

EXPERIENCIAS DE DISEÑO BIOCLIMATICO EN MEXICO

Aníbal Figueroa(1); Víctor Fuentes(2); Gloria María Castorena(3)

Universidad Autónoma Metropolitana, México

Av. San Pablo 180, México D. F., 02200. Tel. (55)5318-9189

(1) fca@correo.azc.uam.mx (2) ffva@correo.azc.uam.mx

(3) gmce@correo.azc.uam.mx

RESUMEN.

Las experiencias del grupo de diseño bioclimático, constituido por Aníbal Figueroa, Víctor Fuentes, Roberto García y Gloria Castorena en diferentes problemas de diseño arquitectónico bioclimático, se inician en 1980. Desde entonces a la fecha, el grupo ha acumulado una experiencia constructiva significativa en edificaciones en la zona central de la República Mexicana en las ciudades de México, Cuernavaca y Tepetzotlán.

ABSTRACT

The Bioclimatological Design Group has been integrated by Anibal Figueroa, Victor Fuentes, Roberto García and Gloria Castorena, working since 1980 in architectonic design problems. Ever since that time the construction and design experience of the group has included several buildings in Central Mexico in the cities of: Mexico, Cuernavaca and Tepetzotlan.

1. INTRODUCCIÓN

Todos los proyectos desarrollados por el grupo de diseño bioclimático han compartido una filosofía común de análisis climatológico, del entorno ambiental, diseño lógico con pruebas experimentales asociadas a su desarrollo y evaluación de los edificios una vez que han sido concluidos y han entrado en operación. Simultáneamente a la experiencia constructiva el grupo ha desarrollado numerosos escritos en artículos y libros, así como la consolidación del Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Entre otras distinciones el grupo obtuvo en México en 1994 el Premio Nacional de Ahorro de Energía y el Premio 2001 al mejor libro de texto universitario. Los proyectos presentados en este documento se desarrollan en la región central de la República Mexicana.

Las condiciones climatológicas generales son de climas templados con lluvias en verano y oscilación estacional moderada. Esta zona presenta veranos templados y lluviosos, primaveras calurosas y secas, otoños templados y secos e inviernos poco rigurosas con grandes oscilaciones de temperatura entre la mañana y el mediodía. Sin embargo se dan diferencias significativas entre sí, siendo Cuernavaca el lugar más cálido y la Tepetzotlán el más frío.

El caso de la Ciudad de Cuernavaca, situada a 70 Km. al sur de la Ciudad de México y en donde se desarrollaron tres de los proyectos descritos, tiene una temperatura media anual de 20.9°C, con una oscilación media anual de 12°C. El mes más caluroso es Abril con temperaturas máximas promedio de 30.2°C y oscilaciones diarias de 20°C y el mes más fresco Enero con temperaturas mínimas promedio de 12.5°C. y oscilaciones diarias de 12.5°C. El régimen de lluvias es en verano con una precipitación anual de 1242 mm. De Junio a Septiembre se presentan precipitaciones mensuales superiores a los 250 mm. en promedio.

La Ciudad de México, tiene una temperatura media anual de 16.8°C, con una oscilación media anual de 16°C. El mes más caluroso es Abril con temperaturas máximas promedio de 28.5°C y oscilaciones diarias de 17°C y el mes más frío es Enero con temperaturas mínimas promedio de

4.7°C. y oscilaciones diarias de 19.2°C. El régimen de lluvias es en verano con una precipitación anual de 503 mm De Mayo a Agosto se presentan precipitaciones moderadas entre 50 y 110 mm. en promedio.¹

Tepetzotlán situado a 45 kilómetros al nor-oeste de la Ciudad de México, tiene una temperatura media anual de 15.3°C, con una oscilación media anual de 14.7°C. El mes mas caluroso es Abril con temperaturas máximas promedio de 26.2°C y oscilaciones diarias de 17.8°C y el mes mas frío es Enero con temperaturas mínimas promedio de 3.5°C. y oscilaciones diarias de 16.6°C. El régimen de lluvias es en verano con una precipitación anual de 699.5 mm De Junio a Agosto se presentan precipitaciones entre 120 y 180 mm. en promedio.²

2. LOS HULES, CUERNAVACA, MORELOS

“Los Hules” en la Ciudad de Cuernavaca es una vivienda experimental de solo 60 m2 cubiertos y 140 metros de terrazas abiertas en un lote suburbano de 1200 metros cuadrados. Se trata de una propuesta arquitectónica que da especial importancia al uso del espacio exterior y la vegetación como elemento de control climático. Se ha buscado en ella integrar sistemas de climatización pasivos para un clima con primaveras secas y calorosas, veranos cálidos y lluviosos e inviernos templados.



