

Los quiebrasoles como recurso arquitectónico de aislamiento térmico pasivo en la ciudad de Guayaquil

Sunbreakers as an architectural resource of passive heat insulation in the city of Guayaquil

Arq. Gabriel Murillo Rountree, MAE, MTE.

Facultad de Arquitectura y Diseño
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador
gabriel.murillo@cu.ucsg.edu.ec

Resumen

El propósito fundamental del esfuerzo investigativo tiene dos vertientes: una, la elaboración de un patrón de estudio en el campo de la arquitectura bioclimática que procure definir la integración de las variables de clima, diseño arquitectónico y construcción, en el campo específico del empleo de quiebrasoles como recurso moderador de la captación solar en los edificios, tomando como referencia a una muestra de edificios de Guayaquil; y, la otra, la propuesta, previo análisis de las variables, de alternativas adecuadas para el diseño y la construcción de quiebrasoles en la ciudad de Guayaquil.

Se han definido como soportes teóricos uno referencial con la descripción de dos experiencias profesionales relativas al tema de protecciones solares en edificios; y otro, de nociones científicas y proyectuales pertinentes a la materia tratada. El primero con la adopción de dos estudios realizados por profesionales de excelente trayectoria y por tratarse de estudios muy descriptivos de edificios institucionales con conclusiones racionales y de fácil aplicación técnica; y el soporte conceptual y científico conteniendo las teorías sobre: la temática del clima, la metodología para determinar los ángulos solares y sus herramientas, los parámetros para el acondicionamiento térmico de un edificio, las protecciones solares y el balance térmico de una edificación.

La metodología empleada se basa en el estudio de una muestra de edificios de Guayaquil en los que se analizó la conveniencia del uso de quiebrasoles como protectores pasivos de soleamiento en las fachadas. El procedimiento incluyó tareas de recogida, análisis e interpretación de datos a través de la representación textual y gráfica. La información recabada fue valorada obteniéndose conclusiones y recomendaciones, además de precisarse la aplicación de los resultados y las extensiones de la investigación.

Palabras clave: Estrategias de control solar. Protectores solares. Análisis de soleamiento. Ganancias térmicas. Confort térmico.

Summary

The essential purpose of this research effort has two aspects: first, the development of a pattern of study in the field of bioclimatic architecture that seeks to define the integration of climate variables, architectural design and construction, in the specific field of sunbreakers as a moderate resource of solar energy collection in buildings, taking as reference a sample of buildings in Guayaquil; second, the proposal of adequate alternatives in the design and construction of sunbreakers in the city of Guayaquil, after analysis of the variables.

Two professional experiences regarding solar protection of buildings, and scientific design notions on the subject matter have been defined as technical supports. The former was adopted in view of two studies conducted by professionals with excellent background, and due to very descriptive studies of institutional buildings with rational conclusions and doable technical application; and the conceptual and scientific support containing theories about: climate issues, the methodology for determining solar angles and tools, the parameters for thermal conditioning of a building, solar protection, and thermal balance of a building.

The methodology used is based on the study of a sample of buildings in Guayaquil where the benefits of the use of sunbreakers as passive sunlight protectors in the front of the buildings were analyzed. The procedure included data gathering, analysis and interpretation through textual and graphic representation. The information was valued so as to reach conclusions and posit recommendations besides clarifying the application of results and further research work.

Keywords: Solar control strategies. Solar protection. Sunlight analysis. Heat gains. Thermal comfort.

Introducción

La radiación alta incide en conductividades notables a través de los elementos constructivos de los edificios, determinando pronunciadas ganancias térmicas por las superficies opacas, capaces de lograr pérdidas térmicas según su naturaleza, y por las acristaladas, más críticas por su característica de impermeabilidad térmica al retorno del calor ganado.

Las ganancias térmicas tenidas en los edificios por conducción, constituyen los factores positivos más notables en el planteamiento de la ecuación del balance térmico de las edificaciones. Este aporte se traduce en condiciones agresivas para la comodidad de las personas, indiferente de la actividad que desarrollen y vestimenta que usen y más bien, creciente a medida que el accionar se intensifica y el arropamiento se incrementa.

Por las condiciones geográficas de Guayaquil y su posición casi equinoccial, las estrategias centradas en la protección del soleamiento directo, de los vanos acristalados de los edificios, pueden estimársela como las más apropiadas para mitigar las ganancias térmicas a través de los vanos, con evidentes mejoras en las condiciones de confort humano.

Nuestra arquitectura debe fundamentalmente buscar el sombreado ventilado para bajar la temperatura y reducir la humedad. Así la sombra se convierte en el principal recurso de energía pasiva pues ayuda al bienestar. Las protecciones de los vanos, de la radiación solar excesiva, pueden ser logradas implementando en el proyecto arquitectónico dispositivos pasivos de control solar, dispuestos de manera exterior o interior en el vano. Los exteriores tales como los quebrasoles, en arquitectura se refieren a una gran variedad de técnicas de protecciones permanentes. Entiéndase entonces al quebrasol como un elemento de protección solar del edificio, debiendo ser, en consecuencia, un objeto arquitectónico que condiciona la apariencia del edificio. Su empleo con propósitos estéticos o condicionados y no integrado en las variables compositivas del edificio puede producir errores técnicos que restan eficiencia al dispositivo.

El diseño correcto de quebrasoles debe basarse, fundamentalmente, en su posición correcta que determina su geometría, las características de conductividad y reflectancia de los materiales con

que es construido y su capacidad de disipar en el entorno la radiación absorbida.

Particularmente, en la cátedra de Confort Ambiental de la FAUC, hemos realizado, como tareas de tutoría con los estudiantes, prácticas de estudio sobre el empleo de quebrasoles en las fachadas de edificios de Guayaquil. El estudio, con las limitaciones del caso, en las que se analiza las características físicas del edificio que de no poseer quebrasoles se requiere su propuesta y en el caso de sí poseerlos se demanda el análisis de su funcionamiento y de ser necesaria la propuesta de su rectificación o complementación. El trabajo se efectúa aplicando ángulos de incidencia solar y representándolo con gráficos en 2D y 3D.

