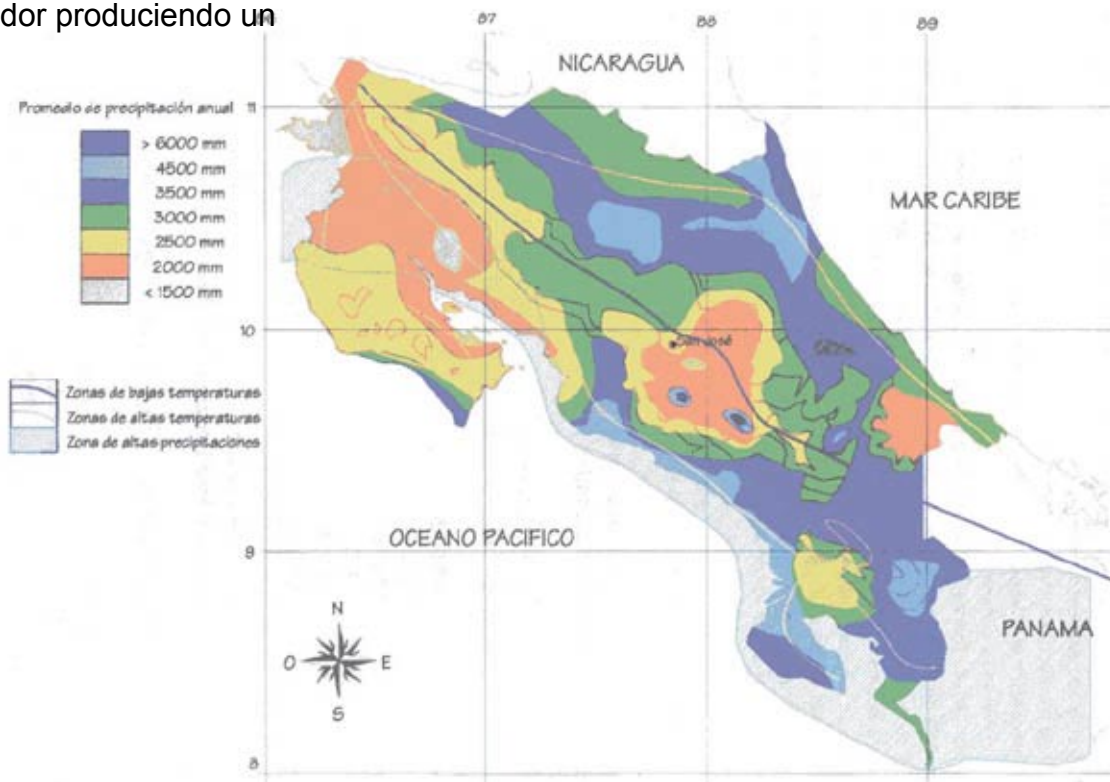
concentrada en el tiempo es una determinante importante para el diseño de los techos y que defectos en los mismos traen serios problemas. Por ejemplo hay datos estadísticos que registran 50 mm de agua caída en media hora, y 80 mm en una hora para la zona de la Meseta Central. Para la costa caribeña hay registros que indican que en 6 días de Diciembre 1998, cayó el 80% del agua que cae en todo el mes, siendo el promedio mensual 435 mm. Se trata de un clima exigente.

Este clima de calor y humedad, unido a la riqueza orgánica de los suelos ha producido la rica biodiversidad en flora y fauna que caracteriza a Costa Rica y, en general a las regiones tropicales. La cantidad de organismos que conviven en esta riqueza ambiental es el resultado de estas condiciones climáticas. También su fragilidad es producto de estas condiciones, porque los suelos tienden a lavarse y si no están cubiertos por vegetación alta y enraizada se erosionan con facilidad.

El ciclo cotidiano comienza con un fuerte asoleamiento matinal que deslumbra y calienta el aire para, al cabo de unas horas, dar paso a una fuerte y deseada lluvia, que refresca al comienzo, pero que luego trae humedad y sopor persistentes. Este ciclo que se repite en los meses lluviosos condiciona la vida haciendo necesarias las cubiertas amplias. En los meses secos no cae lluvia y el sol es abrazador produciendo un ambiente tórrido.



Figura 12 Clima de Costa Rica



EL SOL Y LA SOMBRA

En la franja tropical del planeta, la luz con su calor y brillo nos ayunta y entonces buscamos la sombra para estar. En el trópico la gente se reúne a la sombra, pues ahí está la frescura. Es la sombra la que convoca. La luz como modeladora del espacio se relativiza y es la sombra que adquiere el mando en el diseño del espacio arquitectónico, No en vano la sombrilla que es una sombra portátil y que es diferente del paraguas, fue inventada en el trópico.