El uso de celosías, la reducción de los vanos, sistemas de ventilación cruzada, dispositivos de control solar y la integración del mobiliario han permitido un uso eficiente del espacio al tiempo que se obtiene una respuesta climática adecuada. Los espacios exteriores se han resuelto por medio de desniveles, lo que permite que el aire se estratifique y produzca áreas de estar con temperaturas adecuadas durante todo el año.

3. LAS PALMAS, CUERNAVACA, MORELOS

Las viviendas de “las Palmas”, también en la Ciudad de Cuernavaca, integran en dos construcciones independientes nuevas experiencias para el clima de este lugar distante 80 kilómetros de la Ciudad de México. El extenso terreno presentaba una pronunciada pendiente que ha sido aprovechada para crear accesos en dos niveles. Una parte de la construcción se ha desarrollado semi-enterrada para incrementar los efectos de estabilidad térmica con el uso de masa constructiva. Asimismo se han empleado dispositivos de ventilación y sombreado. Aprovechando las condiciones climáticas favorables para el crecimiento de la vegetación se ha considerado a esta como un medio de control climático, no solo por sus propiedades higro-térmicas sino incluso por sus cualidades olfativas y cromáticas. Asimismo se incluyeron algunas eco-tecnologías como colectores solares para el calentamiento del agua.

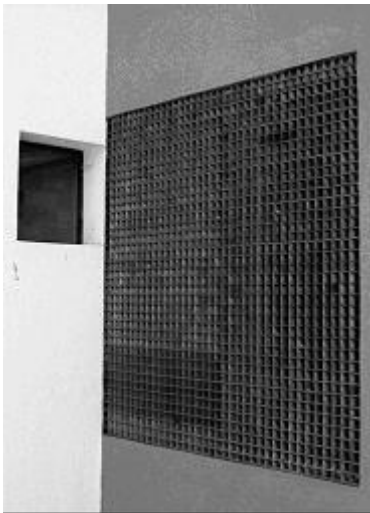
¹ Normales Climatológicas 1941-1970. Ed. SARH, México, 1982

² Observatorio Meteorológico Nacional, Estación La Concepción, Tepetzotlán.



4. LA LUNA, CUERNAVACA, MORELOS

Nuevamente en la Ciudad de Cuernavaca, en esta ocasión se trata de una vivienda de cien metros cuadrados en un típico lote urbano de 160 metros cuadrados. Para ella se desarrollaron algunos sistemas novedosos de humidificación y control de asoleamiento. Asimismo se integraron sistemas de recuperación de agua pluvial, sistemas de reutilización de aguas jabonosas, colectores solares para el calentamiento del agua doméstica y un sistema independiente para calentamiento del agua de la alberca.



Por sus reducidas dimensiones se buscó un máximo aprovechamiento del espacio, sin menospreciar la iluminación y ventilación naturales. Se propuso una azotea-jardín como área de recreo. Dados los requerimientos de humidificación propios del predio se empleó al agua como un recurso de diseño y humidificación.

5. LABORATORIOS Y TALLERES, CYAD, UAM-A, MEXICO, D.F.

Este proyecto consistió en una ampliación de 3,000 metros cuadrados a un edificio de talleres existentes. Se trata de espacios de docencia práctica para las carreras de Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana. Como estrategia se ubicaron en planta alta los espacios que tenían requerimientos importantes de ventilación. Se desarrolló de forma experimental un sistema de extracción natural de alta eficiencia que tomara ventaja de los fuertes vientos dominantes en esta zona de la Ciudad de México.

