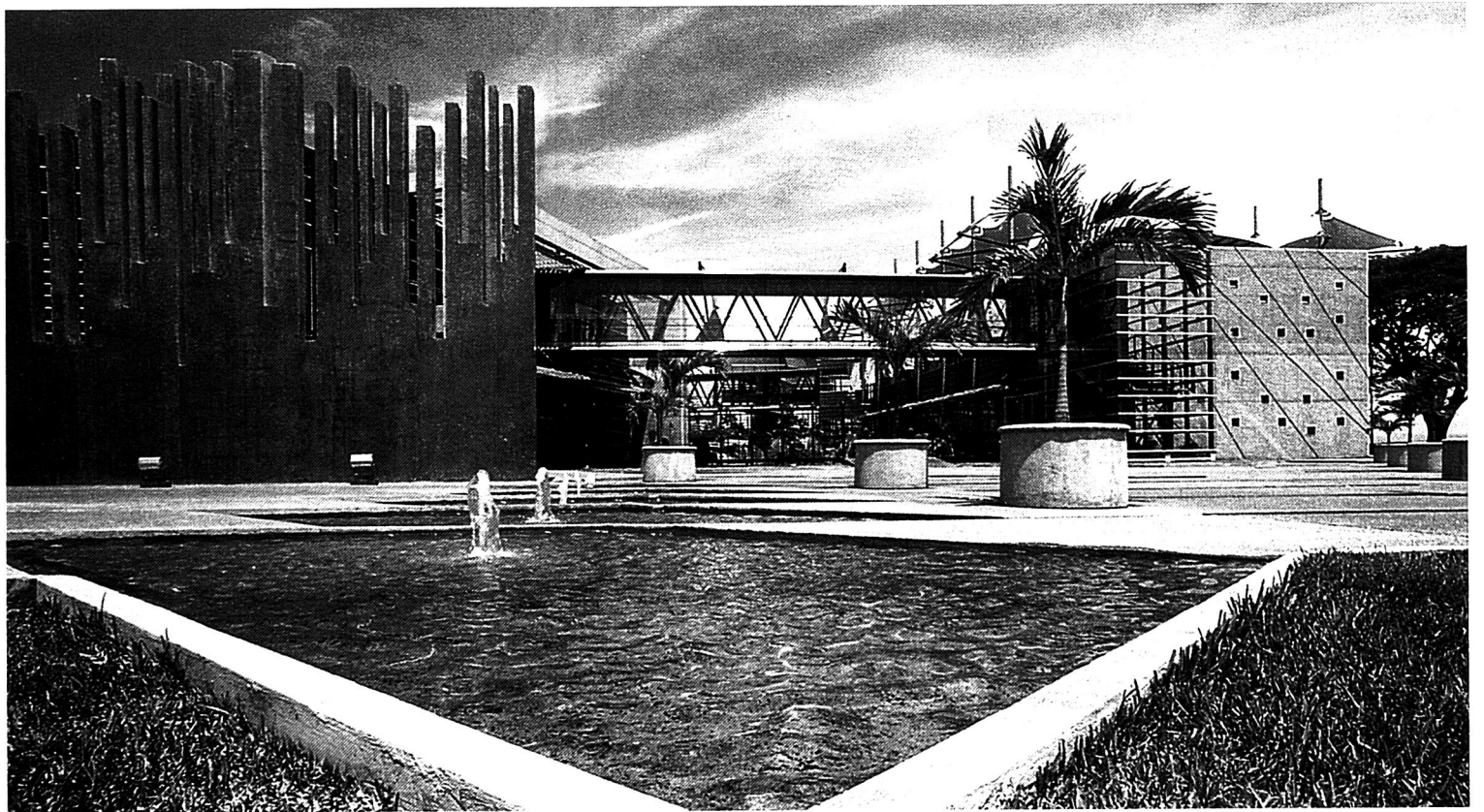




CLIMATIZANDO CON EL CLIMA

Bruno Stagno

Este informe presenta el estudio del caso de un edificio de oficinas bioclimático diseñado para las condiciones tropicales del Valle Central de Costa Rica, recientemente construido. El informe analiza el uso de elementos climáticos naturales y conceptos y mecanismos bioclimáticos como recursos para diseñar y adecuar la Arquitectura de la franja tropical del planeta. En un esfuerzo renovado, la humanidad debe reaprender a equilibrar la relación entre Arquitectura y Naturaleza. Climatizar con el clima es por lo tanto un desafío arquitectónico en búsqueda de la sostenibilidad en las latitudes tropicales. La construcción del edificio HOLCIM representa un compendio de esfuerzos de la empresa industrial interesada en promover el desarrollo sostenible y el grupo de arquitectos y ecólogos avocados a estos mismos objetivos en su desempeño profesional.

Mostramos planos, fotografías y modelos de desempeño bioclimático implementados durante la fase de diseño. Además, se describen y analizan las mediciones microclimáticas realizadas en el edificio HOLCIM, en un medio tropical en el cual prevalecen condiciones climáticas moderadas pero fuertemente marcadas por las dos estaciones. Comparaciones del ambiente interno del edificio con medidas microclimáticas obtenidas en el exterior y con resultados obtenidos de un modelo, indican que el bienestar cumple con los estándares de las Normas ISO.