Contribución potencial del estudio

El esfuerzo investigativo va dirigido a la obtención de dos beneficios:

- La elaboración de un patrón de estudio en el campo de la arquitectura bioclimática que procure definir la integración de las variables de clima, diseño arquitectónico y construcción, en el campo específico del empleo de quebrasoles como recurso moderador de la captación solar en los edificios, tomando como referencia a una muestra de edificios de Guayaquil. Este aporte constituye un necesario recurso académico para la enseñanza de las asignaturas de Diseño relacionadas con la arquitectura bioclimática, además de una herramienta apropiada para la práctica profesional de los arquitectos.
- La propuesta, previo análisis de las variables, de alternativas adecuadas para el diseño y la construcción de quebrasoles en la ciudad de Guayaquil. Este aporte contribuye a la revisión justificada de los paradigmas y prácticas de diseño medioambiental frecuentes entre estudiantes de arquitectura y profesionales arquitectos.

Pronóstico o previsión de lo que puede suceder si el problema no es solucionado

- Las características ambientales de Guayaquil exigen un tratamiento arquitectónico de sus edificios apropiado para contrastar los excesos térmicos del soleamiento sin mermar los beneficios de la abundante iluminación natural. En consecuencia la protección de las fachadas de los edificios debe, prácticamente en cualquier

orientación, poseer dispositivos para lograr ambos propósitos. Las alternativas para hacerlo varían entre numerosas soluciones, una de ellas, la quizás menos empleada aunque la de mayor posibilidades de éxito, es el empleo de quebrasoles.

- La ausencia de protecciones solares no es un problema que “quita el sueño” a la mayoría de los arquitectos, dispuestos, usualmente, a satisfacer las exigencias formales, de moda y de costo que de habitabilidad. Ésta es una anomalía que se ha desarrollado, entre las últimas generaciones profesionales, desde las aulas universitarias por la falta de formación enfocada en lo ambiental.
- Por lo expuesto, atender con estudios que propongan revisiones a las prácticas de diseño y de edificación, resulta un compromiso que justifica la presente Investigación. No hacerlo, contribuye a la continuación del ejercicio de una arquitectura de espaldas a la realidad climática, con efectos negativos para la salud fisiológica y psicológica de las personas.

Limitantes del estudio

Las principales limitantes del estudio radican en su aplicabilidad, pues, aunque científica y funcionalmente está demostrada la conveniencia del uso de quebrasoles, sin embargo, se dan obstáculos que restringen su práctica más amplia, tales como:

- La falta de integración, a nivel académico en la enseñanza de la arquitectura, de los programas de taller con los relacionados con las asignaturas ambientales y de tecnología de la construcción.
- El uso arquitectónico de las técnicas de protección solar es asumido como una acción complementaria, muchas veces de orden estético, no explotando, en consecuencia, su real potencial en la obtención del confort y su aporte compositivo.
- Existen en el mercado comercial propuestas de técnicas y materiales de protección solar tipo quebrasoles, logradas, generalmente, con materiales importados de alto costo. Esto contribuye, junto al desconocimiento de alternativas de similares ventajas y menor presupuesto, a evitar el empleo más amplio de protecciones solares en los edificios.

- La existencia de una presión cultural de promotores y clientes que exigen soluciones arquitectónicas con predominio de modelos "internacionales" con fachadas ampliamente vidriadas representativas del status. Soluciones de este tipo alejan el empleo de quiebrasoles relegándolos a proyectos sin mayor presencia e influencia.

Marco teórico

El marco teórico del estudio está constituido de dos soportes, uno referencial con la descripción de dos experiencias profesionales relativas al tema de protecciones solares en edificios; y otro, de nociones científicas y proyectuales pertinentes a la materia tratada.

Como soporte referencial, de los varios existentes, adoptamos dos estudios realizados por profesionales de excelente trayectoria y por tratarse de estudios muy descriptivos de edificios institucionales con conclusiones racionales y de fácil aplicación técnica.

a. De la Ventana horizontal al brise-soleil de Le Corbusier: Análisis ambiental de la solución propuesta para el Ministerio de Educación de Río de Janeiro.

Este estudio fue realizado por el arquitecto español José Almodóvar Melendo del staff académico de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla; publicado por la Editorial Instituto de Arquitectura Tropical de San José, Costa Rica, en marzo de 2007.

Para su análisis el Arq. Almodóvar contó con la memoria original del proyecto en la que se hacen continuas referencias a las soluciones adoptadas con objeto de optimizar el comportamiento ambiental del edificio, lo que demuestra el interés que tenían los arquitectos brasileños en el asunto. Así, deciden modificar la orientación del edificio propuesta por Le Corbusier, para mejorar su comportamiento solar dándole a la fachada SSE, expuesta al sol de la mañana y con vistas a la bahía, un tratamiento de casillas vidriadas que permiten perfectas condiciones de iluminación y ventilación en las zonas de trabajo regulando la intensidad luminosa con venecianas de madera. No se emplea vidrios traslúcidos que si bien reducen el efecto invernadero, sin embargo, dada su alta absorción aumentarían el sobrecalentamiento por radiación de onda larga. La fachada opuesta hacia el NNO,

que soporta soleamiento casi todo el año, es tratada con brise-soleil, dispositivos de menores inconvenientes y mayor eficiencia económica y técnica.

b. Evaluación de las estrategias de control solar en edificaciones con diseño bioclimático- Caso de Estudio: Escuela de Ingeniería del Petróleo de la Universidad del Zulia

Este estudio fue realizado por el arquitecto venezolano Carlos Enrique Quirós Lacau, del staff académico del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño Universidad del Zulia (Maracaibo, Venezuela); publicado en la Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad de Zulia en agosto de 2005.

Por su posición geográfica la ciudad de Maracaibo está caracterizada por un clima de elevadas temperaturas y humedades relativas, así como por una duración similar entre el período diurno y nocturno durante el año. Los valores higrotérmicos de Maracaibo se ubican durante todo el año fuera de la zona de confort térmico, específicamente, por encima de la línea de sombra y dentro de la zona de confort ampliada por ventilación de la carta bioclimática de Olgyay.

A través de los resultados del análisis, se puede evidenciar que el conjunto original de la Escuela del Petróleo es una obra arquitectónica que no es indiferente frente a la radiación solar y sus efectos, ya que se presentan numerosas y acertadas soluciones frente a la incidencia de los rayos solares, para evitar el exceso de calor y el deslumbramiento en los diferentes recintos destinados a la docencia, investigación y administración.