Otro factor determinante fue la calidad de la iluminación interior. En la mayoría de los espacios la iluminación es natural consiguiéndose niveles de iluminación diurna que satisfacen las normas internacionales. En cuanto a la iluminación artificial se emplearon exclusivamente lámparas de alta eficiencia adecuadas a los diferentes usos del espacio.

En este edificio se diseñó un espacio para albergar al Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM. En este laboratorio se han incluido un cielo artificial para verificar modelos de iluminación natural, un túnel de viento para analizar el comportamiento convectivo de los diseños y un heliodón para modelar la trayectoria y radiación solar. Todas estas herramientas han sido desarrolladas con fines didácticos para los programas de licenciatura y posgrado.

6. CENTRO DE COMPUTO, UAM-A, MEXICO D.F.

Como resultado del buen desempeño del edificio de Laboratorios y Talleres se nos comisionó el proyecto y supervisión arquitectónica de un nuevo Centro de Computo para el Campus de Azcapotzalco de la UAM. Se trata de un edificio de 5000 metros cuadrados que alberga a las instalaciones electrónicas de control y comunicaciones de la universidad, aulas audiovisuales con medios electrónicos, espacios de investigación y práctica de alumnos con 600 estaciones de trabajo, así como una zona destinada al control escolar de la institución.



En un terreno fuertemente condicionado por otros edificios existentes, se le dio especial importancia a los sistemas de climatización natural y artificial, a los sistemas de iluminación natural y a los dispositivos de control solar. Se ha incluido un jardín interior que funciona

simultáneamente como dispositivo de humidificación natural, extracción de aire (por efecto “stack”) e iluminación natural.

La carga higro-térmica interna fue una de las variables analizadas con mayor cuidado, ya que implicaba un aumento de la temperatura interior, incluso en invierno, por arriba de los límites de confort aceptables por usuarios y equipos. Para ello se propuso un sistema de acondicionamiento con un ciclo “abierto” donde una parte del edificio funciona como “tolva” para canalizar el viento incidente desde el norte a estaciones manejadoras de aire que filtran y humedecen el fluido según los requerimientos estacionales. El aire ya “acondicionado” se inyecta a los espacios con mayor carga térmica, de donde sale por la parte superior a través de vanos ubicados a sotavento.

También se diseñaron con un criterio bioclimático los exteriores, donde se han incluido un reloj de sol, un diseño cuidadoso de pavimentos y un jardín con especies caducas y perennes.

7. BOULEVARES, NAUCALPAN, EDO. DE MÉXICO

En esta ocasión se trata nuevamente de una vivienda urbana “típica”. La superficie construida es de 130 metros cuadrados en un lote de 170 metros. El esquema arquitectónico se ha desarrollado en “L” para permitir una orientación al sur así como un control visual en todas las ventanas. Las condiciones climáticas del sitio presentan temperaturas más bajas que en Cuernavaca, dada la altitud del lugar. Ello establece como estrategias principales la ganancia solar directa moderada en el invierno, un masividad media con mayor área de muros que de ventanas y empleo de materiales aislantes en pisos y cubiertas.



Para controlar los flujos de ventilación se han colocado ventiladores bi-direccionales en todas las habitaciones. Estos permiten crear corrientes convectivas que refrescan directamente en los meses calurosos y en un ciclo inverso, distribuir uniformemente el calor en las habitaciones durante el invierno.

De modo experimental se ha colocado un sistema de calentamiento de agua doméstico por medio de un colector auto-contenido, el cual puede funcionar en forma autónoma durante los meses de primavera y verano o como un sistema de precalentamiento el resto del año, sin estar expuesto al problema de congelación que se presenta ocasionalmente durante el invierno.

También se ha empleado la vegetación como sistema de control de asoleamiento ubicando árboles de hoja caduca enfrente a las ventanas sur y árboles perennifolios y aromáticos en las fachadas este y oeste.

8. TEPOTZOTLAN I, TEPOTZOTLAN, ESTADO DE MÉXICO

La casa Tepotzotlán I corresponde a una serie de locales de diferentes etapas constructivas que se remodelaron y adicionaron como parte de un plan maestro durante varios años. El pueblo colonial de Tepotzotlán se encuentra a cuarenta kilómetros al norte de la Ciudad de México. El predio de 900 metros cuadrados de la casa esta en el centro histórico y tiene una forma irregular con un frente muy reducido a la calle y gran profundidad.