La sombra es una necesidad para el bienestar en el clima tropical, y tan es así que la destreza en el manejo de la sombra debe convertirse en un elemento de diseño arquitectónico crucial en los edificios para esta latitud. La sombra negra y la deslumbrante claridad exterior son dos contrapuntos del espectro lumínico que dejan entre ambos extremos una amplia franja de semi-sombras con potencial para convertirse en un novedoso e interesante recurso de diseño arquitectónico.

Es por estas razones que el espacio de la arquitectura tropical, ha sido modelado tradicionalmente por la sombra y todas sus variantes de penumbra, semisombra, claroscuro que se logran disminuyendo la luminosidad del ambiente. El espacio tropical se caracteriza por estar cubierto y en sombra, y a la vez abierto para ofrecer sin obstáculos la ventilación cruzada.

La penumbra, es esa atmósfera velada que nos envuelve con su frescura, donde el ojo reposa, la piel descansa y encontramos solaz. La penumbra adquiere valor en contraste con la luminosidad exterior, las sombras valorizan el espacio yendo de la luz atenuada a la ausencia total de luz, en un juego de claroscuros que el arquitecto puede controlar.

La arquitectura contemporánea le ha exigido al techo funciones que no le eran habituales, como por ejemplo ayudar con la ventilación, favorecer la iluminación natural, producir sombras en las



Casa Mariposa, 1997, arq. Samuel Mockbie, USA.
Centro social Auto-Mercado, arq. Bruno Stagno, Costa Rica.
Agencia Ford-BAC San José, arq. Bruno Stagno, Costa Rica.



ventanas para reducir la radiación solar y aliviar el enfriamiento del interior. Estas nuevas funciones han modificado su diseño geométrico sencillo para descomponerlo en partes más pequeñas que en conjunto producen el resultado esperado. El techo así concebido comienza a tomar un protagonismo inédito en la arquitectura tropical contemporánea.

Nuevos materiales livianos como las láminas de hierro ondulado con diferentes diseños, longitudes y colores, láminas de acrílico o de policarbonato, y estructuras ténsiles se han convertido en excelentes aplicaciones para resolver techos que se van volviendo cada vez más complejos por la suma de prestaciones que se le solicitan. Demás está decir que un techo plano resulta una negación de la latitud, además de su costosa impermeabilización y del mantenimiento que requiere. Podríamos decir que mientras más liviano es el techo mejor es su comportamiento y mejor es en cuanto al diseño sismoresistente.

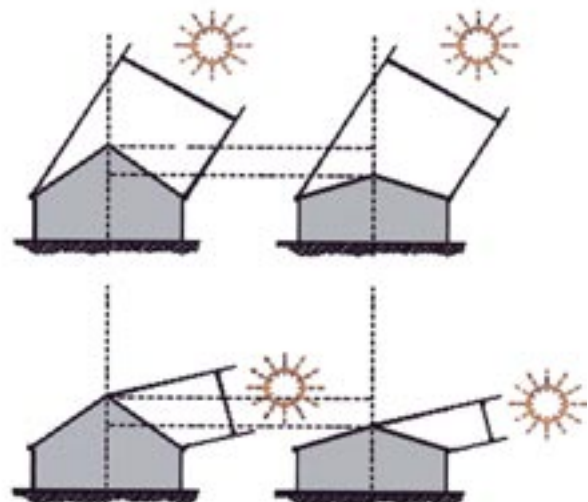
Cualquier segmentación del techo trae la complicación de la evacuación de las aguas, por lo que se debe poner especial cuidado en la solución de su recolección y evacuación. La elección de los materiales para resolver estos aspectos es crucial por cuanto hay que velar por un reducido mantenimiento y una larga duración.

El techo deja de ser importante como cubierta y como protección solar a partir de edificios de más de 3 pisos, por cuanto los aleros están muy altos y su efecto no cubre todos los pisos. En estos edificios la fachada es la importante en el acondicionamiento climático, y lo conveniente es desmaterializarla para que pueda prestar las nuevas funciones que se le están encargando. Los recursos del arquitecto en este caso son las marquesinas, los parasoles, los velos metálicos, las viseras intercaladas entre los pisos, elementos móviles como toldos y otros que se anteponen a los paños vidriados para evitar o al menos reducir la radiación, parando los rayos solares antes de que lleguen a los vidrios.

Afortunadamente se cuenta hoy con avanzados programas de cómputo para simular en pantalla



Centro Cultural Papúa, Nueva Guinea, arq. Renzo Piano.