El soporte conceptual y científico contiene las teorías sobre: la temática del clima, la metodología para determinar los ángulos solares y sus herramientas, los parámetros para el acondicionamiento térmico de un edificio, las protecciones solares y el balance térmico de una edificación.

a. La radiación solar y la temperatura del aire

Estos dos parámetros climáticos son los directamente vinculados con el estudio de las protecciones solares. Así, la radiación solar es una resultante de la combinación de los movimientos de traslación y rotación de la Tierra resulta el movimiento aparente del Sol visto desde la

superficie terrestre. Debido a dichos movimientos y a la forma esférica de nuestro planeta la insolación de la superficie terrestre no es uniforme. Las zonas irradiadas verticalmente se calientan más que aquellas que lo son en forma oblicua originando una gradiente horizontal de temperaturas que se extiende del Ecuador a los polos, produciendo las siguientes épocas del año.

Por otro lado, la temperatura del aire es quizá el factor ambiental más importante, dada su enorme influencia en la sensación de confort del ser humano. El calor adquirido por la superficie terrestre por efecto de la radiación solar, es transmitido por convección al aire; en consecuencia, a mayor radiación, mayor temperatura del aire.

La temperatura es un parámetro que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro en forma comparativa de una escala, la cual se mide mediante termómetros. Desde el punto de vista arquitectónico, la temperatura del aire resulta prioritaria en el análisis del comportamiento de los edificios, ya que junto con los resultados obtenidos de los otros parámetros podemos determinar las condiciones posibles de confort climático, además del sistema constructivo a utilizar.

La radiación y la temperatura del aire de Guayaquil son consecuencia de su posición geográfica, al hallarse situada la ciudad en la latitud 2 grados 12 minutos 0 segundos sur y longitud 79 grados 53 minutos 0 segundos oeste, a una altura media de 5 metros sobre el nivel del mar; en consecuencia, Guayaquil se ubica dentro de la franja climática conocida como de Calmas Ecuatoriales cuya principal característica es la de poseer solo dos estaciones, invierno y verano, definidas por la presencia o ausencia de lluvias.

La información climática de 25 años procesada en "Fundamentos para la climatización Natural en Guayaquil" (Murillo, Arroyo, Donoso y Torres, 2007), ha servido de base estadística para fijar las características del entorno climático de la ciudad.

b. Metodología para determinar los ángulos solares y sus herramientas.

Si bien existen métodos manuales exactos de cálculo, es a menudo mucho más simple y rápido leer las posiciones del Sol directamente de tablas o de diagramas de trayectoria solar. Tales tablas y diagramas son fácilmente disponibles para una gama de localizaciones.

Los diagramas de la trayectoria solar son una manera conveniente de representar cambios anuales en la trayectoria del Sol a través del cielo dentro de un gráfico. Su uso más inmediato es que el acimut y la altitud solares se pueden leer directamente en cualquier día del año y en cualquier hora del día. También proporcionan un resumen único de la posición solar a la que el diseñador puede referirse para considerar los requisitos de sombreado y opciones de diseño.

Conocer la posición del Sol en un momento determinado no es suficiente para efecto de diseño de elementos de control solar, pues se necesita un panorama completo de su recorrido a lo largo de todo el año. Para el efecto se emplean métodos para determinar los ángulos solares, útiles para conocer y analizar el comportamiento del edificio con fines de diseño y evaluación. Estos métodos son de diverso género: matemáticos, gráficos, modelos tridimensionales, programas computarizados y medios fotográficos en combinación con métodos gráficos.

Para el Estudio hemos empleado el método de "Ángulos críticos de asoleamiento" contenido en el libro "Asoleamiento y sus aplicaciones para el diseño climatológico de la vivienda en Ecuador" (Nienhuys S. y Lara G. INEN, 1976), que desarrolla un procedimiento fundamentado en cálculos según el Diagrama Solar y el Transportador de Ángulos de Sombra, presentando tablas de "Ángulos Críticos de Asoleamiento" para las latitudes que ocupa la geografía ecuatoriana, estas son los 20 norte, 00, 20 sur, 40 sur y 60 sur, cada una de ellas para cuatro fechas correspondientes a los solsticios y los equinoccios.

c. Parámetros para el acondicionamiento térmico de los edificios

Los parámetros de diseño pasivo que influyen en el comportamiento térmico de los edificios son los siguientes:

1. Orientación
2. Geometría exterior e interior.
3. Aberturas y protecciones solares.
4. La envolvente del edificio: reflectividad y aislamiento térmico.
5. Obstáculos externos: la vegetación.

El parámetro protecciones solares exteriores se trata de sistemas que crean espacios sombreados interpuestos entre el ambiente exterior y los espacios interiores. Las protecciones exteriores son de diverso género y se pueden agrupar como sigue:

1. Pérgolas, galerías, soportales y porches, que en conjunto conforman espacios anexos al edificio hacia donde se abren los espacios habitables del mismo.
2. Quebrasoles, aleros y voladizos y toldos y marquesinas, que constituyen dispositivos exteriores construidos sobre la fachada del edificio o en forma de extensión estructural del edificio.
3. Póstigos o elementos de celosía, dispositivos de cerramiento exterior de poco volumen situados como filtros del soleamiento.

Los quebrasoles, o *brise soleil* en francés o *sunbreaker* en inglés, en arquitectura se refieren a una gran variedad de técnicas de protecciones permanentes. De manera general, condicionan fuertemente la apariencia del edificio y han servido a menudo para dar carácter al mismo, a veces con errores técnicos.

La aparición del quebrasol como elemento compositivo de las fachadas para la protección solar se la reconoce como un aporte del arquitecto Le Corbusier en la década de 1930. La experiencia del Maestro en Argelia en cuanto al sobrecalentamiento de los vidrios en climas cálidos lo condujo a proponer una solución de placas aplicadas a la fachada para protegerla de la radiación solar directa sin desfavorecer la generación de iluminación natural.

Los quebrasoles se colocan verticalmente, horizontalmente o de forma combinada, ante las aberturas. Hay diferentes tipos que van desde los macizos, generalmente de hormigón, hasta los de placas sueltas constituidos de láminas de diferentes materiales instaladas fijamente en el edificio; una alternativa es la de placas sueltas orientables por grupos, que permiten regular a voluntad, la intensidad de la protección.