Su trazo esta dominado por una canal de riego de origen pre-hispánico que se integró al sistema hidráulico del colegio jesuita edificado en el pueblo en el siglo XVII. Este canal esta aún en uso llevando agua de una presa cercana durante los meses de marzo y abril. Adicionalmente dominan el terreno una serie de fresnos centenarios a los lados del canal. La ubicación del lote es en la parte mas elevada de una colina de 50 metros de altura sobre el valle, al pie de la Sierra de Tepotzotlán.

Dada la canalización de los vientos regionales por la topografía, estos son constantes e intensos a lo largo de todo el año. La altitud de 2350 metros sobre el nivel el mar, 100 metros mas que el centro de la Ciudad de México, lo hace mas frío que esta, particularmente en el invierno, cuando se presentan con frecuencia heladas. Debido a la altitud el aire es seco, lo que ocasiona oscilaciones térmicas diarias superiores a los 15° C durante todo el año. Por ello las principales estrategias de diseño son la ganancia directa e indirecta intensa en invierno y moderada el resto del año, así como la masividad y una baja conductividad por las superficies acristaladas.

Se ha desarrollado un proyecto altamente masivo, con algunos muros de adobe de hasta 90 centímetros de espesor y mamposterías de tabique de barro de 20 cm. Se han construido cubiertas planas con rellenos de piedra volcánica ligera llamada localmente tezontle (similar a la piedra pómez) y varias capas de barro cocido. El espesor promedio de la cubierta es de 50 centímetros.

En las ventanas, se han instalado cristales dobles con cámara estanca sobre cancelería de aluminio, que proporciona un buen sello hermético respecto al exterior. Esto permite reducir las perdidas conductivas y convectivas, controlar las infiltraciones de aire, así como reducir los niveles de ruido exterior.

Se han creado dos pequeños invernaderos adosados a las construcciones. Estos se han cubierto con policarbonato de doble capa para crear una cámara de aire y reducir las perdidas de calor en la noche o en el invierno. Debido a las limitaciones existentes los invernaderos se han inclinado ligeramente al oeste. En la parte superior de estos se han colocado pequeñas ventanas operables que permiten controlar el paso de aire caliente del invernadero al interior de la casa.

La vivienda se ha desarrollado en dos plantas, creando una esclusa térmica por medio de una doble puerta entre la planta inferior y la superior. Este sencillo dispositivo ha demostrado ser muy eficaz en el control convectivo interno de la casa, manteniendo aún en los días mas fríos temperaturas agradables y en confort durante todo el día en las habitaciones, con una oscilación térmica inferior a los 2°C.

También se ha incluido un sistema de recuperación de aguas pluviales de azoteas para riego y limpieza de espacios exteriores, canalizando estas hacia una fuente-estanque que tiene también fines decorativos.

9. TEPOTZOTLAN II, TEPOTZOTLAN, ESTADO DE MÉXICO

La vivienda Tepetzotlán II consiste en un proyecto de reaprovechamiento de un edificio histórico. Se trata de una parte de 180 metros cuadrados de las antiguas casas de recaudación del Colegio de Tepetzotlán. Algunas partes de la construcción datan del siglo XVII, con modificaciones y alteraciones durante los siglos XVIII, XIX y XX. El estado de deterioro de las estructuras era muy importante, por lo que el proyecto incluyó su estudio, consolidación y reconstrucción.



Uno de los aspectos mas interesantes desde el punto de vista bioclimático lo constituye la recuperación y evaluación de sistemas constructivos tradicionales, los que llevan implícito un conocimiento empírico del lugar y sus condiciones climáticas.

Como en la casa Tepetzotlán I, de la que es colindante, en Tepetzotlán II las estrategias han sido masividad, ganancia directa y baja conductividad en superficies acristaladas.

La masividad se ha logrado por medio de muros con mamposterías heterogéneas de adobe y barro de espesores variables entre los 90 y los 60 centímetros. En las cubiertas se ha empleado un sistema tradicional con vigas de madera y piezas de barro en doble capa con un espesor de 20 centímetros.

