

Herramienta automatizada para el diseño bioclimático de edificaciones: ASICLIMA

Pablo La Roche

RESUMEN

Los arquitectos en Venezuela no están acostumbrados a utilizar herramientas gráficas o computacionales en el diseño bioclimático de edificaciones. En este trabajo se presenta un sistema de computación, ASICLIMA, que asiste al arquitecto en el diseño de edificaciones adaptadas a las condiciones climáticas del lugar. Este sistema se amolda al proceso de diseño arquitectónico, funcionando como un programa evaluativo utilizable en cualquier etapa del mismo. Procesa datos del sitio, clima y edificio para generar información gráfica y numérica sobre las condiciones de bienestar térmico externas, la radiación solar incidente, la ganancia térmica a través de la envolvente y los gastos energéticos para lograr la temperatura de diseño propuesta. Se presenta un ejemplo de aplicación del programa.

ABSTRACT

A computer program as an assistant in thermally conscious design: ASICLIMA

Design tools to achieve energy efficient buildings are not generally used by architects in Venezuela. In this paper a computer system called ASICLIMA is presented, which was developed to aid the architect, by evaluation, in the design of buildings adapted to local climate conditions. After processing building, climate and site data ASICLIMA generates numerical and graphical information on external thermal comfort, hourly thermal gain through external walls and roofs, and energy consumption in case mechanical air conditioning is needed. A case study is presented.

DESCRIPTORES

Ahorro energético
Diseño bioclimático
Proceso de diseño
Simulación
Sistema de computación

1. INTRODUCCION

Existen muchos métodos para calcular los flujos de calor, cargas de aire acondicionado o las temperaturas internas (1) (2) (3) (4) (5) (6), algunos de los cuales son utilizados por ingenieros mecánicos en Venezuela. En países con mayor conciencia energética se han desarrollado programas de computación, algunos basados en dichos métodos (7) (8) (9), pero todos con énfasis en el análisis térmico de edificios bajo condiciones climáticas muy diferentes a las de nuestros climas tropicales. En Venezuela también se están desarrollando sistemas de computación en el área de térmica de edificaciones (10) (11), pero éstos todavía no son accesibles a los profesionales de la arquitectura.

Son tres las razones que inciden con más fuerza en la construcción de esta herramienta automatizada. La primera, proviene de las dificultades que enfrenta el arquitecto a lo largo del proceso de diseño para resolver problemas que involucran gran cantidad de variables. La segunda razón se deriva de la escasa utilización de las herramientas gráficas tradicionales, tales como los diagramas solares y los gráficos psicrométricos, en el diseño bioclimático de edificaciones, ya que éstos exigen conocimientos que los arquitectos no siempre poseen. Por último, se ha observado que todavía no existen en Venezuela programas de computación, de uso generalizado, aplicables al diseño de edificaciones sensibles al clima.

En este artículo se presenta un prototipo automatizado de carácter experimental, llamado ASICLIMA, diseñado para auxiliar al arquitecto en la evaluación de su propuesta arquitectónica, elevando la eficiencia y productividad del proceso de diseño e incrementando la calidad del producto final. La herramienta también tendrá una función educativa, pues mediante su utilización, el usuario aprenderá conceptos básicos sobre el clima y su relación con la arquitectura.

FIGURA 1
CICLOS ALTERNOS EN EL PROCESO DE DISEÑO. (GENERACION-REDUCCION)



2. ASICLIMA Y EL PROCESO DE DISEÑO ARQUITECTONICO

Para detectar las tareas que se pueden asistir con la computadora es necesario comprender al proceso de diseño y las actividades que realiza el arquitecto dentro del mismo. El diseño es una actividad específicamente humana y el hombre diseña siempre que tiene un propósito en mente, para lo cual generalmente aplica una estrategia. El producto del diseño no es solamente el logro del objetivo trazado, también es el plan para lograrlo.

2.1. El Proceso de Diseño Arquitectónico.

Para hablar del proceso de diseño es importante comprender el concepto de problema. Thorndike en 1931 (12), propone la existencia de un problema cuando un organismo necesita algo pero las acciones necesarias para obtenerlo no son obvias. El proyecto ICADS (13) define al término diseño como un proceso iterativo de resolución de problemas, que procede en partes que no están claramente delimitadas. Los problemas de diseño generalmente no se pueden formular adecuadamente, existiendo siempre la posibilidad de una nueva reformulación. Tampoco se pueden identificar todas las posibles soluciones de un problema, por lo que el diseñador resuelve las características más perceptibles, dejándolo muchas veces mal resuelto.

Sin embargo, diseñar es mucho más que resolver problemas. Según Schmitt (14) el proceso de diseño es un procedimiento por medio del cual un programa arquitectónico llega a su forma construida, satisfaciendo una serie de criterios. Este proceso generalmente comienza con una serie de dibujos o esquemas realizados con lápiz blando, los cuales se van refinando progresivamente hasta culminar en la propuesta final.

Rittel (15) propone la existencia de un ciclo alternativo dentro del proceso, que se repite constantemente, involucrando dos tipos de actividad mental: la generación y la reducción, intercaladas por períodos de trabajo rutinario no problemático como el cambio de escala de un dibujo, o la resolución de pequeños detalles de una idea. En la etapa de generación se proponen alternativas para resol-

ver el problema y durante la reducción se evalúan estas alternativas. (ver figura 1).