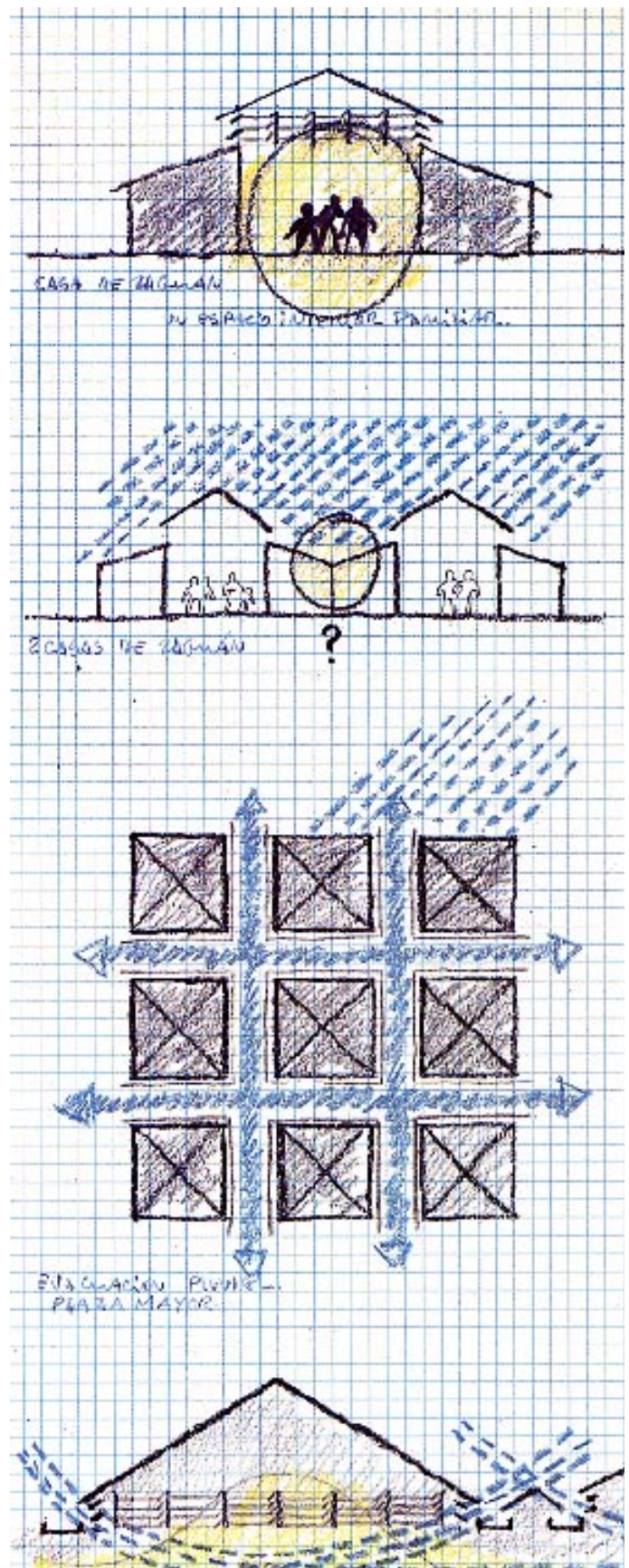
el recorrido del sol y sus efectos en el calentamiento de los edificios, los que luego pueden ser comprobados en la realidad por medio de sensores que emiten datos estadísticos. Esto como se comprende ha permitido afinar el diseño de los edificios.

En cuanto a la ventilación, el techo es un componente importante que puede aportar soluciones novedosas. Desde lo básico de las construcciones vernaculares en las que por convección el aire se renueva y el humo sale, hoy existe la posibilidad de que el techo tenga una participación activa y no pasiva. Si el aire caliente es mas liviano que el aire frío, éste subirá produciendo tiraje, si se aumenta la velocidad del aire este enfriará el cuerpo que encuentra a su paso, si se introduce una corriente horizontal con salida superior, esta se comportará como una succión que succiona el aire hacia el interior.

4- Techos bioclimáticos tropicales contemporáneos

Proyecto Plaza Mayor: en San José Costa Rica, latitud 9.56 norte, longitud 84.05 oeste altitud 1100 msnm (metros sobre el nivel del mar). En este edificio se diseñaron unos vestíbulos, para la convivencia de las personas que trabajan en las oficinas, bajo unas pirámides de 12 x 12 metros. Las pirámides son transparentes para iluminar con luz natural estos espacios de doble altura. Si bien esto representa una contradicción, por cuánto la luz introduce calor, se diseñó una solución que mantiene una temperatura confortable a la vez que la luz entra sin limitaciones. La solución consiste en producir una corriente de aire horizontal por la base de los 4 costados de la pirámide que las atraviesa de lado a lado y que mantiene el calor de la radiación en una bolsa de aire atrapado entre ella y la cubierta. Esta corriente trabaja succionando el aire de abajo y de la bolsa expulsándolos hacia fuera del edificio.