Uno de los locales originales ha sido techado con una cubierta transparente de policarbonato sobre vigas de madera, para que funcione como invernadero. Los gruesos muros reciben radiación directa como el día y estabilizan las temperaturas interiores. Desde este invernadero se ha colocado un ventilador que inyecta el aire caliente a los espacios habitables o extrae el exceso de energía, de acuerdo a la época del año.

Otro elemento histórico de gran belleza, utilidad e importancia desde un punto de vista bioclimático es el pórtico orientado al sur. Este espacio semi-abierto desempeña varias funciones en la vivienda al aprovechar las condiciones climáticas favorables para las actividades al exterior durante la mayor parte del año.

En cuanto a la conductividad por ventanas y vanos se ha optado por un diseño de cancelería que incluye un área de ventilación y otra de iluminación cerrando ambas por medio de “oscuros” o postigos de madera. Estos elementos se reinterpretaron del diseño original y permiten una solución agradable que controla la luz incidente en las habitaciones, reduce el ruido, aumenta la seguridad y reduce las pérdidas conductivas por las ventanas.



10. ANEXOS “H”, CYAD UAM-A, MEXICO, D.F.

En un proyecto técnicamente complejo, se buscó reforzar estructuralmente un edificio de 10,000 metros cuadrados construyendo dos edificios “contrafurte” simétricos de 1200 metros cada uno. Los retos principales se planteaban desde el punto de vista de iluminación y orientaciones.

La solución propuesta consiste en dos edificios en “L” que generan un patio triangular cubierto con cristal. Las nuevas construcciones apenas se tocan en los vértices con el edificio existente. En estos puntos se ubicaron los puentes de intercomunicación.

Se respetó el manejo de materiales del edificio existente, optándose por un sistema constructivo de prefabricados de concreto que garantizaba un acabado uniforme, buena calidad y rapidez de ejecución.

Se integraron en el diseño unos plafones piramidales en cuyo vértice se colocaron lámparasHQI de alta eficiencia y buen rendimiento cromático, con el objeto de reducir al máximo el número de luminarias y por lo tanto el gasto energético, así como los gastos de operación y mantenimiento.

En las ventanas que por la geometría del edificio recibirían insolación directa, se diseñaron reflectores de aluminio perforados que reducen el asoleamiento en las ventanas y proyectan la componente lumínica directa a la parte central de espacio de oficinas.

En el último nivel se plantean Salas de Consejo, para las reuniones académicas de los órganos rectores de la universidad. En ellas se ha incrementado la altura nuevamente a través de una pirámide en cuyo vértice se ha colocado un tragaluz. De este modo los asistentes a las reuniones reciben la iluminación cenitalmente, iluminando sus rostros y evitando el desagradable efecto de contraluz común a muchas áreas de juntas. En este nivel las azoteas se plantean como espacios semi-abiertos para consumir alimentos o discutir los asuntos académicos en grupos mas pequeños.

11. CHILUCA I, ATIZAPAN, ESTADO DE MÉXICO

Nuevamente en las montañas de los alrededores de la Ciudad de México, la vivienda de Chiluca se ubica en una zona residencial suburbana, colindante a un extenso Campo de Golf. El terreno tiene 800 metros cuadrados y la construcción 280 m². Se trata de una modificación y adición a una estructura a base de madera en troncos y vigas.



En el proyecto se le ha dado importancia a la recuperación, tratamiento, almacenamiento y distribución tanto del agua pluvial como jabonosa, que será empleada para riego de jardines, así como limpieza y mantenimiento de áreas exteriores

Se han aplicado principios de “diseño centralizado” para todas las instalaciones incluyendo redes hidráulicas de agua fría y caliente, sistema eléctrico de fuerza, sistema eléctrico de iluminación, sistema de intercomunicación, sistema de telefonía, sistema de video, sistema de comunicaciones de computo y sistema de audio. En todos ellos se ha buscado conservar la calidad del servicio por medio de canalizaciones dedicadas a cada terminal.