Para el correcto comportamiento térmico y luminoso de los quebrasoles deben tenerse en cuenta algunos criterios fundamentales, tales como:

- La posición correcta es hacia el exterior del vano, pues ubicaciones interiores tras el vidriado convertirían la radiación absorbida en ganancia interna del local.
- Un buen parasol debe tener una superficie expuesta muy reflectante (textura y color) para evitar su calentamiento y devolver al entorno la mayor parte de la radiación incidente.
- Los materiales de construcción de los quebrasoles deben ser de baja conductividad para evitar transmitir el calor absorbido por conducción y convección a la superficie de soporte.
- La radiación absorbida debe poder disiparse eficazmente en el entorno, evitando la acumulación de calor entre el quebrasol y la ventana y su transmisión por conducción hacia el interior a través de los muros y la estructura.

La geometría de los quebrasoles dependerá de la orientación de la fachada a proteger. Para el caso de la posición geográfica de Guayaquil, el planteamiento y recomendaciones es el siguiente:

Orientación fachada	Incidencia solar	Recomendaciones
ESTE OESTE	Solsticios y equinoccios con ángulos verticales cercanos a los 90 al mediodía. Ángulos horizontales casi perpendiculares en equinoccios y variantes alrededor de 60 en solsticios.	Viseras inclinadas Pantalla frontal extendida Pantalla de lamas
NORTE SUR	Solsticios sol al mediodía a 65 lo que implica que protecciones horizontales y verticales deben ser iguales.	Pantallas enterizas verticales y horizontales Pantalla horizontal extendida Celosías verticales y horizontales Pantallas enterizas y de láminas combinadas.
NE-SO NO-SE	Fechas mas desfavorables para el NE en junio y SO para diciembre e inverso para NO-SE. Protecciones para defenderse de ángulos bajos durante primeras y últimas horas del día.	Combinación de pantallas enterizas horizontal extendida y vertical en un lado. Celosías verticales y horizontales, en planos inclinados. Combinación de pantallas de una pieza horizontal y verticales en serie y oblicuas.

d. Balance térmico de una edificación

La edificación gana, produce y pierde energía o sirve como un simple eslabón en los procesos de transformación de energía. Las ganancias y pérdidas de calor se producirán por:

- Conducción de calor aportado o evacuado por los ocupantes y equipos eléctricos.
- Calor aportado por radiación a través de las superficies transparentes o traslúcidas y las aberturas.
- Conducción de calor a través de los cerramientos.
- Calor aportado o evacuado por la ventilación.
- Calor eliminado por la evaporación.
- La aportación deliberada de una fuente mecánica.

El balance térmico de una edificación puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

Si la suma de la ecuación es menor que 0 la vivienda perderá calor y se enfriará y si la suma es mayor que 0 la vivienda ganará calor.

En la ecuación:

Q_i , (Ganancia interna), corresponde al desprendimiento de calor del cuerpo humano y la potencia total en vatios de las lámparas encendidas y las instalaciones y artefactos.

Q_s , (Ganancia de calor a través de las ventanas), que corresponde a la aportación de la radiación solar a través de los vanos y que corresponde, en consecuencia al producto de la radiación incidente (Y) en W/m^2 por el área del hueco (A) en m^2 . Su formulación será entonces:

$$Q_s = A \times Y$$

Si el vano está acristalado el valor de Q_s se modifica por un factor de ganancia solar (F) que depende de la calidad del cristal y el ángulo de incidencia. El factor F se trata de una fracción entre 0 y 1, donde 0 representaría una superficie totalmente opaca y 1 indicaría una superficie totalmente transparente. La formulación en este caso será:

$$Q_s = A \times Y \times F$$

Q_c , (Intercambio por conducción a través de las superficies opacas de cerramiento), se refiere a la conducción de calor hacia adentro o hacia fuera a través de las paredes, cubiertas y pisos, por

efecto de las distintas fuentes que pueden estar aportando calor al edificio, fundamentalmente la radiación solar. Se calcula en vatios por la fórmula:

$$Q_c = A \times U \times T$$

Ecuación en la que A mide el área en m^2 del cerramiento, U mide la transmitancia en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ de los materiales del cerramiento y T corresponde a la diferencia de la temperatura interior (T_i) y la exterior conocida como temperatura sol-aire (T_s) en grados centígrados.

Q_v , (Intercambio de calor por efecto de la ventilación). Mide el flujo de calor por convección entre el interior de un edificio y el aire exterior dependiendo de la ventilación o intercambio de aire. Se calcula en vatios mediante la fórmula:

$$Q_v = 1.300 \times V \times T$$

Ecuación en la que 1.300 es la medida del calor específico del aire en $J/m^3 \text{ } ^\circ C$, V es la tasa de ventilación en $m^3/segundos$ y T es la diferencia de temperaturas interior-exterior en $^\circ C$.

Q_e , (Enfriamiento por evaporación), corresponde a las pérdidas de calor de las superficies del edificio o dentro de él por efecto, por ejemplo, del sudor humano o el agua de una fuente. Si se conoce la tasa de evaporación (ev), en kilogramos por hora (kg/h), la pérdida total de calor por evaporación se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_e = 666,66 \times ev$$

Ecuación en la que el factor 666.66 se obtiene del calor latente del vapor de agua y ev es la tasa de evaporación en kg/h .

Q_m , (Controles mecánicos), que corresponde a la contribución deliberada de flujo calorífico según el criterio del diseñador. Debido a ello generalmente se considera como una variable independiente, es decir, que se puede ajustar de acuerdo al balance de los demás factores. En consecuencia, si la suma de los primeros cinco valores es mayor a cero, entonces el valor Q_m tendría que ser igual a la suma, pero con valor negativo, para lograr el equilibrio. Estaríamos ante la necesidad de un sistema mecánico de refrigeración. Por el contrario, si la suma de los primeros cinco valores es menor a cero el valor Q_m tendría que ser igual a la suma pero con valor positivo, lo que indicaría la necesidad de un sistema mecánico de calefacción.

Metodología

El estudio de quiebrasoles en Guayaquil se condujo mediante una metodología científica. El procedimiento contempló las siguientes etapas:

- Formulación del problema. Planteamientos teóricos de sustento del problema y sus alternativas de solución.
- Diseño. El universo de la investigación es la ciudad de Guayaquil.
- Muestra. Selección de prototipos a estudiar.
- Técnica de recogida de datos. Obtención de datos, trabajo de campo y oficina.
- Análisis e interpretación de datos. Análisis y síntesis de la situación a través de la representación textual y gráfica.
- Valoración de la información. Procesamiento y análisis de la información provista en el análisis y el diagnóstico de la información recopilada, a la búsqueda de recomendaciones y estrategias finales de la investigación.

