

AS-13

**DESARROLLO DE MÉTODO PARAMÉTRICO PARA EVALUAR ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS EN FACHADAS DE EDIFICIOS DE OFICINAS EN FUNCIÓN DEL CLIMA, LA ORIENTACIÓN Y EL CONSUMO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y DE LA ILUMINACIÓN. CIUDADES DE ESTUDIO: CARACAS Y MARACAIBO, VENEZUELA**

Sosa, María  
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Caracas  
mesosa@yahoo.es

**INTRODUCCION**

Este trabajo expone parte de los resultados de la tesis doctoral titulada: Desarrollo de Método Paramétrico para Determinar Índices de Eficiencia Energética para Fachadas en Edificios con Sistema de Acondicionamiento Activo. Caso Estudio: Edificios de Oficina en Caracas y Maracaibo-Venezuela (Sosa, 2008). El desarrollo del presente método parte de la necesidad de evaluar el diseño integrado entre la envolvente, el clima, el sistema de iluminación y el sistema de aire acondicionado. En las primeras etapas de la concepción arquitectónica se toman las principales decisiones de diseño como son la implantación del edificio en la parcela, su orientación, tecnologías constructivas y la volumetría. Estos factores definen su adaptación al microclima y, determinaran el grado de respuestas a los requerimientos de habitabilidad de sus usuarios y perfilan su consumo energético durante su ciclo de vida.

A nivel mundial y sobre todo en aquellos países con mayor desarrollo económico, para tener un mayor control sobre la práctica del diseño y la construcción de edificios ambientalmente amistosos y energéticamente eficientes, se han desarrollado diferentes aproximaciones cualitativas, cuantitativas o mixtas como son: legislaciones, códigos, métodos, instrumentos, estándares, índices, reglas de diseño, certificaciones, etiquetados, esquemas de jerarquización o herramientas de simulación en relación al confort, al uso de energía y/o a la sustentabilidad parcial o global de la edificación.

Estos métodos desarrollados para garantizar, evaluar o simular el comportamiento térmico, lumínico y energético permiten al diseñador comparar diferentes estrategias de diseño y de sistemas de acondicionamiento pasivo o activo desde las primeras etapas del diseño y durante el ciclo de vida de la edificación, por lo tanto lo orientan para la correcta toma de decisiones.

Por ello, el presente estudio se aboca principalmente a desarrollar un método de evaluación de las estrategias arquitectónicas vinculadas a la fachada en función a su impacto directo en el consumo de energía eléctrica a través de las cargas de enfriamiento del sistema de aire acondicionado y del sistema de iluminación artificial en el caso de edificios de oficina de altura para las condiciones climáticas, tecnológicas y culturales de Venezuela.

## ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS EN FACHADAS Y CONSUMO DE ENERGÍA EN OFICINAS

Las edificaciones en general, son responsables del consumo de alrededor de 40% de la energía consumida en las ciudades, aunado a la tendencia mundial de una mayor población urbana respecto a la rural. Por ello, el proyecto y construcción de las edificaciones con sistema de acondicionamiento activo y en especial de edificios de oficina, se ven en la necesidad de diseñarse en forma integral con equipos multidisciplinarios, con una visión sustentable más armónica con el ambiente, menos consumidora de energía y agua, que promueve el uso de energía solar o eólica.

La arquitectura contemporánea de oficina en Venezuela, presenta criterios de diseño y/o tecnológicos de la envolvente, conformadas por fachadas y techos, inadecuados al clima, que los hace grandes consumidores de energía eléctrica, que llama a la reflexión de la practica profesional en el marco de la crisis eléctrica. En el país, el consumo de energía de edificios de oficina según la Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica CAVEINEL 2000 (Siem, et al, 2002), esta repartido en la forma que se indica en el gráfico # 1, a continuación.