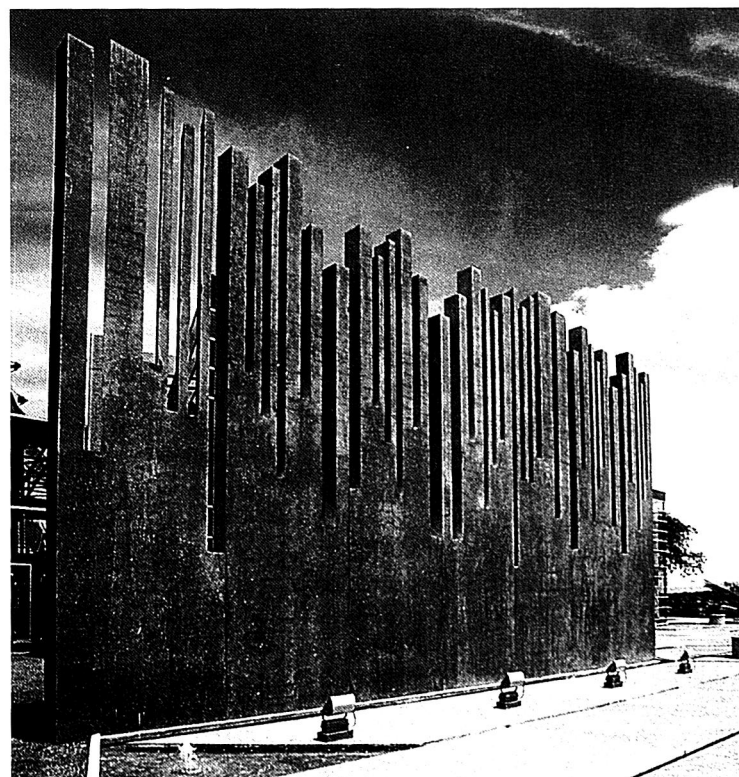
INTRODUCCIÓN

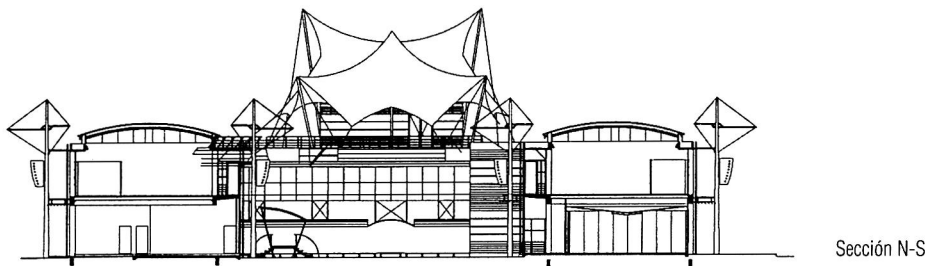
El clima natural es un recurso que debe ser explotado para acceder al bienestar dentro de los edificios, especialmente en los países pobres. La arquitectura bioclimática tiene un enfoque coherente y sostenible para manejar el ambiente y puede ser fácilmente replicado por la gente local. Por esta razón, climatizar con el clima parece ser una práctica válida y adecuada para los países en desarrollo. Las prácticas bioclimáticas deben confrontarse y recuperarse de los modernos métodos artificiales de control microclimático. Además es importante validar el comportamiento de los edificios bioclimáticos para valorar la capacidad de estas estructuras de proveer habitabilidad y verificar la efectividad de los elementos arquitectónicos y técnicos empleados para crear bienestar. Las condiciones ambientales internas del edificio fueron comparadas con las mediciones microclimáticas obtenidas en el exterior y con los resultados de un modelo diseñado para planificar el diseño. Los datos obtenidos en el campo, fueron utilizados para valorar el comportamiento del edificio según los estándares de las Normas ISO.

MATERIALES Y MÉTODOS

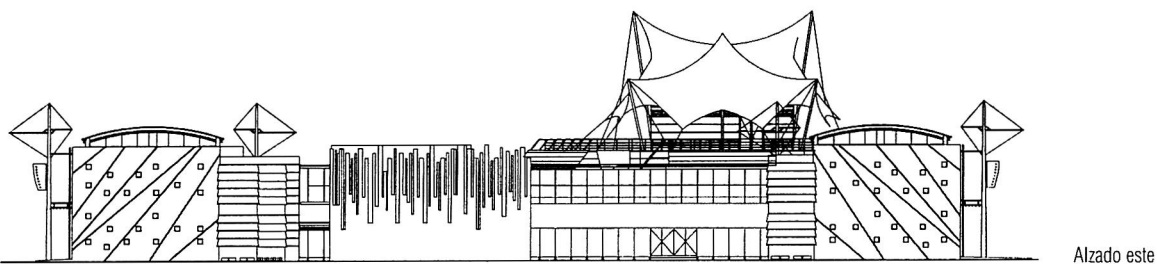
Descripción del sitio

El informe contiene los resultados de las mediciones realizadas para valorar el comportamiento del edificio HOLCIM. Diseñado en el 2003 y construido en el 2004 en un complejo industrial, este edi-





Sección N-S



Alzado este



ficio ocupa un área de 3.896 m². HOLCIM Costa Rica es una empresa que produce cemento, agregados, concretos y elementos prefabricados para edificios.

El terreno escogido fue una colina dentro del complejo con buena vista y expuesta a las brisas. Situado en San Antonio de Belén en la provincia de Alajuela, en la parte oeste del Valle Central de Costa Rica, aproximadamente a 10° norte, 84° oeste y a 800 metros de elevación. El clima en esta zona es caliente, sub-húmedo con una estación seca muy definida. Los registros obtenidos de la estación meteorológica localizada a 10 km de distancia del edificio, informa que la lluvia caída es de 1.939 mm distribuidos entre mediados de Mayo y mediados de Diciembre.