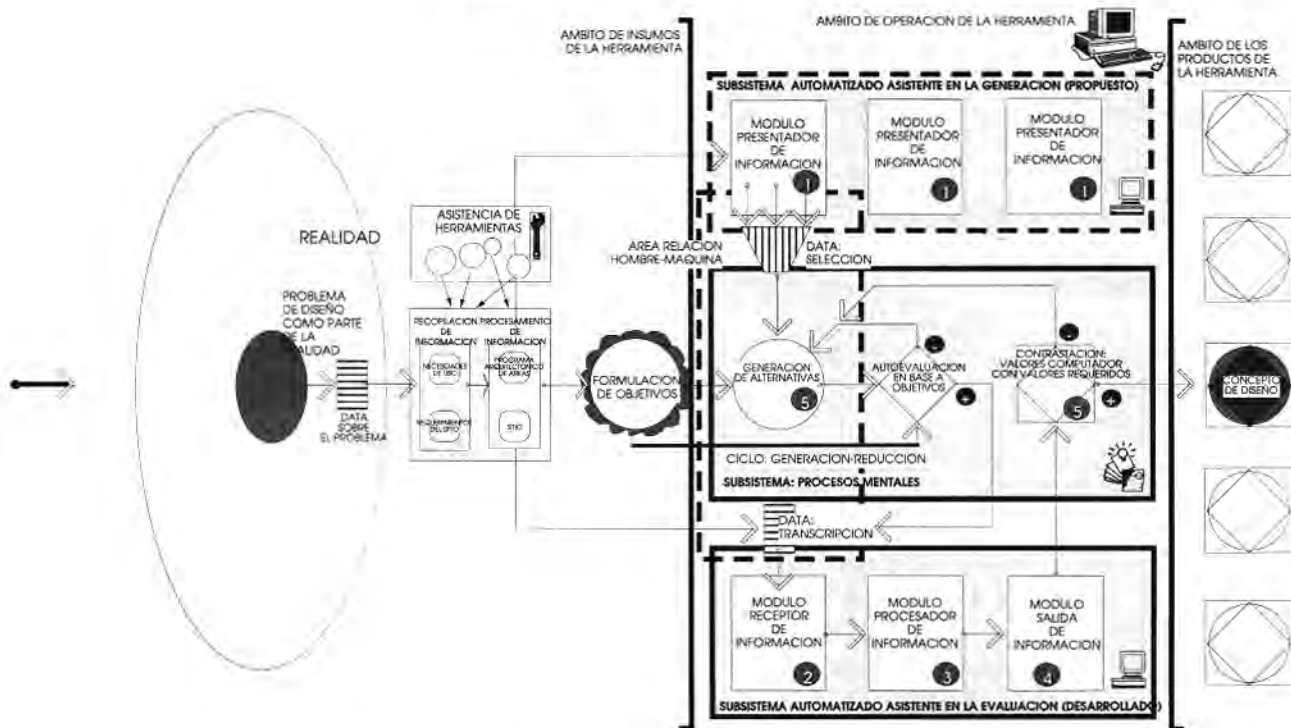
Otro factor que limita la productividad del arquitecto es su capacidad para procesar información, ya que generalmente dispone de una memoria de corto alcance, (12) la cual le permite manejar simultáneamente entre cuatro y once conceptos, limitando su capacidad para resolver problemas complejos. Por lo tanto, el diseñador debe desagregar los subproblemas y resolverlos individualmente, para luego combinar las soluciones y resolver el problema general. ASICLIMA ayuda a resolver aspectos problemas térmicos y por lo tanto el problema general.

2.2. El Proceso de diseño y la computadora

Una herramienta automatizada es un programa o conjunto de programas de computación que sustituyen a los instrumentos tradicionales utilizados en el proceso de diseño tradicional (16). Por lo tanto un programa asistente de diseño (CAD), es cualquier aplicación desarrollada computacionalmente, con capacidad para ayudar al arquitecto a resolver problemas específicos durante el proceso de diseño y generar un mejor proyecto.

A pesar de la posibilidad de acelerar al proceso de diseño con herramientas automatizadas, se debe tener conciencia que este involucra, además de actividades racionales, un juicio cualitativo, comprensión intuitiva e imaginación creativa, elementos ajenos a los procesos cuantitativos y lógicos de la computadora. La complejidad del proceso de diseño se ve acrecentada además, por su naturaleza cíclica y la necesidad de procesar gran cantidad de información de un amplio espectro de profesiones (17). El arquitecto es un creativo productor de ideas, pero muchas veces es inestable y lento, mientras que la computadora es un instrumento rápido y eficiente para ejecutar operaciones utilizando ecuaciones. Se ha propuesto entonces, un sistema que combine la creatividad del arquitecto con la velocidad y capacidad de procesamiento de información de la computadora. Este sistema puede ser utilizado a lo largo de cualquiera de los ciclos generación-reducción del proceso, ayudando a resolver el aspecto térmico de los problemas de diseño

FIGURA 2
PROPUESTA DEL SISTEMA ASICLIMA



y permitiendo al arquitecto más tiempo para desarrollar su creatividad. ASICLIMA se convierte entonces en un elemento modificante del proceso de diseño, incidiendo en la forma física de la edificación.

2.3 Propuesta conceptual

El sistema de computación "ASICLIMA" se propone como un asistente automatizado en el diseño bioclimático de edificaciones. Se divide en tres subsistemas: asistente en la generación de conceptos, asistente en la evaluación de conceptos y subsistema operador. Tanto el subsistema de generación como el subsistema de evaluación incluyen al ordenador como pieza clave para su funcionamiento y asistirán al diseñador en el proceso de toma de decisiones. El subsistema operador se refiere al diseñador como coordinador de los anteriores.

El subsistema asistente en la generación de conceptos presenta datos y recomendaciones en el área climática, apoyándose en el manejo de información. Los datos aparecerán en las pantallas de ayuda, las cuales resumirán la información que permitirá generar los conceptos de diseño o incorporarlas a medida que avance el proyecto. En este prototipo el subsistema asistente está construido de una forma muy rudimentaria, con una simple pantalla de ayuda pero posteriormente se desarrollará con mayor profundidad.

El subsistema asistente en la evaluación de conceptos evalúa el comportamiento térmico de la edificación ante unas condiciones climáticas externas. Comprende

tres tipos de módulos: receptores de información, tipo 2, donde el usuario introduce los datos necesarios para el procesamiento y es el área de interfaz con el usuario; módulos de evaluación, tipo 3, donde el computador procesa la información introducida por el operador y comprende a los procedimientos de cálculo del programa; y módulos de salida de información, tipo 4, que presentan los resultados del computador.

A los módulos que conforman al subsistema operador se les llama módulos caja negra, tipo 5, y se refieren al cerebro del diseñador. Estos representan los instantes del proceso en los cuales el arquitecto toma el control realizando determinadas operaciones mentales. Se subdividen en dos tipos de módulos: Los módulos de caja negra generativos, tipo 5.1, donde predomina la creatividad y el uso del lóbulo derecho del cerebro y los módulos de caja negra reductivos, tipo 5.2, donde predomina lo evaluativo y el uso del lóbulo izquierdo del cerebro.

El objetivo del sistema es procurar que el arquitecto utilice los módulos tipo 1 como apoyo en la generación de alternativas, utilice los módulos tipo 4 para determinar si la propuesta cumple con los objetivos propuestos y entonces tome las decisiones más acertadas en los módulos tipo 5.