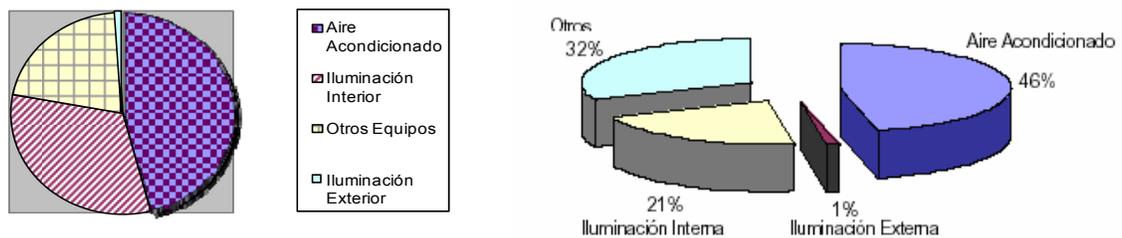


Gráfico #1. Edificios de oficina en Venezuela: Distribución del consumo de energía por sistema

Fuente: Datos de CAVEINEL(2000) citado en Siem et al, 2002

El sistema de aire acondicionado constituye casi la mitad del consumo con un 46% y el sistema de iluminación artificial representa un 23%. Ambos sistemas contemplan en total 69%, lo que significa un gran porcentaje del consumo de energía de la edificación (Sosa-Siem 2004). En este caso, adquiere una gran importancia el diseño de la envolvente del edificio, en especial de las fachadas. Desde el punto de vista climático, el diseño de la fachada de una edificación de altura, es complejo ya que requiere considerar un gran número de relaciones ambientales como lo son: admitir selectivamente la radiación solar, permitir el acceso de la luz natural y del calor deseado, excluir las ganancias de calor solar excesivas, además de controlar el ingreso de la lluvia, moderar la ventilación y optimizar el clima interior. El objetivo de la arquitectura bioclimática, en el trópico, es aprovechar la iluminación natural y hacer que las diferencias de temperaturas entre el exterior y el interior del edificio, estén atenuadas, a lo largo del año, a pesar de la alta radiación diaria en el exterior todo el año, a fin de disminuir, así la intervención de sistemas mecánicos y eléctricos.

Para el desarrollo del método paramétrico las estrategias arquitectónicas estudiadas son: orientación; forma geométrica y técnica constructiva, proporción de paredes versus ventanas tecnologías de ventanas y vidrios, protecciones solares en superficies translúcidas e inercia térmica, materiales aislantes o pinturas en componentes opacos externos. Cada una de estas estrategias arquitectónicas en fachadas se estudian primeramente con relación a las referencias internacionales, a continuación se avalan con investigaciones nacionales o con experiencias de edificios de oficina que utilicen exitosamente esa estrategia arquitectónica desde el punto de vista del confort y la eficiencia energética (Sosa y Siem, 2008). Esto permite tener la fundamentación teórica de las estrategias arquitectónicas para edificios acondicionados en forma activa adecuados al clima cálido húmedo de Venezuela. Se concluye determinando que las variables de diseño tienen el más alto impacto en el consumo de energía del edificio y en los costos asociados, por lo cual la mayoría de las regulaciones, instrumentos o métodos estudiados, estimulan el ahorro de energía a través de las estrategias de diseño y de las características tecnológicas de los componentes constructivos del edificio. Se evidencia, que cada vez hay una mayor valorización de la concepción bioclimática de la arquitectura, así como de la necesidad de establecer un límite de consumo en  $\text{Kwh/m}^2/\text{año}$  y de emisiones de  $\text{CO}^2$  al ambiente (Sosa, 2008).

## DESARROLLO METODO PARAMETRICO

El objetivo es desarrollar un método que permita un análisis cuantitativo para la selección racional de las estrategias arquitectónicas que pueda asistir al diseñador para la toma de decisión de las soluciones de diseño y/o tecnológicas de la Fachada del edificio que presenten mejores comportamiento en relación al consumo energético.

El presente estudio representa el desarrollo de un método paramétrico de las estrategias arquitectónicas de fachadas adecuadas al clima cálido húmedo, lo cual comprende una evaluación comparativa de diferentes parámetros, término, definidos en diccionarios técnicos como **Paramétrico:** Relativo o definido usando parámetros. ([www.thefreedictionary.com/parametric](http://www.thefreedictionary.com/parametric)). Uno o grupo de factores o variables medibles, que definen un sistema y determinan su comportamiento y pueden ser variado en un experimento (Real Academia, 2008).