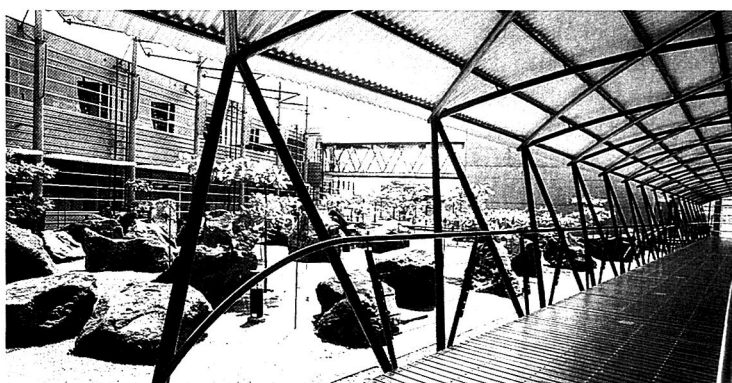
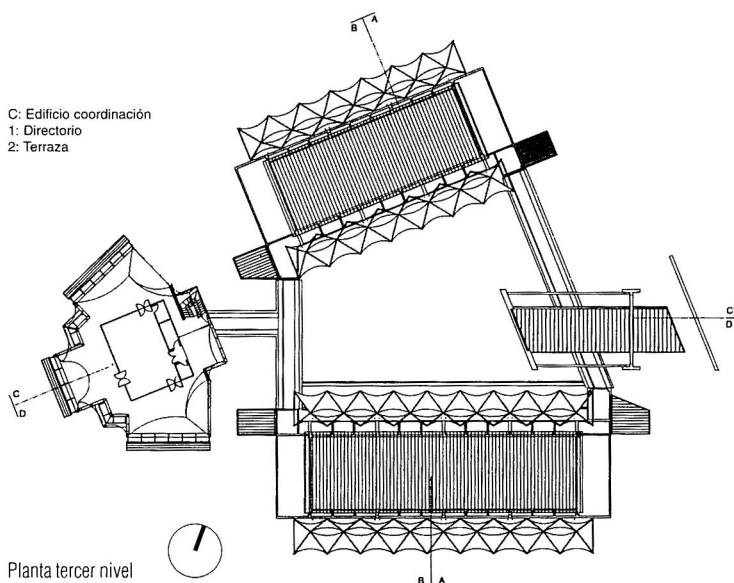
La temperatura promedio es de 22°C y la humedad promedio es 78%. Vientos fuertes (≈ 20 km/h) afectan la región desde mediados de diciembre a marzo, mientras que vientos más lentos (≈ 10 km/h) provenientes del sur azotan el edificio de septiembre a diciembre (Gutiérrez, Soto y Alpizar, 1997). Aunque Costa Rica no se encuentra en el recorrido regular de huracanes, éstos afectan al país con abundantes lluvias que pueden provocar enormes daños. Adicionalmente, el régimen climático cotidiano señala pequeñas

pero sensibles variaciones en la velocidad del viento, la temperatura y la humedad, los cuales resultan en fluctuaciones diarias importantes de las variables, cuando se comparan los valores máximos y mínimos. Por ejemplo ráfagas de 64 km/h y temperaturas superiores a los 30°C.

La arquitectura del edificio HOLCIM tenía como meta lograr el bienestar ambiental interno usando energía natural como recurso principal para evitar el uso de aire acondicionado. El resultado fue un conjunto de cuatro edificios localizados estratégicamente, los cuales encuadran un patio central. Los edificios son permeables a los elementos externos y presentan una serie de importantes elementos arquitectónicos que proveen sombra.

El paisajismo, consistió en la siembra de 174 árboles diversos, 1100 cafetos y variedad de arbustos y enredaderas, los cuales se sumaron a los ya existentes. La mayoría de estas especies son endémicas, plantadas intencionalmente para atraer la fauna local existente. La vegetación interna juega un papel importante en la climatización interna del edificio, contribuyendo a bloquear la radiación solar excesiva y reducir la deposición de polvo. Al edificio de acceso se llega atravesando unas fuentes climáticas y angostos canales de agua, y el más expuesto de todos, está parcialmente protegido por el “diapasón del viento” que consiste en un muro perforado de hormigón pulido.