En la figura 2 se sintetiza el funcionamiento del sistema. ASICLIMA funciona con los subsistemas B (operador) y C (evaluador) y sus correspondientes insumos externos, posteriormente se integrará el subsistema A

(generador). Por lo tanto, el sistema funciona como asistente evaluativo de la producción arquitectónica, y ayuda al diseñador a tener una mejor visión de las consecuencias de sus decisiones.

3. EL BALANCE TERMICO DE LA EDIFICACION

Los elementos del clima que inciden en el bienestar térmico son la temperatura, la humedad, el movimiento del aire y las condiciones radiantes. Estos se combinan en la naturaleza para producir una situación térmicamente agradable o desagradable para el ser humano.

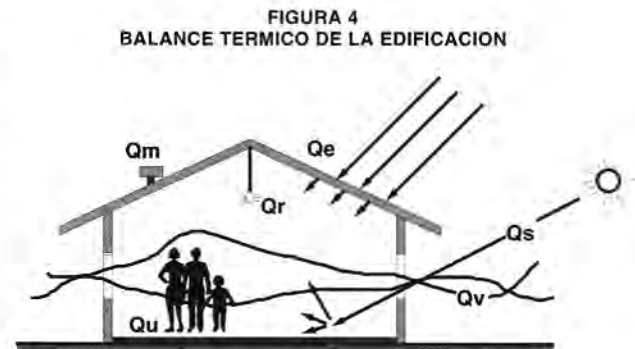
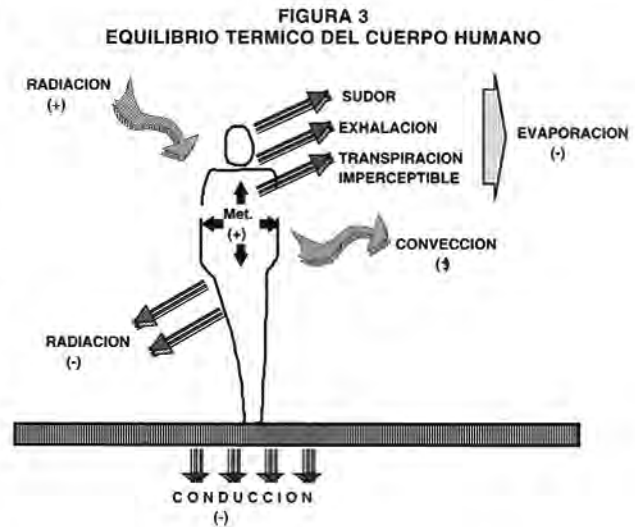
El equilibrio térmico en el cuerpo humano existe cuando se cumple la ecuación 1:

$$\text{Met} - \text{Evp} \pm \text{Cnd} \pm \text{Cnv} \pm \text{Rad} = 0 \quad (1)$$

Donde Met es el metabolismo basal y muscular que representa la producción energética del cuerpo; Evp es el intercambio por evaporación a través de la perspiración y la respiración; Cnd es el intercambio por conducción y generalmente despreciable, es positivo cuando el contacto es con cuerpos más calientes que la piel y negativo cuando el contacto es con cuerpos más fríos que la piel; Cnv es el intercambio por convección, es negativo, si el aire está más frío que la piel y positivo si el aire está más caliente; Rad es el intercambio por radiación, es negativo, cuando el cuerpo pierde calor hacia el cielo nocturno y superficie más frías y positivo, cuando recibe calor desde el sol y cuerpos más calientes.

Al haber equilibrio térmico el cuerpo humano estará en situación de confort térmico. Pero si la suma de los valores anteriores resulta por encima de cero el organismo deberá realizar ajustes vasomotores y sudoración (incremento de Evp) para aumentar la pérdida de calor hacia el exterior. Si la suma da valores negativos entonces el organismo deberá realizar otro tipo de ajustes vasomotores y musculares (escalofríos) para lograr el equilibrio.

Las edificaciones tienen un papel importante en la regulación de las condiciones que inciden en el bienestar térmico, actuando como filtro entre el exterior y el interior, incidiendo en las ganancias y pérdidas por convección, conducción y por radiación. Para procesar la información manejada por el sistema se ha utilizado el concepto de equilibrio térmico de la edificación. Este es un modelo estático o de régimen permanente donde se asume una temperatura de diseño interior para determinar el flujo de calor en función de los valores horarios de temperatura exterior. Los valores obtenidos no expresan con precisión el flujo de calor al interior del espacio, pero este método tiene por ventaja que indica los valores de energía que se deben extraer o añadir al ambiente para llevar la temperatura interior hasta la de diseño propues-



ta, que generalmente es la de bienestar térmico.

Los procesos de transferencia de calor involucrados en el equilibrio térmico de la edificación son: la conducción, la convección, la radiación, la evaporación y la condensación. (ver figura 4) La edificación puede sufrir ganancias o pérdidas de calor por conducción a través de las paredes y techos, y por ventilación a través de las ventanas. Puede recibir ganancias de calor por los usuarios, por el equipo eléctrico instalado, por radiación a través de las ventanas y por condensación. Por último, puede sufrir pérdidas de calor por evaporación. El balance térmico de una edificación se puede resumir en la ecuación 2.

$$Q_u + Q_e + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_p - Q_a + Q_o = 0 \quad (2)$$

Donde Q_u es el calor desprendido por los seres humanos, Q_e es el calor generado por los equipos eléctricos en la vivienda, Q_s es el calor que penetra por radiación a través de las ventanas, Q_c es el calor que se transfiere por conducción a través de los muros del edificio, Q_v es el intercambio de calor por ventilación, Q_p es el calor generado o tomado por equipo mecánico a instalar, Q_a es el enfriamiento evaporativo, Q_o es la ganancia por condensación.

3.1 Calor desprendido por humanos

Casi toda la comida ingerida se convierte por procesos naturales en calor corporal y energía mecánica. Esta energía nos permite levantar objetos, movernos y realizar otras actividades, pero al final también se transforma en calor, a excepción de una pequeña parte que se convierte en grasa y es almacenada por el individuo. ASICLIMA determina la cantidad de calor generada por los usuarios de un espacio utilizando tablas que resumen la cantidad de calor generado según su nivel de actividad, sexo y edad. La ecuación 3 se utiliza para el cálculo de la generación de calor por los usuarios.

$$Q_u = (N_{u1} * C_{t1}) + (N_{u2} * C_{t2}) + (N_{u3} * C_{t3}) + (N_{un} * C_{tn}) \quad (3)$$

Donde N_u es el número de usuarios con características similares, en el ambiente y C_t es el calor generado dependiendo de la actividad, edad y sexo. Los valores correspondientes a grupos con características similares se suman y el programa proporciona la cantidad de calor generado por los usuarios en el espacio analizado.