En el desarrollo del Método Paramétrico, se establecieron, los parámetros variables y fijos, los indicadores energéticos y el plan de simulación. Se seleccionó el programa Ecotect™ programa concebido para ser usado desde las primeras etapas de la concepción arquitectónica para evaluar el confort y el consumo de energía adaptado al clima tropical. El análisis térmico-lumínico y energético de programa Ecotect incluye, entre otros puntos los siguientes de interés para el presente estudio: penetración de calor solar a través de componentes opacos o traslucidos; % de aprovechamiento de la iluminación natural; temperaturas de aire interiores horarias o promedios diarios; cargas de enfriamiento y consumo energético anual total y/o por metro cuadrado.

Con base en lo expresado, para optimizar los aspectos bioclimáticos de fachadas en edificio de oficina de altura, las estrategias arquitectónicas pueden ser evaluadas por parámetros en relación a los siguientes aspectos:

1. *Condiciones Climáticas y Urbanas:* depende de la región y la latitud del sitio, los factores o variables meteorológicas a considerar son: temperatura del aire exterior, radiación solar, horas de insolación, velocidad y dirección del viento, lluvias, humedad relativa, etc.
2. *Características Geométricas-espaciales de los componentes constructivos opaco y/o traslúcidos:* orientación, forma, volumetría, áreas, y proporciones

3. *Características Termo-físicas de los componentes constructivos opaco y/o traslúcidos:* propiedades térmicas y lumínicas propias de los materiales y componentes constructivos, tales como: conductividad, calor específico, densidad, emisividad, coeficientes de luz visibles, etc.
  4. *Características Tecnológicas:* En relación al nivel de tecnología incorporada en los componentes constructivos o técnicas constructivas y asociados a mayores costos económicos. Se propone la caracterización de la siguiente forma:
    - *Tradicional de Baja Tecnología:* Estrategias arquitectónicas que tienen que ver más con las decisiones de diseño (forma; orientación; proporciones; volumetría) y que involucran técnicas, materiales y/o componentes de "construcción típicas al clima tropical". Ej.: aleros, protectores solares, jardineras, corredores, etc.
    - *Media Tecnología:* Estrategias arquitectónicas "menos tradicionales" que involucran la incorporación de materiales y/o componente de construcción de intermedio nivel tecnológico y mayores costos constructivos. Ej. tecnologías de aislante, dobles paredes ventiladas, etc.
    - *Alta Tecnología:* Estrategias de diseño y/o tecnológicas novedosas o "no tradicionales" que involucran la incorporación de componentes constructivos con alta tecnología y pueden presentar elevados costos constructivos, así como la necesidad de contar con instalaciones especiales. Pueden intervenir en la energía positiva del edificio Ej. Vidrio de Low-e de baja ganancia solar, parasoles auto regulables, integración de colectores solares o fotovoltaica como cerramiento en fachada o techo.
- **Implementación del método: parámetros fijos y variables**

**Los parámetros fijos**, son aquellos factores que se mantienen constantes en el plan de simulaciones con el programa Ecotect. El grupo de parámetros fijo establecidos son los siguientes: tipología y planta tipo del edificio referencial, bandas de confort, niveles de iluminación requeridos, condiciones de ocupación y horarios de funcionamiento.

**Los parámetros variables**, son aquellos factores que se van modificando metódicamente de acuerdo al plan de simulación, para obtener resultados precisos de interés a los objetivos del presente estudio. El grupo de parámetros variables establecidos son los siguientes:

- Dos (2) Ciudades de estudio: datos meteorológico de Caracas y Maracaibo
- Ocho (8) Orientaciones geográficas: Norte (N), Sur (S), Este (E), Oeste (O), Noreste (NE), Noroeste (NO), Sureste (SE) y Suroeste (SO).
- Veintiséis (26) estrategias de diseño y tecnológicas en fachadas agrupadas en seis (VI) grupos de estrategias arquitectónicas, a continuación:

Grupo I. Cinco (5) estrategias en relación a la proporción ventana/pared: 100% ventana; 75% ventana; 50% ventana; 25% ventana y 0% ventana.