Universo y muestra

El universo de la investigación es la edificación en la ciudad de Guayaquil. Tratándose de un universo considerablemente vasto, optamos por adoptar una muestra de un número de edificios representativos de diversos usos, concretamente los usos habitacional, de oficinas y educativo por considerar que en estos tipos de edificaciones se dan con más exigencia los requerimientos de acondicionamiento térmico por tratarse de recintos en los que transcurren las actividades humanas más sensibles de sufrir situaciones de discomfort térmico.

El tamaño de la muestra se calculó de forma no aleatoria, 12 edificios, seleccionados por su orientación, uso funcional y tratamiento arquitectónico de sus fachadas, de manera de obtener resultados representativos del universo. La muestra incluye los elementos que por sentido común y experiencia del investigador se consideraron más convenientes, tales son edificios sin ninguna protección solar y edificios con dispositivos constructivos diseñados para protección solar para verificar en éstos su comportamiento.

Además, la selección de la muestra se condujo en base a los siguientes criterios:

- Preferencia por aquellos edificios cuya autoría arquitectónica corresponde a profesionales arquitectos de amplia y notable trayectoria como proyectistas. Se trata de proyectos de edificios diseñados, en su mayor parte, en las últimas décadas del siglo XX, cuando el conocimiento del análisis de orientaciones solares era incipiente y sin ningún sustento científico y por lo tanto con propuestas fundamentalmente sustentadas en la observación y la sensibilidad del autor ante el requerimiento de aislamiento térmico.
- Se prefirió las orientaciones de las fachadas hacia el norte y el sur que, si bien soportan menos asoleamiento, requieren un tratamiento más complejo por la combinación de flujos solares equinocciales y solsticiales. Sin embargo, también se incluye algunos casos de fachadas al oeste, cuya exposición es más dramática en cuanto a potencia de radiación y cuando la temperatura del aire es mayor en horas de la tarde, pero que requieren dispositivos de más sencilla resolución.

USO	EDIFICIO Y UBICACIÓN	ORIENTACIÓN Y FACHADA DE ESTUDIO
HABITACIONAL	9 DE OCTUBRE. Y TUNGURAHUA Esq. SE	SUR-SO: AV. 9 DE OCT.
	BLOQUE IEES- VENEZUELA Y QUITO	NORTE-NE: CALLE VENEZUELA
	CHIMBORAZO Y MALDONADO esq. NE	NOROESTE-O: CALLE MALDONADO
	CHILE Y ARGENTINA Esq. NE	OESTE-NO: CALLE CHILE
OFICINA	9 DE OCTUBRE Y JOSE MASCOTE Esq. SE	NORTE-NE: AV. 9 DE OCT.
	IEES - AV. OLMEDO	NORTE-NE Y NORESTE: AV. OLMEDO
	TOUS - PICHINCHA E ILLINWORTH esq. NE	NOROESTE-O: CALLE PICHINCHA
	CONTEMPORANEO- TULCÁN Y 9 DE OCT. Esq. SE	NOROESTE-N CALLE TULCAN
	TORRE BOYACA- BOYACA Y P. SOLANO. Esq. NE	SUR-SO CALLE PADRE SOLANO
EDUCATIVO	ADMINISTRATIVO DE LA UCSG - AV. AROSEMENA K 1 1/2	NORTE-NE Y NO HACIA EL CAMPUS
	ESCUELA "PEDRO CARBO" - AVDA. DEL EJERCITO Y 9 DE OCTUBRE	OESTE AVDA. DEL EJERCITO
	BIBLIOTECA MUNICIPAL -10 DE AGOSTO e/CHILE Y P. CARBO	NORTE-NE 10 DE AGOSTO

Tabla 1. Listado de edificios de la muestra.

Recogida de datos

Los datos fueron logrados, principalmente, en dos fuentes: la de campo y la de elaboración científica en oficina.

Los datos de campo corresponden a las fichas de los 12 edificios de Guayaquil cuyas características arquitectónicas, geométricas y de orientación fueron relevadas en sitio por los investigadores mediante recursos fotográficos, de dibujo técnico en 2D y 3D y con el auxilio de Google Earth. Los productos fueron procesados en fichas individuales que contienen la siguiente información fundamental para el estudio: ubicación e implantación, plantas, cortes y fachadas acotadas del módulo estudiado, detalles arquitectónicos de los elementos de protección de existir, gráfico 3D del módulo, breve descripción de memoria arquitectónica y especificaciones técnicas.

La elaboración en oficina se realizó en las siguientes etapas:

- Resumen en matriz de los edificios investigados ordenando los datos según uso del inmueble clasificado por habitacional, oficina y educativo; ubicación y orientación, fachada en estudio y módulos, áreas de fachada (módulo) y ventanas, y protecciones solares de existir.
- Matrices de referencia sobre las propiedades conductivas de materiales usualmente empleados en la fabricación de quebrasoles. Se ha elaborado 30 cuadros correspondientes a 10 opciones técnicas de quebrasoles por 3 posibles orientaciones.
- Cuadro de resumen sobre las alternativas de uso de quebrasoles, con un procedimiento de valoración por elementos/orientación. Para el efecto, la matriz incluye un método ponderado con base 100 que permite la toma de decisiones.