3.2 Calor desprendido por artefactos eléctricos

Cuando un motor eléctrico está funcionando, la energía eléctrica se convierte en energía mecánica, la cual se convierte posteriormente en energía calórica. La primera ley de la termodinámica explica que la energía no se puede crear o destruir, por lo que se puede deducir la cantidad de calor generado por equipo eléctrico, sumando la potencia de los motores eléctricos utilizados y considerando un valor de eficiencia del equipo eléctrico.

En el caso de la iluminación, la energía eléctrica se convierte en energía calórica y lumínica. La iluminación fluorescente produce una mayor proporción de energía lumínica (22%) que la de tungsteno (7%). Para calcular la energía calórica producida por el equipo eléctrico, se utilizan índices de generación de calor por unidad de área, dependiendo del uso de la edificación.

$$Q_e = A_s * V_m \quad (4)$$

Donde A_s es el área del espacio a analizar y V_m es la cantidad de calor generada por el equipo eléctrico en cada metro cuadrado de construcción.

3.3 Flujo de calor por radiación

Es la energía calórica que penetra por ondas electromagnéticas a través de una ventana. Depende de la orientación de la fachada, la hora del día, la claridad del aire, el cristal de las ventanas y la latitud geográfica de la edificación. En climas cálidos se debe evitar esta ganancia, ya que elevaría demasiado la temperatura interna. Se aplica la ecuación 5 y el cálculo se hace simultáneamente

para el área de ventanas en sombra y el área de ventanas en sol.

$$Q_s = (A_v * I_t * \cos\theta * F) \quad (5)$$

Donde A_v es el área de la ventana; I_t es la intensidad de radiación incidente sobre el plano, incluyendo componentes difusos, directos y reflejados; θ es el ángulo de incidencia del rayo de sol con respecto a la ventana; F es el factor de transmisión del cristal de la ventana.

3.4 Flujo de calor por conducción

Es la transmisión directa de calor a través de un material por transferencia de energía molecular. Ocurre a través de los elementos exteriores de la envolvente (paredes y techo) y puede ser positiva o negativa dependiendo de los valores de temperatura exterior e interior.

$$Q_c + U * A * \Delta t \quad (6)$$

La conducción se determina aplicando la ley de Fourier la cual especifica que el flujo de calor Q_c , viene determinado por la transmitancia térmica del elemento U , el área del elemento perpendicular al flujo de calor A y las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior al componente Δt . Por supuesto, la radiación afecta la temperatura superficial del elemento y por lo tanto al flujo de calor a través del mismo.

3.5 Potencia del equipo necesario

Despejando la ecuación 2 en función de Q_p es posible determinar la potencia del equipo mecánico necesario para lograr la temperatura de diseño con las condiciones de radiación y temperatura exteriores. Si el valor de Q_p es positivo, se debe instalar un sistema de enfriamiento para extraer energía del espacio e igualar la ecuación a cero. Si es negativo, debe ser un sistema de calefacción para añadir energía al espacio.

3.6 El equilibrio térmico de la edificación en ASICLIMA

En esta primera versión de ASICLIMA no se calculan los intercambios de calor por ventilación entre el interior y el exterior de la edificación Q_v por no disponer de datos horarios confiables de ventilación. Tampoco se calculan las pérdidas por evaporación Q_a y ganancias por condensación Q_o ya que éstas son despreciables.

Al eliminar estos tres componentes Q_v , Q_a , Q_o de la ecuación 2, ASICLIMA calcula las ganancias o pérdidas de energía calórica en el interior del espacio debido a la radiación solar y a las ganancias internas, quedando en la forma de la ecuación 7.

$$Q_u + Q_e + Q_s \pm Q_c = Q_p \quad (7)$$

Donde el valor p indica la cantidad de energía a añadir o extraer de un espacio para llegar a la temperatura de diseño propuesta. Mientras más cercano a cero sea Q_p , mejor será el comportamiento térmico de la propuesta en ese momento. Por lo tanto el arquitecto dispondrá de una valoración cuantitativa del comportamiento térmico de la edificación permitiéndole evaluarla con mayor objetividad.

Por lo tanto, ASICLIMA funciona como una herramienta analítica de la propuesta, evaluando su capacidad reguladora de la radiación solar y de las diferencias de temperatura entre el exterior y el interior.

4. DISEÑO DE ASICLIMA

4.2 Componentes del sistema computacional

Se ha construido un sistema aplicable en cualquier momento del proceso de diseño. Sin embargo, es recomendable utilizarlo en etapas iniciales para ahorrar tiempo, esfuerzo y dinero en etapas más avanzadas.

El sistema se maneja con un sistema de menús y ventanas para facilitar su uso, es rápido en los cálculos permitiendo múltiples análisis en poco tiempo y utiliza gráficos para facilitar la comprensión de la información.

Se selecciona como ambiente de trabajo al sistema operativo "Disk Operating System" (DOS), por ser el de mayor utilización en nuestro medio, permitiendo que un mayor número de usuarios tengan acceso al programa. El equipo mínimo requerido para utilizar el programa consiste en una microcomputadora con procesador Intel 80286 y monitor VGA. Mientras más poderoso sea el sistema más rápidamente se ejecutarán las operaciones.

Para construir la herramienta se utilizó el programa DBASE como manejador de bases de datos de temperatura, radiación, presión de vapor, materiales, etc y el CLIPPER como lenguaje de programación para operaciones de cálculo, manejo de tablas y pantallas.

ASICLIMA consta de un módulo de cálculo y un módulo de gráficos, llamados ASICLIMA.EXE y GRAF.EXE, cada uno de los cuales es un programa ejecutable independiente. Además de estos archivos ejecutables existen otros archivos con las terminaciones .OVL para manejo de memoria RAM y .DBF para almacenaje de datos procesados y tablas de datos.

4.1 Módulo de cálculo

El módulo de cálculo está compuesto por varios procedimientos que corresponden con los factores que intervienen en el proceso de intercambio térmico de un edificio, tales como calor generado por equipo eléctrico y flujo de calor por conducción. Además, se incluyen

algunos como el cálculo de la trayectoria solar, radiación y áreas de sombra de los elementos de fachada, necesarios para determinar la temperatura superficial de las fachadas y techos. En cada procedimiento el diseñador suministra información sobre el proyecto, el programa procesa esta información tomando valores de tablas en caso de ser necesario, y genera resultados. El módulo gráfico, GRAF.exe presenta los datos en una forma más fácil de comprender.