Grupo II. Cuatro (4) estrategias en relación a la tecnología de vidrios: 50% ventanas variando sólo las características de los vidrios: vidrio simple claro, doble vidrio claro, vidrio bronce y con vidrio de alta tecnología low-e.

Grupo III. Cuatro (4) estrategias con relación a protecciones solares: 50% ventanas con parasoles, sin parasoles, con balcón o corredor y con jardinera exterior.

Grupo IV. Tres (3) estrategias en relación a la forma geométrica de fachada: plana, cóncava y convexa.

Grupo V. Ocho (8) estrategias con relación a la inercia térmica en componentes opacos: bloques de concreto hueco 20 cm. y 15 cms.; bloques de concreto hueco aligerado 20 cm. y 15 cms; bloques de arcilla hueco 20 cm. y 15 cms.; bloques de arcilla macizo 20 cms. y 15 cms.

Grupo VI. Tres (3) estrategia con relación a la incorporación de material aislantes térmicos en componentes opacos: pared sin aislante, con 5 cm. aislante cara exterior y otra con 5 cms. aislante cara interior.

La combinación de estos paramentos variables, con una reducción de variedad razonadas, requirieron implementar un total neto de 412\* simulaciones con el programa Ecotect, con su respectivo estudio térmico lumínico y energético, las cuales son ejecutadas, procesadas y analizadas dentro del alcance de la presente investigación.

## **ETAPAS DEL MÉTODO PARAMÉTRICO.**

El método se desarrolla en dos etapas bien definidas, que se explican a continuación

### **ETAPA I: Simulaciones y resultados combinando parámetros fijos y variables**

La Etapa I del Método Paramétrico se desarrollo combinando los parámetros fijos variando los parámetros variables según un plan de simulaciones preestablecido. La respuesta del edificio a las estrategias de diseño y/o tecnológicas se obtienen a través de simulaciones con el programa de simulación Ecotect™, realizándose un análisis comparativo entre ellas en relación al consumo eléctrico parcial y global del sistema de aire acondicionado y del sistema de iluminación artificial. El estudio se realiza sobre una sola fachada, del edificio referencial llamada "fachada de estudio", a la cual se le aplican diferentes alternativas de estrategias arquitectónicas para ocho orientaciones geográficas y para las condiciones climáticas de las dos ciudades de estudio. Se constata, efectivamente, el impacto de la estrategia de arquitectura directamente sobre los espacios interiores en relación al comportamiento térmico-lumínico y demanda de energía por carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado y por iluminación artificial.

### **ETAPA II: Determinación de rangos índices energéticos ponderados y jerarquizados de las estrategias arquitectónicas en fachadas**

Contempla un estudio comparativo y estadístico a partir de los valores resultantes de la Etapa I, en las cuales se definen y asocian los indicadores de comportamiento térmico y de eficiencia energética por grupo de estrategias arquitectónicas, por orientación y por ciudad. En los mismos, se han sintetizado los valores de consumo por carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado y del cálculo analítico del consumo en Kwh/m<sup>2</sup>/año por la iluminación artificial. Se obtiene, para cada grupo de estrategia arquitectónica y para cada orientación y ciudad el valor de consumo por el sistema de aire acondicionado, el valor de consumo por iluminación y se obtiene la sumatoria de estos dos valores que representa el indicador e índice global, todos los datos de consumo están expresados en Kwh/m<sup>2</sup>/año.