Durante la fase de diseño, se realizó una simulación del comportamiento de los edificios norte y sur, con gran densidad de ocupantes. Esta simulación usó el programa “COMFORT”, alimentado con información climática obtenida de la estación meteorológica más cercana, a una distancia aproximada de 10 km al norte. Este ejercicio de simulación produjo información que ayudó a mejorar el diseño sin alterar la arquitectura. La mejora más importante con-



sistió en la disminución de los efectos de la radiación solar en los techos y sus consecuencias en la temperatura interna. Para mejorar el comportamiento de los techos como un elemento aislante, se inventó un sistema de capas ventiladas y aisladas. Estructuras téniles como grandes paraguas en el techo y en las fachadas con vidrio y muros ciegos de concreto, aíslan las fachadas este y oeste.

Sin otros soportes científicos, pero basados en el conocimiento empírico geográfico, climático y experiencia local, se concluyó la etapa de diseño y entonces empezó la construcción.

Una vez el edificio completado y ocupado, se hizo necesario reducir aún más la iluminación interna de los recintos, oscureciendo los vidrios de las ventanas. En las áreas más densas, se instalaron ventiladores eléctricos para mejorar el bienestar cuando la brisa disminuye.

El paisajismo del patio central consistió en la recuperación de enormes rocas que habían sido removidas anteriormente para construir el complejo industrial y que se encontraban amontonadas en una zona del complejo, las cuales fueron reubicadas y acompañadas por hiedras y césped. Los almendros de playa (T. Catappa) con sus copas horizontales en forma de pagodas ayudan a disminuir la radiación y la evaporación. El microclima creado en el patio, puede ser humedecido y enfriado durante las horas hábiles, con la operación de humidificadores activados durante 15 segundos cada 10 minutos entre las seis de la mañana y las seis de la tarde en época seca. Las plantas se riegan dos veces al día (mañana y tarde) en esta época del año.

El proyecto cuenta con un sistema de recuperación del agua de lluvia caída sobre los techos que se almacena en un tanque de captación para ser utilizada en el riego, en los nebulizadores y en las fuentes. El agua potable viene de un pozo profundo.



Mediciones Microclimáticas

Las mediciones ambientales internas del edificio fueron monitorizadas en época lluviosa del 2004 (30 de agosto-15 de septiembre) y durante la época seca-ventosa del 2005 (1 al 15 de febrero). La mayoría de las medidas fueron obtenidas en el segundo piso en el cual ocurren las actividades entre 8 de la mañana y las 7 de la tarde.

Las medidas de iluminancia (lumen/m^2) se obtuvieron utilizando Hobos (modelo H08-004-02) ubicados en el ala sur del edificio. Un sensor en los ventanales orientados hacia el norte, para monitorizar las últimas horas de la tarde y el ocaso, que es cuando el riesgo de desagrado es más elevado.

La temperatura del aire y la humedad relativa fueron monitorizadas en seis posiciones diferentes usando Hobos (modelo H08-



004-02). En el ala norte, los sensores fueron ubicados en el centro del recinto y adentro de una oficina. En el ala sur, dos sensores se ubicaron en el centro del vestíbulo y un sensor en las escaleras que comunican el primer y segundo piso. Otro sensor fue ubicado en un corredor sombreado en el ala sur del patio central. Todos los sensores fueron programados para documentar valores promedio de intervalos de 10 minutos durante ciclos de 24 horas. El sensor ubicado en la escalera no se usó en estos cálculos.