En ASICLIMA se utilizan 37 ecuaciones y 14 tablas de datos. Se aplican ecuaciones para el cálculo de la declinación solar, la altitud solar, el azimut solar, el ángulo de sombra vertical y horizontal, el ángulo de incidencia, la radiación solar difusa, directa, reflejada y global y la transferencia de calor. Existen tablas con valores de conductibilidad de materiales, calor generado por personas, intensidad de radiación horaria, presión de vapor y temperatura de bulbo seco. Es posible editar y añadir nuevos datos a las tablas en cualquier momento, permitiendo su actualización y proporcionándole más flexibilidad al sistema.

4.2 Módulo gráfico

Es el módulo ejecutable que permite graficar la información generada por el módulo de cálculo. La primera opción de este módulo permite visualizar la situación de bienestar térmico externa en una escala del uno al siete. El valor 1 es la sensación de frío más desagradable, 7 es la sensación de calor más desagradable y 4 representa el punto de bienestar térmico. Estos valores de bienestar se obtienen a partir de la temperatura de bulbo seco (t) y la presión de vapor exterior (p) combinados en la ecuación 8.

$$Y = 0.243 * t + 0.037 * p - 2.803 \quad (8)$$

En este módulo es posible graficar los valores de radiación global incidentes en un plano cualquiera en los meses seleccionados calculados en el módulo ejecutable. También es posible graficar los valores máximos y promedios horarios de radiación mensual para cada elemento, los flujos de calor globales y a través de las fachadas y techos de la edificación en forma horaria, la ganancia máxima media mensual, la promedio mensual y la acumulada para un día tipo de cada mes, para determinar los meses más desfavorables. Se puede obtener una gráfica que relaciona valores de radiación, ganancia de calor, altitud solar y ángulo de incidencia. La opción BTU permite graficar los consumos de energía en unidades británicas térmicas (BTUs) y otra opción permite graficar valores en unidades de BTU/Área y determinar eficiencias energéticas.

5. APLICACION Y EVALUACION DE ASICLIMA DURANTE EL PROCESO DE DISEÑO ARQUITECTONICO

5.1. Aplicación de la herramienta

Se han estudiado las posibilidades de aplicación de ASICLIMA como asistente en el proceso de diseño arquitectónico, a través de una materia electiva titulada "Taller de Diseño Bioclimático y Computación", dictada en 1994, a estudiantes de séptimo, octavo y noveno semestre de la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Zulia. Cada estudiante utilizó a ASICLIMA en su proyecto de diseño arquitectónico descubriendo múltiples formas de utilizar el programa. A continuación se describen algunas de estas:

En la evaluación del comportamiento térmico de techos, paredes y ventanas utilizando materiales con diferentes valores de transmitancia, absorptividad, resistencia superficial, etc. Los análisis deben realizarse con una misma orientación e inclinación para comparar los resultados obtenidos bajo igualdad de condiciones.

En el análisis de flujos de calor a través de fachadas completas. Incidirán las orientaciones (acimut) e inclinaciones de la fachada, las proporciones entre áreas opacas y transparentes (muros y vidrios), los colores exteriores de las fachadas, las dimensiones de los aleros, etc. Abarca un conjunto de aspectos más amplio y que inciden con mayor fuerza en la formalización de la edificación que en el primer caso.

En el análisis de orientaciones de fachadas, inclinaciones de techos y relaciones volumétricas de edificios (ancho, largo alto). Por ejemplo, es posible evaluar una alternativa de fachada con diferentes orientaciones e inclinaciones, para determinar cual es la relación aislamiento-costos más eficiente en función de la radiación recibida.

Para evaluar el comportamiento térmico de la propuesta arquitectónica completa o un sector representativo de ella.

5.2 Evaluación de la Herramienta

El sistema se puede evaluar en base a tres criterios (18):

1. Sencillez en el manejo de la herramienta.
2. Facilidad de comprensión y utilidad de los resultados.
3. Validez de los resultados.

No era necesario tener conocimientos de computación para tomar el curso de diseño bioclimático, de hecho, cerca del 40% de los estudiantes jamás habían utilizado anteriormente un computador. De 34 estudiantes que han cursado la materia, 33 aprendieron a utilizar la herramienta rápidamente, y solamente uno, el cual es repitente crónico, no aprendió a utilizar el programa correctamente. Es una efectividad del 97% por lo tanto, la herramienta es fácil de aprender, cumpliendo con el primer criterio.

Al utilizar la herramienta en la resolución de sus

problemas específicos de diseño y descubrir diferentes opciones de aplicación, tal y como se explican en el punto 5.1 los estudiantes están demostrando la versatilidad, facilidad de comprensión y utilidad de la herramienta cumpliendo así con el segundo criterio.

Posteriormente, se aumentará la muestra de usuarios de la herramienta y se realizará un análisis estadístico más detallado para determinar con mayor precisión la efectividad de la herramienta como asistente en el proceso de diseño arquitectónico.

5.3 Evaluación de un edificio de usos múltiples

A continuación se presenta un edificio donde se aplica ASICLIMA. Es un edificio de usos múltiples, con un área de 200 metros cuadrados. Se presentan dos alternativas para su diseño, ambas construidos de forma tradicional y con materiales de construcción comunes en nuestro medio. Las diferencias radican en la ubicación de las ventanas, el color de las paredes y techo, y la orientación del edificio, todas características fácilmente modificables por el arquitecto y donde su poder de decisión es mayor al del constructor o ingeniero.

Ambas alternativas tienen 200 metros cuadrados de superficie interna. Están ubicados en la Ciudad de Maracaibo, a una latitud de 10.5 grados norte y 71 grados longitud oeste. El meridiano de referencia es 60. El día de análisis seleccionado es el 15 de cada mes. Se asume un valor de 50% de radiación difusa y 50% de radiación directa. La temperatura de diseño interior es fija en 25 Grados centígrados (fija). El edificio está diseñado para sesenta usuarios distribuidos de la siguiente forma: 15 mujeres de 25 años (120 vatios c/u), 15 hombres de 25 años (155 vatios c/u), 15 mujeres de 15 años (95 vatios c/u), 15 hombres de 15 años (90 vatios c/u).

Los materiales de la envolvente en ambas alternativas son iguales. El usuario hace las selecciones de materiales y espesores y el programa asigna la información de conductividades para el cálculo.