La Jerarquización se basa en el "potencial de ahorro", es decir las estrategias arquitectónicas en fachadas, que presenten un menor consumo en kwh/m<sup>2</sup>/año según los resultados del

estudio y de las simulaciones, representan la estrategia arquitectónica mejor desde el punto de vista bioclimática y de eficiencia energética. Para la jerarquización se utiliza un Sistema de Estrella, inspirado en el sistema australiano Green Stars (Graham, 2003), pero adaptados a los objetivos de este estudio y a los resultados de las simulaciones realizadas en función a los datos climatológicos de Venezuela. Se determina un rango que va de 5★ a 1★, es decir los mínimos consumo (más eficiente) y los máximos consumos de energía eléctrica (menos eficiente) respectivamente, y que se ponderan en relación a los resultados por cada orientación para todas las estrategias arquitectónicas estudiadas (Sosa, 2008).

A continuación se presenta un resumen de los índices energéticos e indicadores, utilizados, así como de la representación gráfica, para presentar las tablas resultados, ponderados y jerarquizados para todas las estrategias arquitectónicas estudiadas, ordenadas por orientación y para cada ciudad caso de estudio Caracas y Maracaibo. Lo cual es el "instrumento" de aplicación directa para orientar al diseñador en la selección óptima en función a la adaptación al clima y la eficiencia energética.

### **Índices Energéticos: Rangos Mundiales de Eficiencia en edificios con acondicionamiento activo**

Los índices energético para edificios proveen de valores representativos del consumo de energía, que pueden ser usado para comparar el comportamiento real de un edificio o estimado de un Proyecto de semejante condiciones.

Los índices energéticos se determinan para lograr dos objetivos definidos (Cheung C.K. 2006):

- Asistir a diseñadores, profesionales y gerentes a implementar la eficiencia en el consumo de energía en edificios.
- Permitir a los usuarios identificar los niveles de consumo de energía del edificio contra otro de su mismo sector.

Los índices energéticos en oficinas son basados en estudios, auditorias y/o encuestas en edificios de oficinas típicos y en sucesivas evaluaciones de los sistemas e instalaciones clasificados como de "buena practica" en el tiempo y por las experiencias. Se espera que los

índices energéticos mejoren el diseño y construcción de los edificios y el comportamiento energético del promedio de edificios de oficinas y signifique un ahorro de energía.

Mundialmente, los índices energéticos son reconocidos por el sector gubernamental y privado como instrumentos de alto valor para evaluar y manejar el uso de la energía con respecto al clima y a la tipología de edificio. Si el consumo de un edificio en proyecto o en operatividad (por simulaciones o auditorías respectivamente), cae por encima del tope o máximo del índice energético referencial, el grupo de diseñadores o los gerentes de mantenimientos pueden implementar medidas para mejorar el comportamiento energético del edificio. Los índices energéticos pueden ser clasificados en dos tipos (Cheung C.K. 2006):

- Simple o Global para todo el edificio: define el consumo promedio anual por metro cuadrado de área de piso o por cantidad de emisiones de gases de invernadero por metro cuadrado de área de piso. Estos índices permite evaluar la eficiencia energética global del proyecto o del edificio en operatividad, y permiten tomar acciones remediales.
- Detallado por Sistema (s): definen el consume promedio anual por metro cuadrado de área de piso discriminado por cada uno de los servicios básicos como son: aire acondicionado, calefacción, iluminación artificial, ventilación forzada, ascensores y equipamientos. Estos índices más detallados y por sistema pueden ayudar a encontrar y optimizar problemas puntuales por áreas del edificio.

## **PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN: INDICADORES E ÍNDICES**

### **- Indicadores del Comportamiento Térmico**

Corresponde a los indicadores de las transferencias térmicas en régimen variable de las decisiones arquitectónicas de la envolvente y su impacto para mantener las condiciones de confort interno del espacio. Se trabajo con los siguientes indicadores, asociados en la tabla # 1:

- Temperatura Interior Promedio (Ti) del aire interior del piso de oficina en estudio
- Transferencia de calor por paredes opacas (Wh/día)
- Transferencia directa o indirecta de calor por ventanas (Wh/día)
- Factor de respuesta que corresponde al concepto de inercia térmica de los componentes constructivos

Temperatura promedio	Factor Respuesta	Transferencia calor paredes (Wh/día)	Transferencia calor ventanas (Wh/día)
----------------------	------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

Tabla # 1. Indicadores del comportamiento térmico  
Fuente: Elaboración propia

### Evaluación Energética

Las estrategias de diseño o tecnológicas de la envolvente de la edificación se evalúan en función a su impacto directo en los dos sistemas de instalaciones que mayormente consumen energía eléctrica en un edificación de oficina, es decir el sistema de aire acondicionado y el de iluminación artificial. En la medida que el consumo de energía por servicio prestado sea cada vez menor en Kwh/m<sup>2</sup>/año, el edificio es energéticamente más eficiente.