Proyecto Casa Brenes: en Tárcoles, Costa Rica, latitud 9.30 norte, longitud 84.70 oeste, altitud 250 msnm. Esta casa que está en un terreno cerca del mar recurre al paraguas para resolver



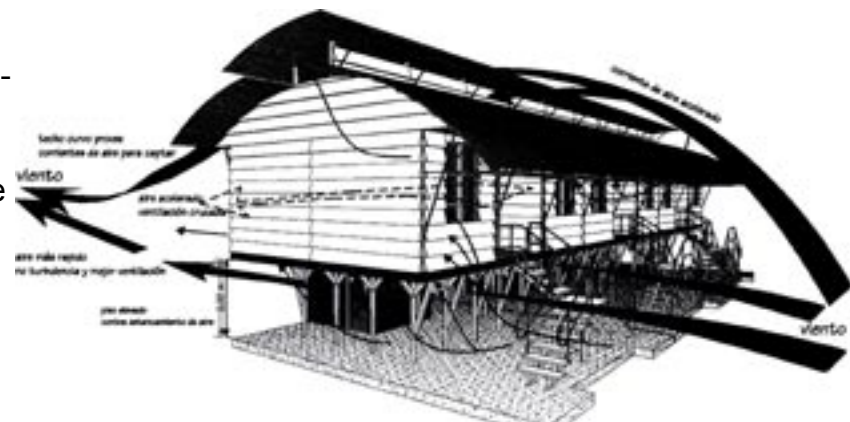
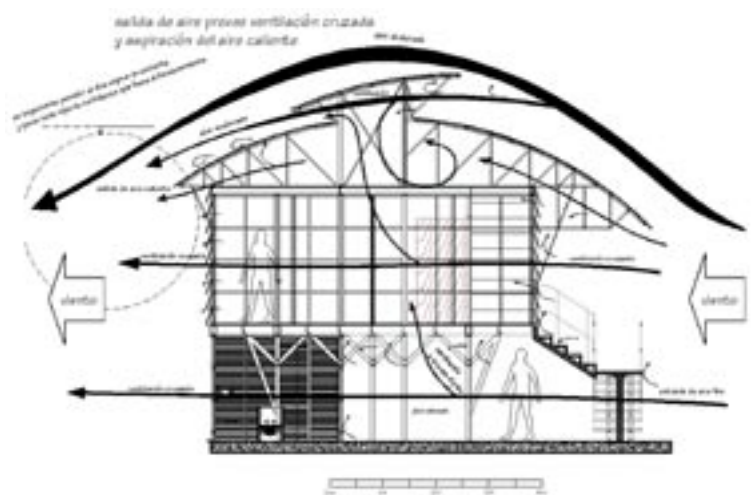
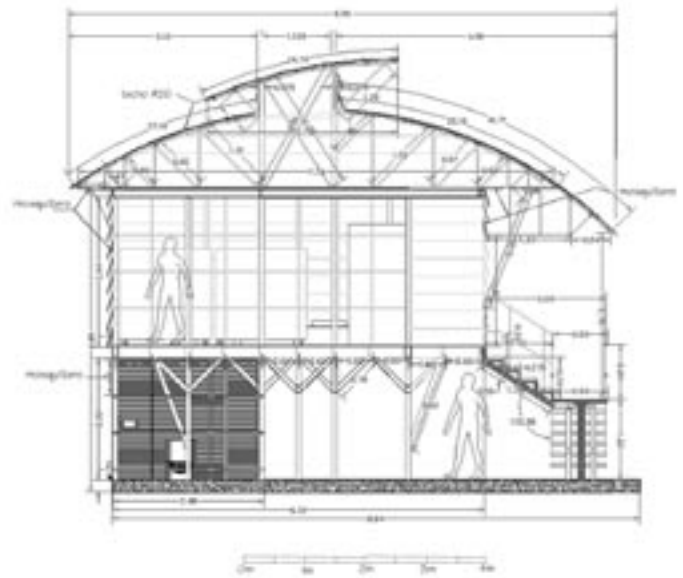
Croquis bioclimático, Centro Comercial Plaza Mayor, arq. Bruno Stagno, Costa Rica.

la climatización. El paraguas cubre generosamente la casa protegiendo las paredes del agua y del sol. Esta es una solución conocida solo que en este caso se levantó el techo para hacer la sala de estar en el nivel mas alto donde el aire es mas fresco.