Los muros tienen una transmitancia térmica (U) de 0.486 W/m² °C. Compuestos por bloque de concreto con tres huecos (15cms de espesor) de resistencia 1.81m² C/W., friso de cemento con espesor de 2 cm. y conductividad de 0.721 W/M°C, coeficiente de resistencia superficial exterior: 0.074 m² °C/W y coeficiente de resistencia superficial interior: 0.12 m² °C/W.

El techo presenta una transmitancia térmica (U) de 2.661 W/m² °C. Compuesto por losa de concreto macizo con arena y piedra, espesor de 20 cm. y conductividad de 1.70 W/m °C, friso de cemento con espesor de 2 cm. y conductividad de 0.721 W/m °C, asfalto con espesor de 1 cm. y conductividad de 0.592 W/m °C, coeficiente de resistencia superficial exterior: 0.03 m² °C/W y coeficiente de resistencia superficial interior: 0.148 m² °C/W.

Alternativa 1

En cuanto a los revestimientos, el techo está asfaltado y de color negro con absorptividad igual a 0.93. Las paredes exteriores están recubiertas de pintura verde claro y con un valor de absorptividad igual a 0.50.

En cuanto a la orientación el eje más largo está en sentido norte y sur, con áreas de pared este 80 m², oeste 80 m², norte 40 m², sur 40 m². El techo tiene una superficie de 200 m² conectados directamente con el espacio interno más 31m² en área de voladío.

Los aleros se proyectan 50 cm. sobre todas las fachadas y a una altura de 4 metros sobre el nivel del piso.

Las ventanas tienen cristal transparente de espesor 3 mm. y coeficiente de transmisión 0.95.

El entorno consta de grama hacia el norte y sur con una reflectividad de 22% y estacionamientos hacia el este y el oeste también con un índice de 22% de reflectividad. Estos valores son similares, para efectos de cálculo de la radiación reflejada, pero los valores de emisividad son diferentes determinando variaciones en la incidencia térmica de ambos materiales.

Alternativa 2

En la segunda alternativa se realizaron las siguientes modificaciones:

En cuanto a los revestimientos exteriores, el asfaltado del techo se recubrió con pintura de aluminio y absorptividad 0,35. Las paredes exteriores de color blanco con absorptividad de 0,20.

La orientación se modificó proponiendo ahora el eje más largo en sentido este-oeste, con fachadas más cortas hacia el este y oeste. Áreas de Pared: Este 40m², Oeste 40 m², Norte 80 m², Sur 80m². Techo 200 m² (conectados con espacio interno). Total de área cubierta igual a 299 m² incluyendo aleros. Los aleros se hacen más grandes proyectándose ahora a 150 cms sobre la fachada y manteniéndose a una altura de 4 metros sobre el nivel del piso.

A las ventanas se le cambian los cristales por unos oscuros de espesor 5 mms. Factor de transmisión: 0.65. También se cambian las dimensiones y ubicación de las ventanas. El entorno sigue siendo de grama y asfalto. Ahora grama hacia el este, sur y oeste con reflectividad de 22%. Estacionamientos hacia el Norte con reflectividad de 22%.

A continuación se presentan gráficos generados por el módulo GRAF.EXE de ASICLIMA, al analizar las dos alternativas ejemplo anteriores.

En la figura 7 se presenta un análisis de las condiciones climáticas de Maracaibo, utilizando la ecuación 8 y tomando los valores de presión de vapor y temperatura de bulbo seco almacenados en las tablas de datos horarias, para generar un indicador de las condiciones de bienestar horarias mensuales. Estas tablas se pueden modificar para determinar condiciones de bienestar en

FIGURA 5
EDIFICIO DE USOS MÚLTIPLES. ALTERNATIVA 1

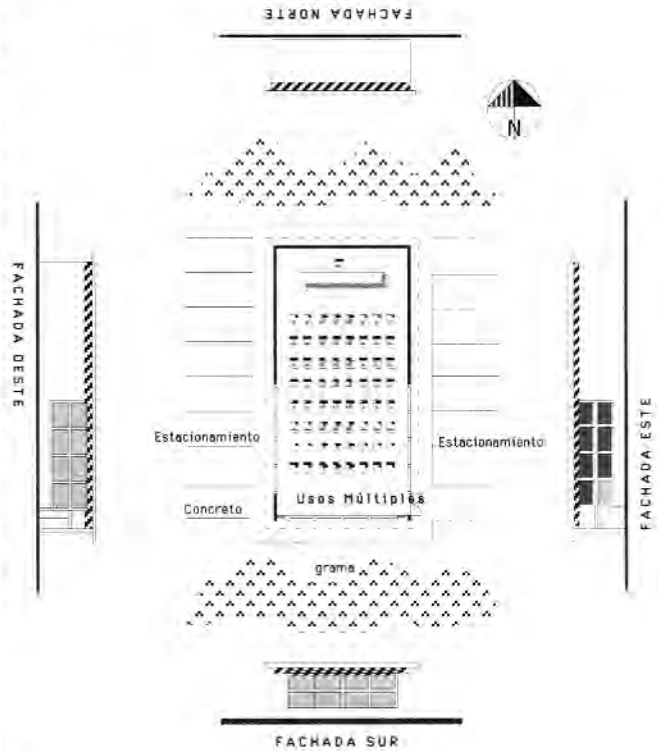


FIGURA 6
EDIFICIO DE USOS MÚLTIPLES. ALTERNATIVA 2

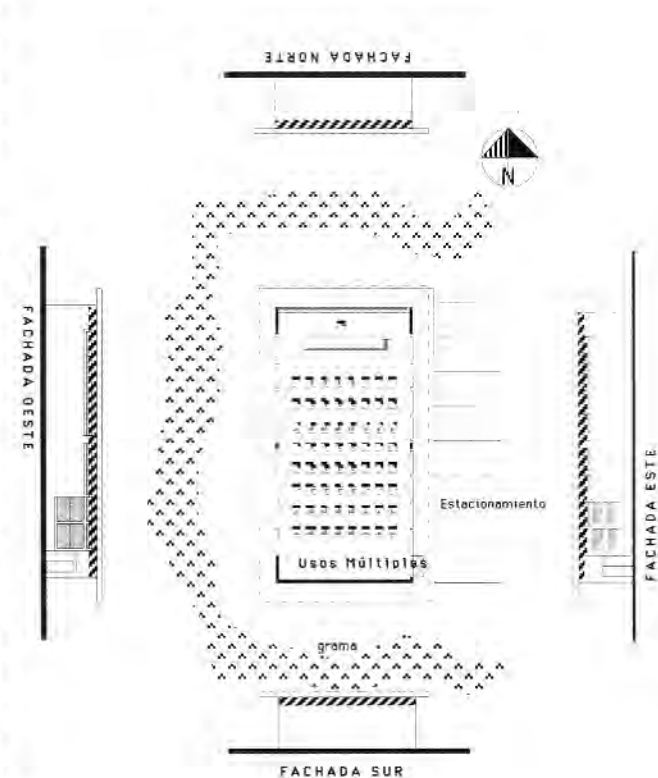


TABLA 1
AREAS DE VENTANAS EN EDIFICIO DE USOS MÚLTIPLES.
CASO 1.