### Sistema Aire Acondicionado

La eficiencia del sistema de aire acondicionado se evalúa en función al impacto en las cargas de enfriamiento del sistema de aire acondicionado. Los indicadores básicos para evaluar la estrategias de diseño y tecnológicas en fachadas dependen del aumento de las cargas de calor interior que eleva la temperatura de aire interior y de la disminución o aumento de la carga de enfriamiento requerido para el sistema acondicionamiento activo. Se trabajo con los siguientes indicadores, asociados en la tabla # 2.

Carga de enfriamiento Kwh /año	Consumo carga de enfriamiento Kwh/m <sup>2</sup> /año
--------------------------------	---

Tabla # 2. Indicadores energéticos del sistema de aire acondicionado  
Fuente: Elaboración propia

### Sistema de Iluminación

La eficiencia del sistema de iluminación artificial, se evalúa en forma inversa en función al aprovechamiento de la iluminación natural a través de la estrategia arquitectónica, mediante la sección de Autonomía Luz Natural del programa Ecotect, que se refiere al % de tiempo de autonomía del espacio interior con iluminación natural. Se trabajo con los siguientes indicadores, asociados en la tabla # 3.

Iluminación natural (Lux)	Autonomía luz natural (% tiempo)	Consumo por iluminación artificial kWh/m <sup>2</sup> /año
------------------------------	-------------------------------------	--

Tabla # 3. Indicadores energéticos del sistema de iluminación  
Fuente: Elaboración propia

**Indicador energético global: sistema de aire acondicionado + iluminación artificial**

Para este estudio, viene dada en función al consumo total correspondiente a la suma de los consumos parciales de cada sistema, como se explica a continuación:

- A = Consumo anual de demanda de carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado expresado en Kwh/ m<sup>2</sup> / año
- B = Consumo anual por iluminación artificial (va a depender del aprovechamiento de la iluminación natural) expresado en Kwh/ m<sup>2</sup> / año

Consumo Total = A + B = C expresado en Kwh/ m<sup>2</sup> / año.

- Se trabajo con estos indicadores, asociados en la tabla # 4

Indicador energético por sistema					Indicador energético por sistema
Sistema aire Acondicionado		Sistema iluminación			Consumo aire acondicionado + consumo iluminación Kwh/m <sup>2</sup> /año
Carga de enfriamiento Kwh /año	Consumo de carga de enfriamiento Kwh/m <sup>2</sup> /año	Iluminación natural (Lux)	Autonomía luz natural (% tiempo)	Consumo por iluminación artificial kwh/m <sup>2</sup> /año	
<b>A B C</b>					

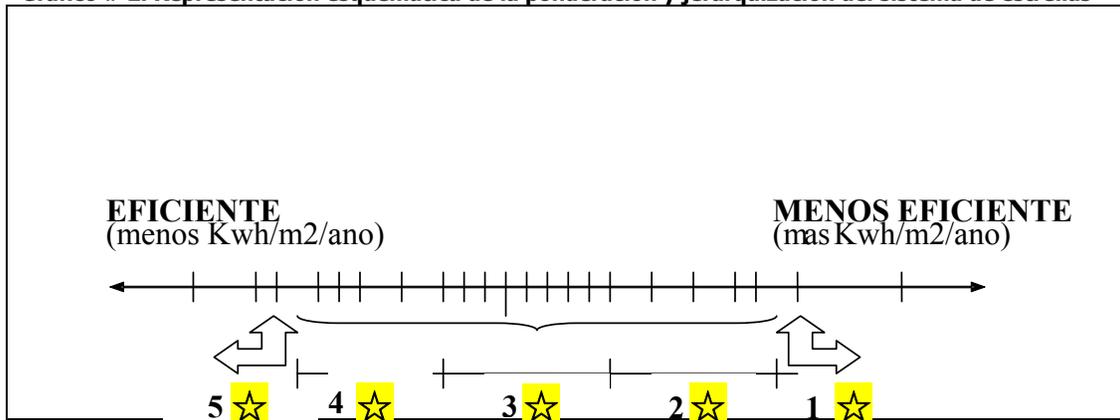
Tabla # 4. Indicador energético global: sistema de aire acondicionado + iluminación artificial  
Fuente: elaboración propia