Asimismo se ha instalado un sistema de calentamiento de agua doméstica híbrido que se basa en un colector solar plano de cobre y un calentador eléctrico controlado por un reloj. Este permite garantizar disponibilidad de agua caliente en las horas críticas de uso del servicio, reduciendo el consumo energético al mínimo posible.

En la cubierta se ha colocado aislante térmico a base de espuma de poliuretano expandido entre un lambrín de madera y la impermeabilización. El acabado final se ha hecho con una teja de fibrocemento con color integral que tiene características térmicas adecuadas.

La vegetación se ha empleado como un elemento de control climático, evitando los vientos del norte con una barrera vegetal perenne y favoreciendo el control de asoleamiento con vegetación caducifolia en las otras orientaciones.

12. CONCLUSIONES

Los diez proyectos que se presentan son una muestra significativa del trabajo sobre principios bioclimáticos del grupo durante los últimos veinte años en la zona central de México.

Los proyectos tienen diferentes dimensiones, pero comparten una metodología de diseño bioclimático que ha sido probada y mejorada a lo largo del tiempo.

Siendo diferentes entre sí, se privilegian en cada uno las estrategias y elementos de diseño bioclimático que el grupo consideró mas importantes. Se trata sobre todo, de estrategias “pasivas” con un mínimo de artefactos tecnológicos y un máximo de diseño.

Todos los proyectos presentados han sido construidos y evaluados durante su proyecto y ejecución, así como una vez que han sido terminados y ocupados. En general han cumplido con el desempeño previsto.

Podemos afirmar que en todos los casos los usuarios reportan los edificios como agradables, sin identificar exactamente a que se debe el calificativo aplicado. Por ello es posible concluir que la buena arquitectura bioclimática debe ser casi imperceptible.

12. BIBLIOGRAFÍA

FIGUEROA, A., FUENTES, V. (1988) *La Vivienda y Su Contexto Bioclimático*, Editado por la UAM-A, México

FIGUEROA, A., FUENTES, V. (1990) *Criterios de Adecuación Bioclimática en Arquitectura*, Editado por el IMSS, No.7300, México

TOCA, A., FIGUEROA, A. (1991). *México Nueva Arquitectura*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1991

FIGUEROA, A., FUENTES, V. (1992) *Biografía de un Edificio*. Editado por la UAM-A, México

FIGUEROA, A. (1997) *Las Edificaciones de Tierra en el Alto Atlas*. Anuario de Arquitectura Bioclimática, Vol I, México

FIGUEROA, A., FUENTES, V. (1998) *Edificio de la Coordinación de Servicios de Computo*, Revista Enlace, Mexico, Agosto

FIGUEROA, A., FUENTES, V. (1998) *Edificios Anexos al Edificio de Cubículos de Profesores*. Revista Enlace, México, Agosto

FIGUEROA, A., FUENTES, V. (2001) *Ecotecnologías y Sistemas de Iluminación en los Anexos del edificio "H"*, ANES XXV, San Luis Potosí, Octubre

FIGUEROA A. CASTORENA, G. (2001) *Relojes y Secador Solar en el ExColegio de Tepetzotlán*, ANES XXV, San Luis Potosí, Octubre

HUERTA V., FIGUEROA, A. (2001) *Análisis de la Norma NOM 008*, Anuario ANES XXV, San Luis Potosí, México

FIGUEROA A. CASTORENA, G. (2001) *Vivienda Bioclimática en Tepetzotlán*, Anuario ANES XXV, San Luis Potosí, México

RODRÍGUEZ VIQUEIRA, ET AL. (2001) *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, Ed. Limusa, México.

RODRÍGUEZ VIQUEIRA, ET AL. (2002) *Estudios de Arquitectura Bioclimática*. Ed. Limusa, México.

FIGUEROA A. CASTORENA, G. (2002) *Vivienda Bioclimática en las antiguas casas de recaudación de Tepetzotlán*, Anuario ANES XXVI, Chetumal, México

FIGUEROA A. CASTORENA, G. (2002) *Los Efectos de la Masividad en las Condiciones Higro-termicas interiores del Antiguo Colegio de Tepetzotlan*, Anuario ANES XXVI, Chetumal, México