	Area	Elevación	Altura	Base
Sur	24 m ²	0.8 mts	3 mts	8 mts
Este	24 m ²	0.8 mts	3 mts	8 mts
Oeste	24 m ²	0.8 mts	3 mts	8 mts
Norte	0 m ²			

TABLA 2
AREAS DE VENTANAS EN EDIFICIO DE USOS MÚLTIPLES.
CASO 2.

	Area	Elevación	Altura	Base
Norte	18 m ²	3.3 mts	0.5 mts	16 mts
Sur	18 m ²	3.3 mts	0.5 mts	16 mts
Este	0 m ²	3.3 mts	0.5 mts	16 mts
Oeste	0 m ²			

FIGURA 7
SITUACIÓN DE BIENESTAR TÉRMICO EN MARACAIBO

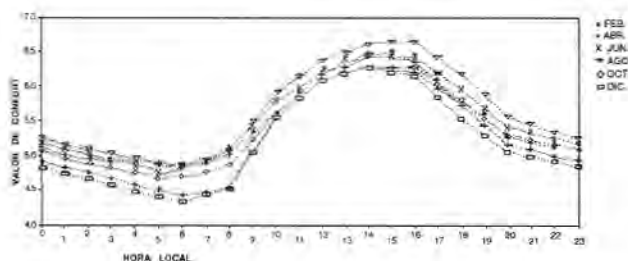


FIGURA 8
RADIACIÓN GLOBAL DIARIA INCIDENTE EN EL PLANO ESTE.
FEBRERO, ABRIL, JUNIO, AGOSTO, OCTUBRE, DICIEMBRE.

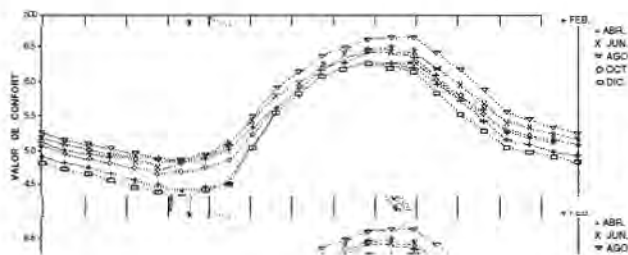
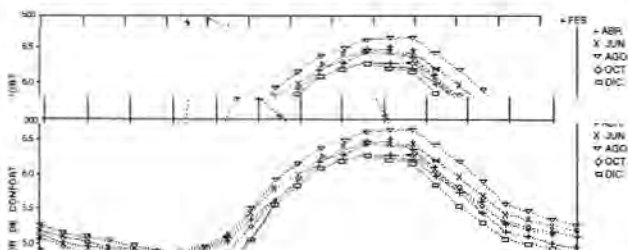


FIGURA 9
RADIACIÓN GLOBAL DIARIA INCIDENTE EN TODAS LAS FACHADAS. MES DE JUNIO.



otras ciudades. El valor de bienestar se presenta numérica y gráficamente permitiendo una rápida comprensión de la situación climática externa existente.

En la figura 8 se comparan las variaciones en la radiación incidente sobre una fachada. Este análisis se puede realizar para cualquier mes y fachada. Se presenta la fachada este y se observa que la variación intermensual en la radiación global incidente es pequeña.

En la figura 9 se comparan los valores de radiación incidente en las fachadas norte, este, oeste, sur y en la cubierta para el mes de Junio. Se percibe que la radiación incide con más fuerza en el techo, por lo que este es el elemento que se debe proteger con mayor cuidado. Este análisis se puede realizar para cualquier mes y cantidad de fachadas.

La figura 10 presenta la ganancia térmica a través de las fachadas de la primera alternativa en el mes de Junio. La ganancia por el techo es bastante superior a la de las paredes, especialmente debido a la elevada absorptividad del asfalto negro, que eleva su temperatura superficial y los elevados valores de radiación incidente comparados con las paredes.

Los valores globales se obtienen sumando los flujos de cada fachada. Debido a que en este caso la mayor parte de las ganancias ocurren por el techo, este es el elemento que influye con más fuerza en el comportamiento global de la edificación. Por lo tanto la figura 11 adopta una forma muy similar a la curva de ganancia generada por el techo en la figura 10. Los flujos de calor disminuyen en horas nocturnas, llegando a un mínimo cerca de las 6 horas y al amanecer los valores ascienden rápidamente llegando a un máximo a las 13 horas. Esta figura permite analizar el comportamiento global del espacio mientras que la figura 10 permite analizar el comportamiento individual de cada fachada.

La figura 12 muestra la segunda alternativa del edificio. En este caso la ganancia de energía a través del techo y las paredes se ha reducido entre un 45% y un 80%, debido a las medidas de diseño tomadas. Por lo tanto la ganancia térmica global también disminuye considerablemente.

En este ejemplo vemos que es posible disminuir considerablemente la ganancia de energía térmica hacia el interior de una edificación con unas sencillas y económicas medidas de diseño. Solamente se cambiaron colores exteriores en fachadas y techos, se modificó la ubicación de las ventanas, se incrementó el tamaño de los aleros y la se modificó la orientación del edificio. Con estas medidas se logró una disminución de un 50% en algunas horas del día, desde 47 kw hasta 24 kw. Asumiendo a 4 Bs/kw esto es un ahorro cercano a los 900 Bs/día, o Bs. 27.000 al mes por un diseño adaptado contra un desadaptado.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un prototipo ejecutable de un sistema de computación, ASICLIMA, que asiste al arquitecto en el diseño bioclimático de edificios. Se ha comprobado que este programa permite calcular los valores de bienestar térmico externos, la incidencia de la radiación solar y los flujos de calor a través de paredes y ventanas. El programa funciona, sin problemas, en cualquier computador personal bajo el sistema operativo DOS, con un mínimo de necesidades de memoria RAM (640 Kb) y capacidad de disco duro (2 Mb libres). Además, se comporta como un sistema abierto y flexible, donde las estructuras de las tablas de datos se pueden editar y actualizar en cualquier momento.