## ESQUEMA DE ESTRELLAS PARA LA PONDERACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICA, POR ORIENTACIÓN Y CIUDAD

El procedimiento para el esquema de Ponderación y Jerarquización fue el siguiente:

1. Debido a la marcada diferencia meteorológica y del consumo de energía reflejado en  $\text{kwh/m}^2/\text{año}$  entre Caracas y Maracaibo, para cada ciudad y para las ocho orientaciones geográficas se determinan los rangos de índices energéticos mínimos y máximos globales y por sistemas (aire acondicionado e iluminación artificial).
2. Después de determinar para cada ciudad y por orientación los índices mínimos y máximos, se estudia los rangos de valores intermedios en  $\text{kwh/m}^2/\text{año}$  para los rangos de índices globales. Se realizó un análisis estadístico de los resultados, observándose que en la mayoría de los casos, el valor mínimo y el valor máximo se separaban ampliamente de los valores siguientes o anteriores. En cambio los rangos de valores intermedios, para la mayoría de los casos se reparte en forma mas o menor proporcional, con una desviación estándar definida.
3. Con base en lo anterior, y para todos los casos se descartaron el valor mínimo y máximo extremos, para trabajar con los siguientes valores mínimos y máximos. Estos valores representan las 5★ y 1★ respectivamente, es decir los mínimos consumo y los máximos consumos de energía eléctrica. Posteriormente, con estos mismos datos de valores mínimos y máximos (no lo extremos, que se descartaron), se determina la diferencia analítica y este valor se divide entre 3. Este número resultante representa el margen de separación entre la 2★, 3★ y 4★ estrellas. En el gráfico # 2 se presenta en forma esquemática este procedimiento.

**Gráfico # 2. Representación esquemática de la ponderación y jerarquización del sistema de estrellas**



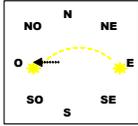
Fuente: Sosa, Maria E. - Elaboración propia.

Los resultados representan los rangos de índices energéticos, jerarquizados y ponderados de las estrategias arquitectónicas para fachadas en edificios con acondicionamiento activo en clima cálido húmedo; organizados para las ocho (8) orientación geográfica y por grupos de estrategias arquitectónica, resultando finalmente un "instrumento" o "Guía de Diseño de Fachadas" de aplicación directa para asistir al Arquitecto para seleccionar estrategias de diseño y/o tecnológicas del sistema de fachadas del edificio que presenten una mejor actuación en relación al comportamiento térmico-lumínico de los espacios interiores y demanda de energía por carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado y por iluminación artificial. En las Tablas # 4 y #5 se presentan los resultados de un grupo de estrategia arquitectónica y una orientación para Caracas y Maracaibo