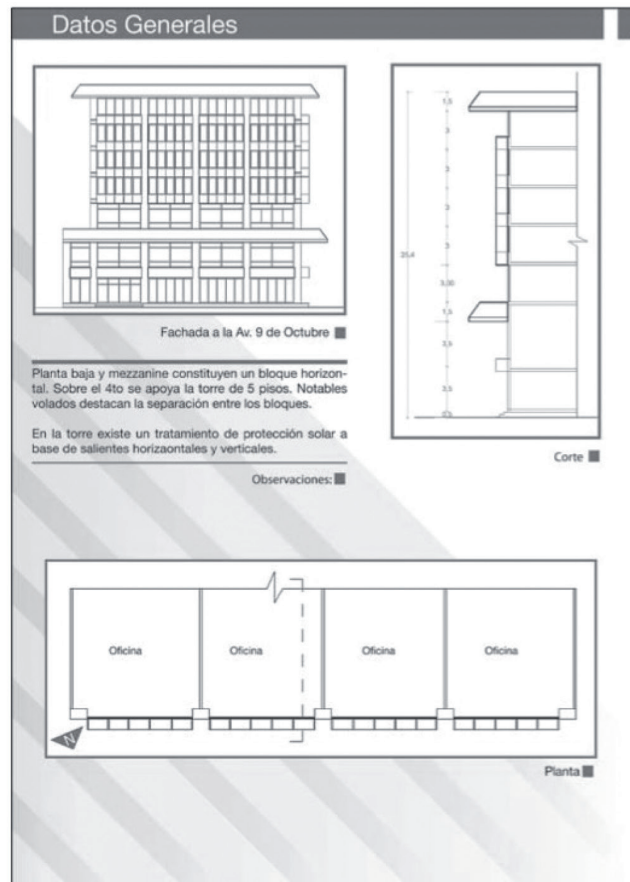


Figura 1. Ficha Tipo de edificio investigado.

Análisis e interpretación de los datos

El análisis de la información recabada se realizó tomando como referencia el marco teórico definido. Así:

a. Determinación de los ángulos solares

Para poder determinar las ganancias térmicas a través de las ventanas, según la orientación y geometría de los módulos de los edificios estudiados, en dibujos de planta y corte se incorporaron los gráficos de penetración infrarroja siguiendo el procedimiento de Ángulos Críticos de Asoleamiento. Esta información permite precisar la orientación, la hora y el mes críticos del vano en estudio y el efecto de los protectores de haberlos.

b. Ganancia térmica Q_s a través de los vanos en los módulos estudiados en los edificios.

Cuadros matrices de cálculo de las ganancias térmicas Q_s a través de los vanos vidriados para precisar el aporte calorífico en los ambientes

vinculados con el módulo-ventana del edificio y poder estimar las condiciones de confort mejoradas con la adición de quebrasoles. Este cálculo se lo realiza tomando como parámetros el área expuesta de la ventana, la radiación incidente sobre paramentos verticales en la hora y mes críticos y el factor de ganancia solar según el tipo de vidrio. Se ha separado en dos cuadros los edificios estudiados según que dispongan o no, originalmente, de dispositivos de protección solar.

Valoración de la información

La valoración de la información nos condujo a determinar los resultados alcanzados, elaborando las fichas gráficas y cuadros de propuesta de protecciones solares a base de quebrasoles en los edificios estudiados. Esto queda representado en las fichas de los módulos de los 12 edificios con dispositivos de quebrasoles propuestos.

Las Fichas han sido elaboradas a nivel de propuesta esquemática, teniendo como principal

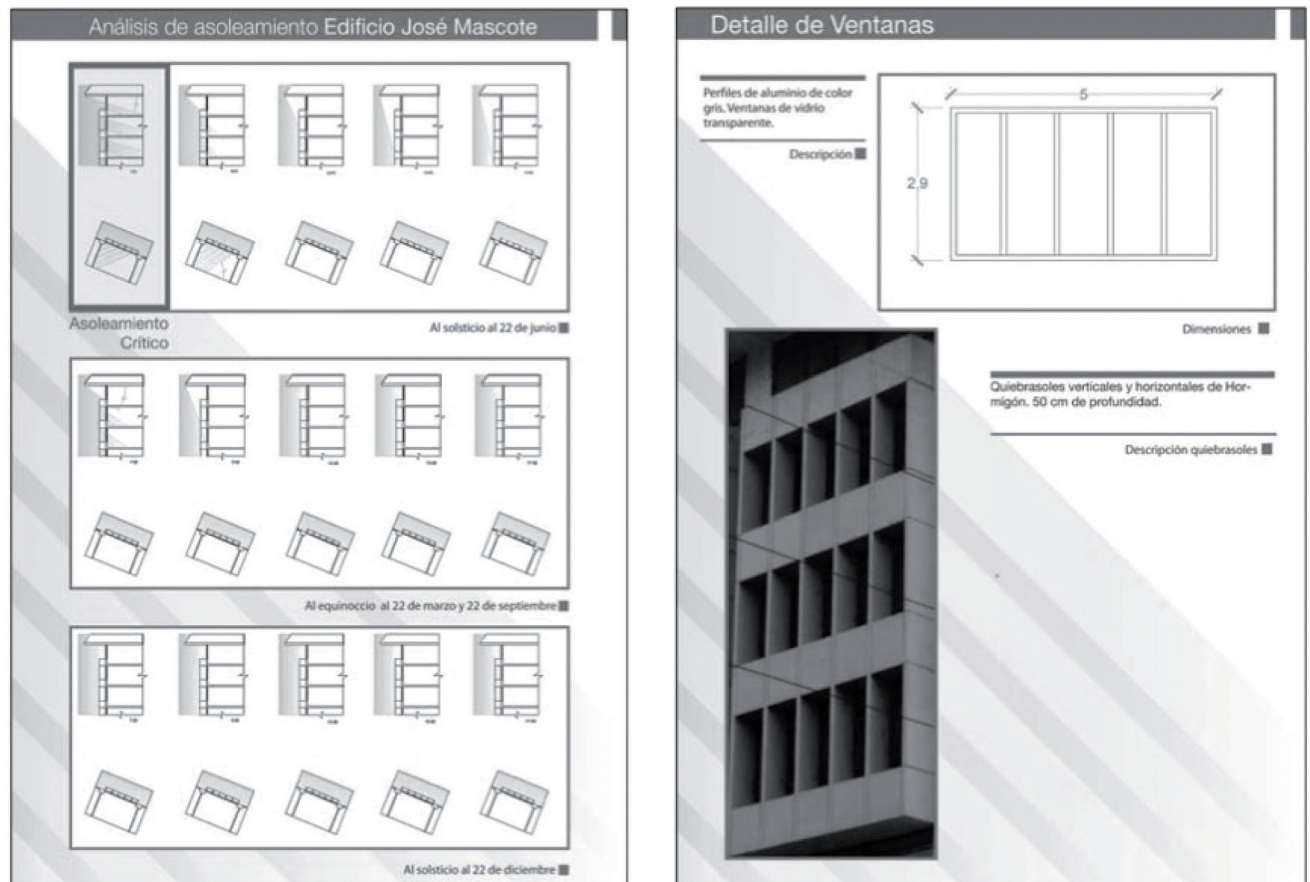


Figura 2. Ficha tipo de determinación de ángulos solares en edificio investigado.

objetivo demostrar la posibilidad de obtener un sombreado total en los vanos de los módulos de los edificios estudiados. Las Fichas incluyen la siguiente información:

- Representación del módulo afectado por la incidencia solar en sus ángulos horizontal y vertical críticos.
- Representación del módulo afectado con la corrección dada al proveérselo de quebrasoles.
- Gráfico en perspectiva del módulo dibujado con los quebrasoles propuestos.
- Detalles gráficos esquemáticos de los quebrasoles propuestos.