Mediante la utilización del programa y el análisis de los casos de estudio se ha demostrado que ASICLIMA es fácil de utilizar y tiene la suficiente rapidez y flexibilidad para interactuar con el arquitecto a lo largo del proceso de diseño, generando resultados numéricos y gráficos que ayudarán al arquitecto a evaluar sus propuestas y a producir un mejor proyecto; por lo tanto edificaciones adaptadas al clima tropical, con un menor consumo energético y mayor economía a largo plazo.

ASICLIMA es un prototipo que se está utilizando a nivel de docencia de pregrado y en algunas oficinas de arquitectura. Las experiencias producto de esta práctica permitirán a evaluar el prototipo y desarrollar nuevas versiones, incorporando mejoras en su operatividad y en la precisión de los cálculos, para convertirla en un instrumento cada vez más poderoso, útil y preciso.

Agradecimientos

A FUNDACITE Zulia y la Facultad de Arquitectura de LUZ a través del proyecto de reubicación de "El Hornito" por su financiamiento, a Angel García por su participación en la programación del sistema, a los estudiantes de la materia Taller de Diseño Bioclimático y Computación, que con su entusiasmo ayudaron a descubrir nuevas formas de utilizar la herramienta, a Edgardo Ibañez por el tiempo dedicado a revisar el manuscrito y a Cledys Navarrete por su ayuda en la elaboración de algunos gráficos.

FIGURA 10
GANANCIA TÉRMICA DE TODOS LOS ELEMENTOS.
MES DE JUNIO. CASO 1

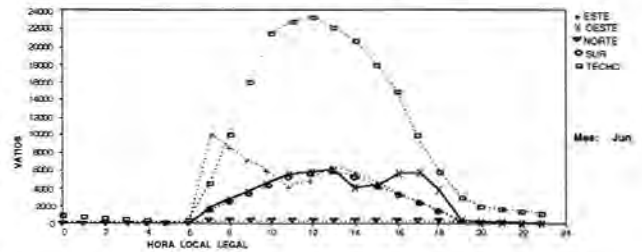


FIGURA 11
GANANCIA TÉRMICA GLOBAL
MES DE JUNIO. CASO 1

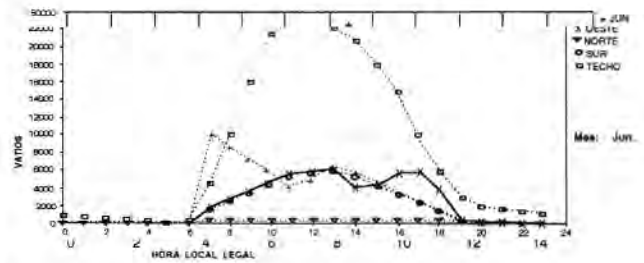
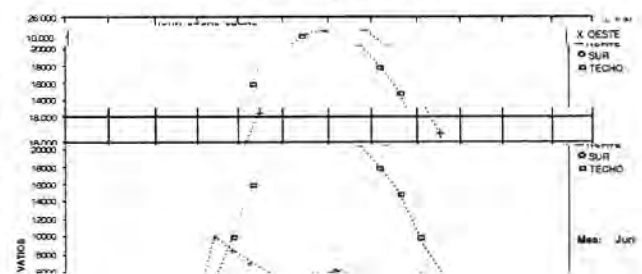


FIGURA 12
GANANCIA TÉRMICA DE TODOS LOS ELEMENTOS.
MES DE JUNIO. CASO 2



FIGURA 13
GANANCIA TÉRMICA GLOBAL
MES DE JUNIO. CASO 2



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. V. OLGYAY, *Design with climate, a bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963.
2. B. GIVONI, *Man Climate and Architecture*, 2nd edn. Applied Science Publishers, London, 1976.
3. B. GIVONI. *Comfort, climate analysis and building design guidelines*, Energy and Buildings. 18, N° 1, pp11-23, 1992.
4. O.H. KOENINGSBERGER, T.G. INGERSOLL, A. MAYHEW, S.V. SZOKOLAY, *Manual of tropical housing and building*, Longman, London, 1973.
5. H.B. DE WAAL, *New recommendation for building in tropical climates*, Building and Environment, Vol 28, N° 3, 271-285, 1993.
6. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. A.S.H.R.A.E. *Handbook of Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE, 1981, 1985.
7. J.J. ROUX, P. DEPECKER, G. KRAUSS, *Pertinence and performance of a thermal model adapted to a CAD context*, Proceedings of the Sixth International PLEA Conference, Port, Portugal. pp. 749-754, 1988.
8. B. JOG, M. ZEMANKOVA, *Energy expert: an expert system for architects*. Computers, Environments and Urban Systems, 13, pp. 29-38, 1989.
9. R. SERRA, X. SOLSONA, H. COCH, *Programa de diseño bioclimático*, Proceedings of Conferencia. Energía Ambiente e Innovación Tecnológica, Caracas, pp. 1525-1530, 1989.
10. N. ALMAO, J. RINCON, *An alternative of energy efficient home design for Venezuela*. Journal of Solar Engineering. 1, 279-284, 1992.
- 11 M. E. HOBAICA 89. *Diseño Térmico de las Edificaciones en Clima Tropical Húmedo*, Proceedings, Conferencia Energía Ambiente e Innovación Tecnológica. Caracas, Venezuela. 22 al 26 de Octubre de 1989.
- 12 P. ROWE, *Design Thinking*, Cambridge Massachussets, MIT press, 1987.
- 13 ICADS. *Intelligent CAD: ICADS Project*, CALPOLY, Design Methods and Theories, 1988.
- 14 G. SCHMITT. *Microcomputer Aided Design for Architects and Designers*. Wiley Interscience Publication. New York, 1.988. U.S.A.
- 15 H. RITTEL. *Some Principles for the Design of an Educational System for Design*. Design Methods and Theories . 20 N° 1 pp. 359-375. (1986)
- 16 P. LA ROCHE, B. SUAREZ. *El Proceso de Diseño Asistido por Computadora*, Trabajo de Investigación. División de postgrado, Facultad de Arquitectura. LUZ, Maracaibo, 1992.
- 17 M. LINDHULT, *Computers in Architecture*, Landscape Architecture. Agosto 1.988. P. 43.
- 18 A. YEZIORO, E. SHAVIV. *Shading: a design tool for analyzing mutual shading between buildings*. Solar energy. Vol 52. N1. 1994.