Proyecto Baches: en Valle de La Estrella, Costa Rica, latitud 9.25 norte, longitud 83.00 oeste, altitud 60 msnm. Este proyecto es para ser construido en las zonas bananeras de Costa Rica y está destinado a alojar 24 operarios solteros (bachelors, de ahí deriva su nombre)) que trabajan en las fincas bananeras, es decir en las zonas más planas y calientes del país. Para implementar un diseño adaptado a esta condición se recurrió a la mecánica de fluidos para determinar la forma del techo, con el fin de acelerar el paso del aire. El techo curvo tiene la ventaja sobre el techo a 2 aguas porque elimina esas turbulencias lo que permite una mejor aspiración del aire hacia el interior.

En este caso, como se puede apreciar, se diseñó un techo curvo con un monitor corrido asimétrico. La orientación es fundamental en este caso, para enfrentar el edificio con los vientos dominantes. La solución del techo curvo provoca que el aire resbale sin producir zonas de baja presión, lo que hace más efectiva la barrida del techo, a la vez que acelera la succión del aire hacia el interior, bajando su temperatura. En los gráficos está la versión positiva y la negativa con el fin de explicar el funcionamiento del sistema. Se puede notar que si se varía el ángulo de entrada del aire, el efecto es menor porque se crea una zona de turbulencia en la salida.

El techo es de lámina de hierro esmaltada. Inmediatamente debajo hay un aislamiento de fibra mineral con una hoja de aluminio hacia arriba para rechazar el calor que atraviesa la lámina de hierro. Esta lámina de aluminio rechaza el 70% del calor que atraviesa el hierro, de acuerdo a experiencias en laboratorio. Los 2 componentes están atornilladas a la estructura del techo. No es está previsto cielo raso.



Con el fin hacer mas eficiente la circulación de aire para bajar la temperatura y bajar la humedad este edificio tiene paredes celosías, es decir que están abiertas en los traslapes de las láminas, para que el aire acelerado y mas fresco pase por toda la altura de la pared. Las ventanas no tienen vidrios y un cedazo mosquitero cubre todas la aberturas.

La construcción sobre pilotes también ayuda a bajar la temperatura. Al levantar el edificio el viento no se detiene y pasa libre, evitando el estancamiento del aire. Por estar elevado se gana altura, con un significativo mejoramiento en la temperatura. Esta sobre elevación, además de liberar espacios útiles, aísla la construcción de la humedad del suelo y baja la humedad relativa de esa área.

Gráficos indicando las sombras que el techo proyecta sobre el edificio indican el comportamiento de esta solución. Se puede apreciar que las fachadas largas el efecto de las sombras. En maqueta se hicieron mediciones que se reportan en el informe que se adjunta a continuación.

Descripción: Las casas tipo Baches consisten en la agrupación de 3 módulos de 7.30 x 8.64 metros en 2 pisos. Cada uno de estos módulos está diseñado simétricamente con 2 unidades que poseen un primer piso libre donde se encuentra el baño, y en un segundo piso, un apartamento con disponibilidad para 4 compartimientos de una cama. Las circulaciones verticales son exteriores y las ventanas principales se encuentran en la misma fachada que estas escaleras, pero a diferencia de las edificaciones originales, la circulación exterior común para los apartamentos, es reemplazada por circulaciones transversales permitiendo mayor independencia y privacidad para cada apartamento.

La materialidad de la edificación, se ha determinado en madera para la estructura y el piso, y cubiertas de Plycem (láminas de fibrocemento, sin adición de sílice cristalino) para las paredes, y láminas de hierro esmaltado para el techo.



El diseño bioclimático de estas casas ha sido elaborado utilizando simulaciones de sombreados frente a la incidencia del sol y mecánica de fluidos frente a la influencia del viento.

Esquemas de comportamiento.

Ventilación: la primera consideración con respecto a la ventilación, fue colocar la fachada principal (fachada larga) hacia los vientos dominantes, para así atrapar la mayor cantidad posible a través del techo, cuyo funcionamiento se describe a continuación.

Para optimizar la ventilación, hemos buscado un mecanismo basado en el diseño del contorno de un ala de avión, su comportamiento y la mecánica de fluidos. Hemos observado que una silueta de una curvatura suave, provoca la aceleración del viento, el cual continúa su marcha por sobre el elemento sin alterar su dirección; al pronunciar la curva se denota que la resistencia que esta opone, desplaza parte del caudal del viento en su dirección contraria y crea una zona de turbulencia al alterar su dirección.