Las condiciones del viento que prevalecieron tanto dentro como fuera del edificio fueron monitorizadas en momentos de máxima velocidad (octubre de 2004 – febrero de 2005; Gutiérrez, Soto y Alpizar, 1997). Se ubicaron dos juegos de dos anemómetros cada uno (modelo 014A, MetOne), uno en la oficina principal en el segundo piso del edificio de Coordinación, lado oeste, y el otro en el primer piso en el ala este del edificio. En ambos casos, un anemómetro fue ubicado dentro y el otro fuera del edificio. Los anemómetros se operaban por el control de un datalogger (modelo CR10X, Campbell Scientific) programado para documentar porcentajes y máxima velocidad a intervalos de 10 minutos durante ciclos de 24 horas.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las condiciones de iluminancia en el interior del edificio resultaron dentro de los rangos de bienestar y típicamente bajo 1.500 lum/m². Secciones del edificio, particularmente oficinas y vestíbulos ubicados cerca de los ventanales norte y sur, experimentaban excesiva iluminancia a través del día, pero especialmente durante la mañana y las últimas horas de la tarde. La solución arquitectónica al problema fue usar elementos de sombra (celosías y filtros). En áreas problemáticas se agregaron celosías y filtros adicionales.

Las condiciones de temperatura en los cinco locales internos demuestran una tendencia típica observada bajo condiciones tropicales, de fuertes fluctuaciones diurnas (10° ó más), pero condiciones estables a través del año. Mínimas temperaturas diarias fueron observadas durante las horas anteriores al amanecer (05:00 - 06:00h), y variaron entre 18°-20°C durante ambas estaciones (seca y lluviosa). Las temperaturas máximas se registraron durante las primeras horas después del mediodía (12:00 a 14:00 h) y variaron entre 26°-28°C en ambas estaciones. Las temperaturas promedio durante las horas hábiles (08:00 a 19:00) fueron de 24°-25°C en ambas estaciones.

Comparando con las temperaturas mínimas y máximas observadas en el exterior (22°C-28.5°C respectivamente), el edificio pro-

vee condiciones de bienestar manteniendo la temperatura interior cercana a al promedio registrado en el exterior, pero reduciendo substancialmente los valores máximos. Las escaleras representan una situación particular. Están cubiertas por vidrios, los cuales crean un “efecto de invernadero” a través del día. La temperatura del aire en esta sección alcanza valores máximos de 32°C, siendo muy incómodo para los usuarios. Esta situación variará a medida que el paisajismo exterior y las plantas de interior crezcan. Las temperaturas mínimas y máximas obtenidas por el Modelo COMFORT en la etapa del diseño, fueron de 24.9°C y 24.4°C durante la estación seca y de 26.6°C y 25. 9°C durante la estación lluviosa, respectivamente.

En comparación con los valores actuales obtenidos en el edificio, el modelo subestimó la máxima temperatura del aire durante la estación lluviosa (Cuadro 1). La humedad relativa demostró patrones típicos observados bajo condiciones tropicales, caracterizados por fuertes fluctuaciones diurnas y estacionales. Durante la estación lluviosa, la humedad del aire promedio fue cercana al 73% (Cuadro 1). La humedad en el interior del edificio alcanzó los niveles máximos en la noche ($\approx 90\%$). Esta progresión declina a medida que la temperatura del aire aumenta durante el día, alcanzando los valores más bajos alrededor del mediodía o a primeras horas de la tarde ($\approx 50\%$). En contraste, el promedio de la temperatura del aire durante la estación seca fue sólo de 53% (Cuadro 1). Sin embargo, la humedad máxima durante la estación seca fue típicamente inferior a 80%, alcanzando valores inferiores al 40% al mediodía y permaneciendo baja durante las horas de la tarde. Valores de humedad bajos (menos de 70%) prevalecieron durante la mayoría de las horas laborales y fueron ligeramente inconfortables para los usuarios. Esta situación determinó la instalación de los humidificadores del patio central, para aumentar la humedad del aire, enfriar el aire y mejorar las condiciones durante las horas de trabajo.