Además se elaboró una matriz de ganancias térmicas Q_s a través de las ventanas en módulos protegidos con quebrasoles. La Matriz exhibe las ganancias térmicas Q_s a través de ventanas con el área expuesta rectificadas por el opacamiento de los quebrasoles propuestos. Los resultados de Q_s son cifras en su casi totalidad nulas. En tres casos, por limitaciones del proyecto arquitectónico que se ha procurado respetar sin modificaciones sustanciales en su geometría, existen pequeñas filtraciones de radiación solar, inevitables ante la condición expuesta. El Cuadro presenta, además, un detalle de las características geométricas y materiales de los quebrasoles propuestos.

Conclusiones

a. Los quebrasoles constituyen un indiscutible recurso de diseño y constructivo para proteger los vanos acristalados de las fachadas de los edificios. Desde el diseño arquitectónico permiten lograr geometrías y composiciones generosas en su forma con evidentes beneficios para la expresión arquitectónica. Desde lo constructivo permiten aportes de menor complejidad técnica y de fabricación que otras alternativas de protección como por ejemplo las dobles fachadas que además implican mayores aportes de presupuesto. La problemática del empleo de los quebrasoles, en sus enfoques de diseño y constructivo, radican más bien, en lo primero en su desvalorización como integrantes del proyecto por considerarlos, en el proceso proyectual, como elementos no integrados en la filosofía arquitectónica. En lo constructivo los obstáculos para su uso generalizado estriban en el desconocimiento de las propiedades

y conveniencias técnicas y económicas en el manejo de las alternativas.

- b. Las ventanas tienen un papel muy importante en el funcionamiento térmico y en el confort lumínico de los edificios. Son elementos de captación solar directa, de ventilación natural, y de entrada de luz natural, elementos vitales para la buena salud de las personas. Sin embargo, en situaciones geográficas como la de Guayaquil, los parámetros radiación, ventilación y luz natural entran en conflicto pues la captación de la ventilación y la luz exige vanos amplios los que a su vez implican grandes penetraciones caloríficas. Es requerido, en consecuencia, un manejo armonioso de los vectores, para lograr armonizarlos en la búsqueda del confort de los usuarios de los espacios habitables de los edificios.
- c. Los edificios no se construyen, usualmente, donde el arquitecto quisiera se edificaran. Inmuebles a levantarse en predios centrales y áreas residenciales de Guayaquil, generalmente entre medianerías, tendrán la orientación impuesta por el trazo urbanístico. Otros edificios, situados en zonas de expansión de Guayaquil, con posibilidades de implantación libre en súper manzanas, constituyen la excepción a lo antes citado. En todos los casos, la apertura de las fachadas a diversas orientaciones requiere tener en cuenta las diferentes alternativas de geometría en los quebrasoles según el ángulo a que se exponen los vanos de las fachadas.
- d. El diseño de quebrasoles exige, por parte del proyectista, un conocimiento depurado de las características técnicas y constructivas requeridas por los protectores. Este particular contribuirá al mejor desempeño térmico.
- e. El arte y la forma de los protectores solares depende fundamentalmente de la posición de las ventanas. Los estudios preliminares pueden valerse de las herramientas de simulación, tales como Sun Tool de Ecotect cuyo software demostrativo puede accederse en www.squ1.com
- f. El uso de quebrasoles resulta una excelente opción en condiciones de radiación directa, pero con cielos difusos la habitación podría perder mucho de luz. En consecuencia se estimaría necesario que los dispositivos protectores deban tener una estructura alveolar

que permitan una permanente relación interior-exterior de intercambio de luz y visión.

- g. La opción de quebrasoles móviles, es decir de geometría variable modificada por accionar humano o de máquina o motor, no forma parte del presente Estudio que enfatiza en la naturaleza pasiva del recurso o dispositivo de protección. Los quebrasoles móviles son una opción válida aunque demandante de controles y esfuerzos humanos en el caso de movilidad manual y, en el caso de accionado mecánico requeridos de tecnología propia del campo de la domótica.

Recomendaciones

- El empleo tradicional de quebrasoles en la arquitectura guayaquileña revela intenciones aunque pocos resultados de calidad, lo que conduce a aceptar que en los ejemplos analizados hubo falta de información y medios científicos para elaborar mejores diseños. Esto hoy es ampliamente superable con la disponibilidad de recursos digitales, información estadística y diversos medios de modelado. Lo que hace falta es procesos, enseñanza, orientación analítica y de taller en las escuelas de arquitectura para generar profesionales más preparados en el enfoque integrado de arquitectura, ambiente, confort y protección de vectores climáticos.
- No se han establecido fórmulas que armonicen y den preferencias en la combinación de los parámetros de radiación solar, ventilación y luz natural. La tarea pertenece al análisis de prioridades que el proyectista, en base a los requerimientos funcionales y de confort ambiental, debe establecer para satisfacer todas las necesidades dentro de las apretadas conveniencias con que trata. Las opciones del arquitecto para el estudio y la propuesta serán tan amplias como amplio es el bagaje de su conocimiento y el nivel de su compromiso para hacer buena arquitectura. Esto requiere del arquitecto, del estudiante que se forma para arquitecto y de las escuelas que forman los arquitectos, una revisión de la filosofía, del arte y de las técnicas integradas en programas académicos de pregrado y posgrado que favorezcan el conocimiento teórico y práctico del arte y la ciencia de la protección solar.

- Desde el punto de vista de lo técnico-constructivo, el proyectista debe tener presente, en el diseño de los quebrasoles, la naturaleza de la superficie del material (textura y color) para evitar el calentamiento y la transmisión por conducción, de forma de devolver al entorno la mayor parte de la radiación incidente; la baja conductividad del material para evitar la transmisión del calor por conducción y por convección a la superficie de soporte; separar el quebrasol de la superficie que protege con el menor número de sujeciones para evitar puentes térmicos; y, emplear materiales que resistan la intemperie y de escaso mantenimiento.