Es a partir de estas observaciones que hemos diseñado la forma del techo; al cambiar el diseño a 2 aguas por una curva suave, se consigue una mejor ventilación cruzada ya que se aprovecha al máximo la intensidad del viento, consiguiendo la aceleración de éste. Además, hemos aprovechado esta dinámica con la captación de aire en la parte superior de la curva, donde el caudal es mayor.

Para evitar la generación de turbulencias, la curvatura posee una angulación tal, que genera corrientes que aspiran el aire en su parte posterior, lo que permite sostenerlo hasta el final. Esta ventilación importante se ve reforzada con la idea de las construcciones originales, de levantar el edificio para permitir ventilación a través del piso.

En los esquemas se grafica el comportamiento del viento en el ala de un avión y la diferencia que se establece entre los flujos de aire en un

diseño de techo tradicional a 2 aguas y el diseño propuesto.

Para acentuar aún más la ventilación a través de la vivienda, hemos definido para las cubiertas de las paredes, una disposición de láminas de Plycem (láminas de fibrocemento) en forma inclinada a modo de celosías. Además para evitar la entrada de insectos a través de estas aberturas, se ha colocado malla mosquitero como protección hacia el interior.

Asoleamiento: el otro factor que determina el diseño, es la cantidad de calor que recibe la vivienda a partir del sol. La sombra arrojada por los aleros del techo sobre las paredes exteriores, (en especial sobre sus aberturas), determinará los índices de temperatura que se obtengan en su interior; es por eso que hemos hecho una simulación de las sombras arrojadas sobre las fachadas del edificio.

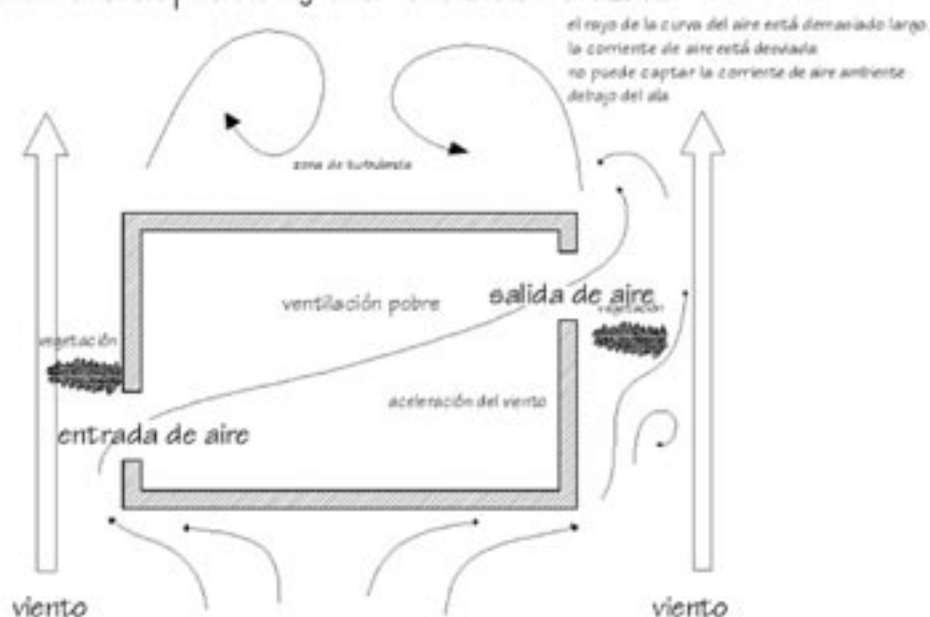
La orientación del edificio está dispuesta con la cara longitudinal mas cerrada hacia el poniente (con cierta inclinación hacia el sur) sector mas crítico en cuanto al calentamiento que se produce en esa dirección con el sol de la tarde; con esto podemos obtener la fachada principal siempre sombreada.

En el solsticio de diciembre (verano porque es seco), se encuentra la menor inclinación del sol, es decir, la trayectoria solar se encuentra más cerca del horizonte, por lo que la incidencia es la más lateral del año, cayendo directamente sobre las paredes; es en esta fecha donde se puede ver el mínimo de sombra del techo. La cara poniente es iluminada casi completamente en este momento del año, de lo que se deriva, que estará afectada durante los meses de verano. A partir de esta observación, se colocaron ventanas horizontales pequeñas sólo en la parte superior de la pared, donde el alero propicia sombra constantemente.