Durante la segunda mitad de la estación lluviosa (septiembre a mediados de noviembre), los vientos predominantes soplan desde el suroeste y muestran un patrón diurno muy claro. Las velocidades del viento fueron muy bajas de noche y aumentaron a sus valores máximos cercanos a 3-4 m/s durante el día (datos no mostrados). En contraste, las velocidades del viento medidas en el interior del edificio alcanzaron velocidades inferiores a los valores máximos, cercanos a 6 m/s, a pesar de las ráfagas cercanas a los 3 m/s que fueron registradas, las cuales causan ligera incomodidad en los usuarios (datos no mostrados). Durante la estación seca, los vientos alisios prevalecen del noreste, con valores promedios cercanos a 4-6 m/s medidos en el exterior. Estos vientos alcanzan su velocidad máxima mayor a 10 m/s. En el interior, las velocidades promedio del viento fueron inferiores a 0.5 m/s, aunque ráfagas cercanas a 2 m/s fueron registradas.

Las condiciones de la velocidad del viento en esta ubicación causan varios problemas. Las ráfagas dentro del edificio vuelan los papeles y aumentan excesivamente la deposición del polvo, particularmente en la estación seca. En adición, los vientos fuertes son importantes de considerar durante días fríos porque disipan el calor, y bajo condiciones cálidas y secas pueden causar deshidratación y calentamiento. Sin embargo, el viento es un acierto bajo condiciones cálidas y húmedas porque produce ventilación natural y mejora el bienestar reduciendo la sensación térmica. Un ejemplo es el efecto del movimiento del aire en el recinto causado por la instalación de ventiladores en el interior del edificio.

CONCLUSIONES

La operación de los edificios bioclimáticos requiere una intervención activa de sus usuarios para regular el clima interno y su bienestar. Mientras que sensores electrónicos y aparatos activan la maquinaria que controla el clima interior en los edificios climatizados artificialmente, la gente está encargada de estos controles en los edificios pasivos diseñados según principios bioclimáticos, manipulando elementos regulables (por ejemplo celosías o persianas, o encender y apagar los ventiladores). Esta actitud debe ser desarrollada y puede requerir de cierto entrenamiento que demuestre a los usuarios cómo manipular los elementos capaces de controlar pasivamente las variables ambientales y cómo tirar ventaja de ellas.