- Desde el punto de vista de lo arquitectónico (lo formal y lo funcional), el proyectista debe tener presente, en el diseño de los quebrasoles, junto con el diseño geométrico adecuado a la orientación y el asoleamiento, la armonía arquitectónica de la fachada, el respeto a las ordenanzas de construcción en cuanto a volados mas allá de la línea de fábrica y permitir el paso de la iluminación natural y la visión interior-exterior en grado razonable.

Aplicación de los resultados

- La Investigación ha estado en todo momento orientada a proporcionar un recurso proyectual que mejore las condiciones de confort ambiental en los edificios de Guayaquil. Por ello su aplicación principal es la formativa a partir de la información recabada, su análisis y su propuesta.
- Lo formativo se refiere a los procesos de instrucción universitaria de arquitectura y otras profesiones interesadas en la materia investigada. Para los estudiantes y los profesionales comprometidos con el diseño y la construcción de edificios confortables y sustentables está dirigido el Estudio.
- En consecuencia, la Investigación puede ser tomada como aporte teórico y práctico en las cátedras universitarias relacionadas con los talleres de arquitectura y otras asignaturas con pensum medioambiental y técnico-constructivo. Para estudios de especialización y posgrado los resultados de la Investigación pueden ser de utilidad como fuente informativa e incluso como punto de partida para estudios mucho más extensos sobre la materia.

Extensiones a la investigación

Una investigación del género que estamos concluyendo puede y merece tener una ampliación en los siguientes ámbitos:

a. Determinación medible en sitio de la relación ganancia térmica- protecciones -confort ambiental. Nos referimos a un estudio pormenorizado del impacto combinado de los diversos parámetros de influencia climática del entorno sobre las áreas afectadas de la edificación y estas relacionadas con la población usuaria de los espacios según las características individuales de las personas. Esto requerirá un estudio más limitado de tipos con especificidades puntuales del uso horario de la edificación y de los perfiles personales de los habitantes.

- b. Establecimiento científico detallado de las necesidades y limitaciones que las protecciones solares plantean ante los requerimientos de iluminación natural y visión. Esta extensión implica estudios e investigaciones que incorporen los requerimientos mínimos de luz y visión y su medición científica por modelos o experiencias de campo según los usos del espacio.
- c. Extensión del estudio, mediante laboratorio, de las propiedades conductivas y reflectivas de los materiales adecuados para los quebrasoles y las protecciones solares en general. Se debe además contar con una base de datos detallada de los productos industriales de oferta local adecuados para la función de protección solar; el enfoque de este archivo, aparte de la información técnica, podría permitir tener testimonio de costos y procedimientos de fabricación, mantenimiento y montaje.

Bibliografía

ACT WorkCover (2001). *Guidance to Working in Hot Enviroments*. South Wales: Autor.

Almodóvar J. (2007). *De la Ventana horizontal al brise-soleil de Le Corbusier: Análisis ambiental de la solución propuesta para el Ministerio de Educación de Rio de Janeiro*. San José; Editorial Instituto de Arquitectura Tropical de San José.

Autodesk. Ecotect. www.squ1.com

Barros A y Ramos S. (2001). *Manual de Conforto Térmico*. Sao Paulo: Studio Nobel.

Cabeza J. y Almodóvar J. (2001) *Fundamentos de Composición Arquitectónica y Arquitectura y Medio Ambiente*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Casterona M. y Figueroa A. (2001). *Proyectos de Tepotzotlan, Estado de México*. Tepotzotlan; Universidad Autónoma Metropolitana Acapozalco.

Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona. (2007). *Sistemas Pasivos de Ahorro Energético*. Barcelona: Autor.

CONAFOVI (2006) *Uso Eficiente de la Energía en la Vivienda*. México D. F.: Autor.

Da Silva J. (2009). *La Arquitectura Solar Pasiva*. Lisboa: Universidad da Beira Interior.

Department of Housing and Urban Development (1970). *Hot weather housing*. Washington: Autor.

Joo-Hwa B. and Boon-Lay O..(2006). *Tropical Sustainable Architecture*. Londres: Elsiever..

Koenisberger y otros. (1977) *Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: Editorial Paraninfo.

Kvisgaard B. (2000). *Thermal Comfort Innova*. Copenhagen: Air Tech Instruments A/S.

Lamberts y De Paula (2005). *Confort e Stress Térmico*. Santa Catarina: Universidad Federal de Santa Catarina.

Markov D. (2002). *Practical Evaluation of the Thermal Parameters*. Sofia: Technical University of Sofia.

Martin M. (2006). *Manuales de Diseño Ícaro de Calidad Ambiental en la Edificación*. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Morrillon D. (2003). *Comportamiento Bioclimático en la Arquitectura*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

- Murillo G., Arroyo I., Donoso J. y Torres L. (2007). *Fundamentos para la climatización Natural en Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Murillo G. (2010) *Metodología para el Diseño Arquitectónico Bioclimático en Zonas de Clima Caliente y Húmedo*. Guayaquil: Facultad de Arquitectura Universidad Católica de Guayaquil.
- Murillo G. (2011). *Arquitectura Bioclimática*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Olgay y Olgay (2000), *Solar Control and Shading Devices*. Reinhold: Van Nostrand.
- Puppo E. (1979). *Acondicionamiento natural y arquitectura*. Barcelona: Editorial Marcombo Boixareu.
- Quiros C. (2005). *Evaluación de las estrategias de control solar en edificaciones con diseño bioclimático-Caso de Estudio: Escuela de Ingeniería del Petróleo de la Universidad del Zulia*. Maracaibo: Revista Técnica de Ingeniería.
- Remaz D, Abdul R. y Hamdan M. (2008). *Tropical Building Design Principles for Comfortable Indoor Enviroments*. Kuala Lumpur: University Teknologi Malaysia.
- Stagno B. y Ugarte J. (2003) *Arquitectura Rural en el Trópico*. San José de Costa Rica: Instituto de Arquitectura Tropical.
- State of Hawaii. (2000). *Hawai Homeowners guide to Energy, Comfort & Value*. Honolulu: Autor.
- Yáñez G. (1988). *Arquitectura Solar*. Madrid: MOPU.