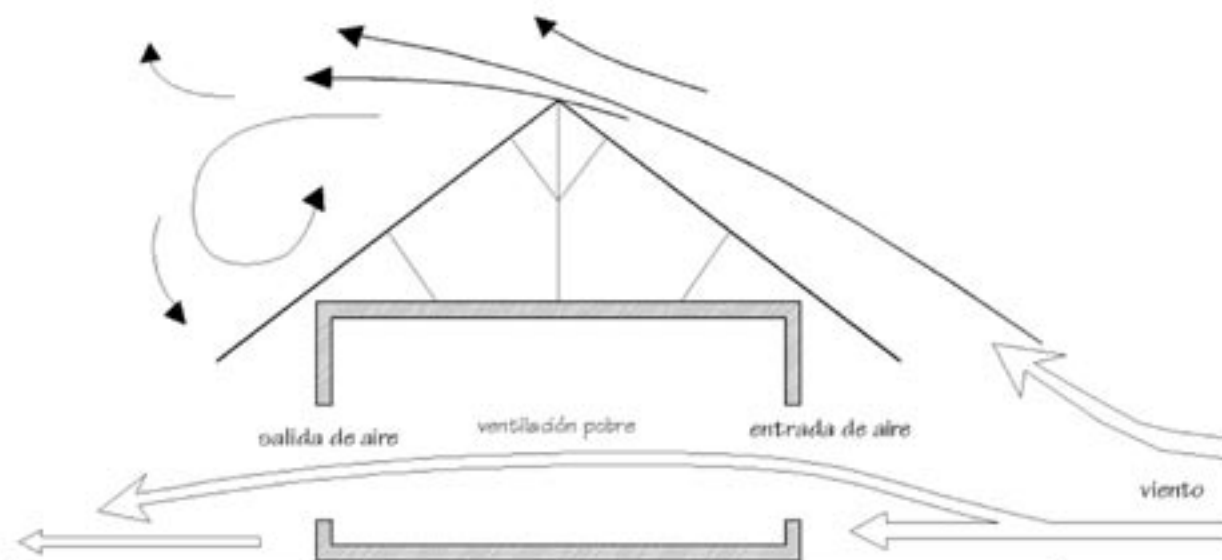
Durante el solsticio de junio (invierno porque llueve), la trayectoria del sol es la más vertical, ambas fachadas longitudinales se ven completa-



La salida de aire es más importante que su entrada para permitir una aspiración y una ventilación cruzada



Ventilación cruzada horizontal



Ventilación cruzada Vertical

mente sombreadas, comprobando con ello, la efectividad de los aleros aplicados.

Tabla de datos.

Las tablas de datos expuestas a continuación, están elaboradas con datos obtenidos en mediciones realizadas en una maqueta a escala 1:25, donde se midió la temperatura en grados centígrados (oC), la luminosidad en lúmenes y la humedad en % de humedad en el aire.

Se distinguieron 3 sectores en el proyecto: el ambiente exterior, el interior del edificio y bajo el alero. Los índices se midieron cada una hora desde las 9 a.m. hasta las 5 p.m. durante días de diferentes condiciones climáticas encontrados en el mes de diciembre.

Como aclaración previa, es importante señalar que los datos obtenidos están determinados por una condición de escala, lo que nos arroja resultados diferentes a los que se obtendrían en el edificio real escala 1:1, además de que los materiales usados no son exactamente los mismos; los índices son solo indicadores de tendencias más que una medición de cantidades definitivas.

Análisis y comparación de los resultados obtenidos.

La maqueta se instaló en un espacio techado con cielo traslúcido de acrílico, en un tercer piso, sin aire acondicionado, paredes blancas, piso cerámico verde claro.

Temperatura:

1- las temperaturas bajo el alero (bajo sombra) son mas bajas que las del ambiente, (oscila entre una diferencia de 0.1 y 1.3° C)

2- Las temperaturas en el interior del edificio son mas bajas que las obtenidas en el exterior de éste. En los días nublados la diferencia es poca (0.1 a 0.6 oC de diferencia), en los días asoleados la diferencia se acentúa considerablemente llega hasta 1,5 oC de diferencia.

3- La diferencia de temperatura entre el alero y el interior del edificio es mínima (0.1 a 0.2 oC), la acción enfriante del alero es consecuencia de la protección y la sombra que este genera,(condiciones que mantiene el techo en el inte-

rior), aparentemente, el cerramiento exterior no afecta en la temperatura, pues en este ambiente no hay viento.

Luminosidad:

1- La luminosidad obtenida bajo el alero(elemento generador de sombra), es en promedio, un 25% de la existente en el ambiente (llega a ser sólo un 12%, inclusive), tanto en los días soleados como en los nublados.

2- La luminosidad obtenida en el interior del edificio oscila entre un 8% y un 15% de la luminosidad del ambiente, y es aproximadamente un 50% de la existente bajo el alero, por lo tanto, la luz se ve bloqueada principalmente por la cubierta del techo.