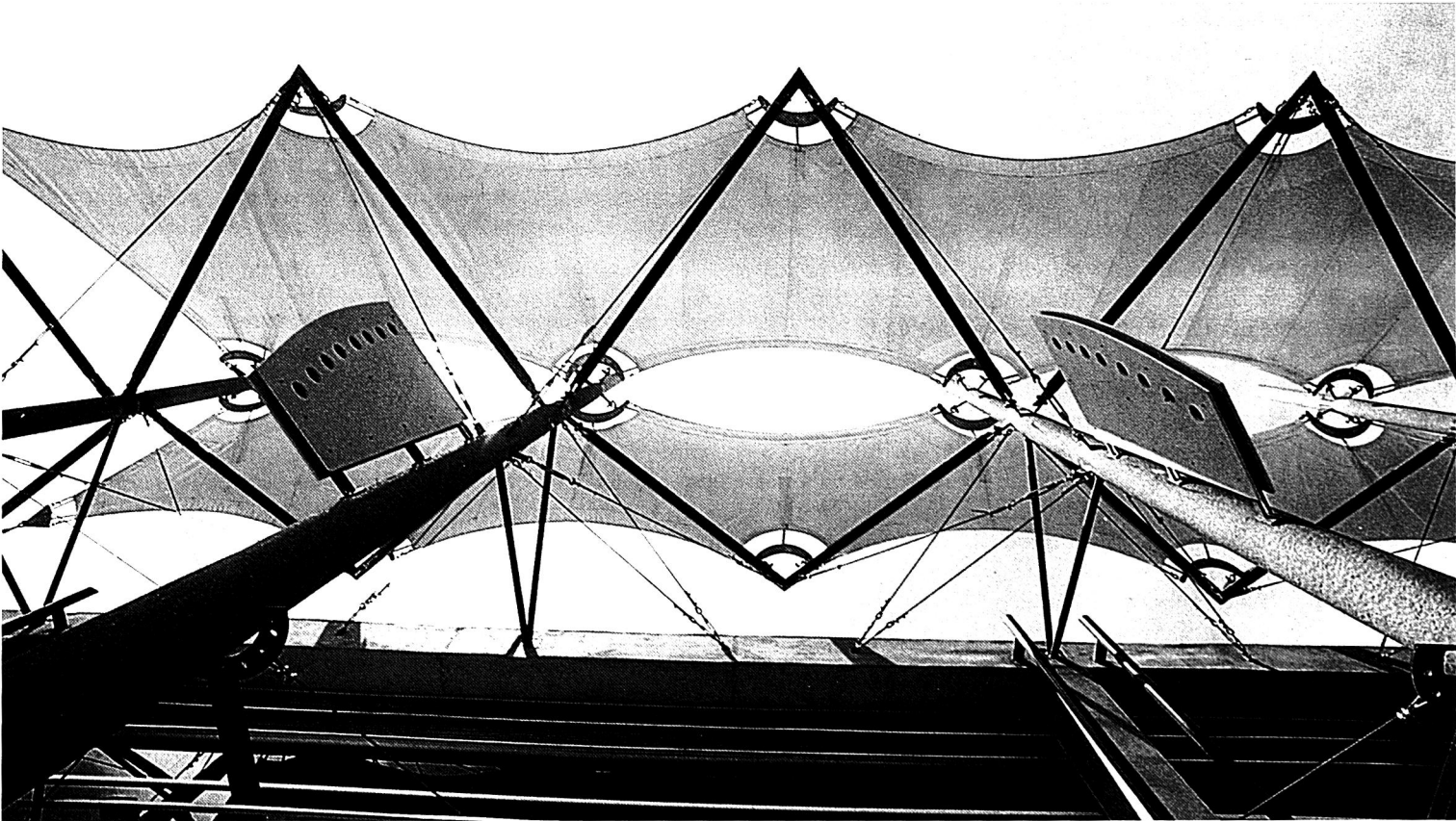
Se hace evidente la importancia del paisajismo para ajustar el clima de los edificios bioclimáticos y crear bienestar. Un ejemplo claro de esto es el papel de las plantas de diferentes tipos para crear sombras y reducir la carga térmica, la temperatura del aire y la evaporación. Además, los árboles pueden plantarse como rompevientos o en pequeños bosques y corredores biológicos, los cuales pueden contribuir substancialmente a resolver el problema asociado a las ráfagas observadas en esta zona y promover, al mismo tiempo, la conservación y biodiversidad local.

De acuerdo a las normas de bienestar ISO, el edificio HOLCIM en Costa Rica provee habitabilidad y bienestar durante las horas laborables (Cuadro 1). Las condiciones ambientales internas califican como confortables pero levemente cálidas durante la estación seca y como confortable y levemente húmedo durante la estación lluviosa (Cuadro 1). El diseño bioclimático fue por tanto exitoso al crear soluciones arquitectónicas sostenibles en ambientes estacio-

nales tropicales, caracterizados por una iluminancia y temperaturas cálidas todo el año y grandes fluctuaciones en precipitaciones, radiación, humedad y velocidad del viento.

Variables Ambientales	estación seca	estación lluviosa
Temperatura (°C) (condiciones actuales internas)	24.19 ± 0.11	24.8 ± 0.28
Temperatura (°C) (Modelo COMFORT internas)	24.90	24.40
Humedad Relativa (%) (condiciones actuales internas)	53.07 ± 1.13	72.90 ± 1.45
Temperatura máxima (°C) (condiciones actuales internas)	26.04 ± 0.33	27.47 ± 0.87
Temperatura máxima (Modelo COMFORT)	26.60	25.90
Condiciones de confort (ISO Normas)	confortable, levemente caliente	confortable levemente húmedo

Cuadro 1. Condiciones de confort y ambientales en el edificio durante las estaciones seca y lluviosa



Detalle de la estructura tensada y de los elementos de sombra