Humedad:

En el porcentaje de humedad medido, se obtuvieron diferencias del 1% más bajo en el interior, cuando las condiciones climáticas eran las de un día nublado, (las protecciones la disminuyen), y del 1% más alto cuando había sol, (ya que el sol tiene un efecto secante), sin embargo, en la mayoría de los casos se mantiene equivalente. La medición se realizó en días sin viento, indudablemente, los resultados se habrían modificado si hubiésemos tenido esta variable actuando sobre la maqueta.

Conclusiones de los datos obtenidos.

-Las paredes de cerramiento afectan muy poco en la disminución de la luz y temperatura, con relación al alero. No había viento.

-La humedad en los interiores se podría reducir, aislando el piso y con la ayuda de la acción del viento; condición que hace el diseño mas efectivo.

-El techo se convierte en el elemento de mayor importancia en la disminución de la luminosidad y temperatura.

Las soluciones desarrolladas se incorporan al la concepción del edificio mismo, es decir, no requieren de la introducción de elementos externos tecnológicos (ya sean energéticamente activos o pasivos); esto tiene la virtud de ser una solución accesible y de rápida compren-

sión; permitiendo libremente su aplicación, sin la necesidad de mano de obra o materiales muy especializados.

Del diseño propiamente tal concluimos, que se puede considerar efectivo para el clima tropical cálido húmedo, basándonos principalmente en la solución del techo, el que prevee grandes aleros que generen sombra y tiene una forma aerodinámica que acelera el viento, captado por el suelo, las paredes y el mismo techo.

Las paredes y el suelo al estar sombreados (y enfriados) por el techo, contribuyen a seguir disminuyendo los factores de calentamiento por asoleamiento, su función sería principalmente, el apoyar el diseño facilitando la ventilación; la malla de mosquitero como sustituto del vidrio y la disposición de las láminas de Plycem (láminas de fibrocemento en forma inclinada, a modo de celosías) genera un cerramiento totalmente permeable, condición posible sólo en este clima.



Pulau Longkawi house, Indonesia



Casa Caribeña, Trinidad y Tobago



Cabaña en Burundi

Casa de techos múltiples,
Indonesia .



Casa administración
Canal de Panamá



Techos casas en línea, ciudad bananera, Costa Rica.



Palacio Rey Mangabel, Douala, Camerún



Centro de Información para Visitantes, Bowali, Parque Nacional, Kakadu , arq. Troppo y Glenn Murcutt, Australia.



Estadio de Fútbol, 1988, Australia y Centro de Exhibiciones en Singapur, arq. Philip Cox.



Casa Arq, Geoffrey Bawa, Sri Lanka.



Instituto Pedagógico
y oficinas HOLCIM Costa Rica,
arq. Bruno Stagno, Costa Rica.



Centro Artístico, Colegio Humboldt y BAC Rohrmoser,
Arq. Bruno Stagno





Palacio Justicia, 2003,
Fort de France, Martinique.
Arq. Chermetof y Borja García Huidobro.



Rectorado de Las Antillas, 1993,
Martinique.
Arq. Jerome Nouel y Christian Hauvette.



Museo Arte Moderno, MAM,
Arq. Lina Bo Bardi, Brasil.



BAC San José,
Arq. Bruno Stagno,
Costa Rica



Arq. Joao Filgueiras Lima, Brasil,
Hospitales Sarah Kubishek y otros proyectos.



Arq. Oscar Niemeyer, Brasil.





Arq. Severiano Porto, Brasil



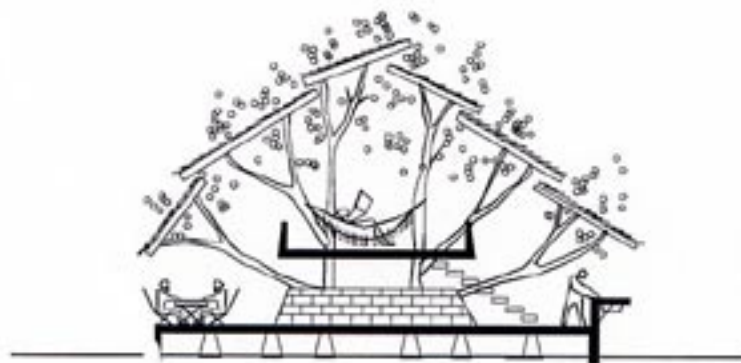
Pasaje cubierto, Arq. R. Lepastrier,
Australia

Casa Rodríguez, Arq. Bruno Stagno





Casa Rosero,
Arq. Bruno Stagno.



Arq. Milton Monte, Brasil.
Resumen de lo que debe ser un techo en el trópico