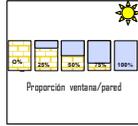
Caracas	COMPORTAMIENTO TERMICO				EVALUACION ENERGETICA					EFICIENCIA ENERGETICA -	
	Temperatura promedio	Factor Respuesta	Transferencia a calor componentes (conducción) Wh/día	Transferencia a calor ventanas (rad. directa) Wh/día	Carga de enfriamiento - kWh/año	Consumo por Carga de enfriamiento kWh/m2/año	Iluminación Natural Prom (hasta 6 mts. prof.) Luxes	Autonomía a Luz Natural (% tiempo)	Consumo por iluminación artificial kWh/m2/año	INDICE (consumo aire acondicionado + iluminación artificial) kWh/m2/año	JERARQUIA DE CLASIFICACION
Estrategia: PROPORCION VENTANA/PARED Fachada OESTE											
0% Ventana 100 % pared	24.0°C	6.73	5066	0	5269.86	13.17	0	0%	11.15	24.32	2 ★
25% Ventana Vidrio Simple Claro 6mm 75% pared	24.0°C	6.09	7190	6359	5636.32	14.09	361	91%	1	15.09	4 ★
50% Ventana Vidrio Simple Claro 6mm 50% pared	24.0°C	5.60	9703	12718	6148.96	15.37	850	100%	0	15.37	4 ★
75% Ventana Vidrio Simple Claro 6mm 25% pared	24.0°C	5.19	12173	19077	6850.55	17.13	1152	100%	0	17.13	3 ★
100% Ventana Vidrio Simple Claro 0% Pared	24.0°C	4.83	14722	26294	7899.51	19.75	1233	100%	0	19.75	3 ★



Ciudad



Orientación



Estrategia Arquitectónica

Tabla # 4. Guía de Diseño de Fachadas

Estrategia Arquitectónica: Proporción ventana/pared-sin parasoles

Ciudad Caracas - Orientación Este

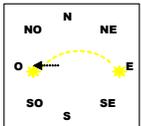
Fuente: Sosa, Ma. Eugenia. "Desarrollo de Método Paramétrico para Determinar Índices de Eficiencia Energética para Fachadas en Edificios con Sistema de Acondicionamiento Activo. Caso Estudio: Edificios de Oficina en Caracas y Maracaibo-Venezuela". Tesis Doctorado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCV – Caracas, Diciembre 2008.

Maracaibo	COMPORTAMIENTO TERMICO				EVALUACION ENERGETICA					EFICIENCIA ENERGETICA		JERARQUIA DE CLASIFICACION	
	Temperatura promedio	Factor Respuesta	Transferencia a calor componentes (conducción) Wh/día	Transferencia a calor ventanas (rad. directa) Wh/día	Sistema Aire Acondicionado	Sistema Iluminación	INDICE (consumo aire acondicionado + iluminación artificial) kWh/m2/año	Autonomía a Luz Natural (% tiempo)	Consumo por iluminación artificial kWh/m2/año	Consumo por Carga de enfriamiento kWh/m2/año	Iluminación Natural Prom (hasta 6 mts prof.) Luxes		Carga de enfriamiento - kWh/año
PROPORCION VENTANA/PARED Fachada OESTE													
0% Ventana 100 % pared	29.8°C	6.73	29320	0	21197.18	52.99	0	0%	11.15	64.14		4	★
25% Ventana Vidrio Simple Claro 6mm marco de aluminio	29.8°C	6.09	40291	9338	24238.94	60.6	314	78.15%	2.3	62.9		5	★
50% Ventana Vidrio Simple Claro 6mm marco de aluminio	29.8°C	5.60	53418	18676	27383.74	68.46	886	100%	0	68.46		4	★
75% Ventana Vidrio Simple Claro 6mm marco de aluminio	29.8°C	5.19	66331	28013	30502.56	76.26	1070	100%	0	76.26		2	★
100 % Ventana Vidrio Simple Claro 6mm marco de aluminio	29.8°C	4.83	79647	39012	34061.86	85.15	1260	100%	0	85.15		1	★



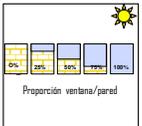
**MARACAIBO**

Ciudad



**NO N NE**  
**O E**  
**SO S SE**

Orientación



Proporción ventana/pared

Estrategia Arquitectónica

Tabla # 5

Guía de Diseño de Fachadas

Estrategia Arquitectónica: Proporción ventana/pared-sin parasoles

Ciudad Maracaibo-Orientación Este

Fuente: Sosa, Ma. Eugenia. "Desarrollo de Método Paramétrico para Determinar Índices de Eficiencia Energética para Fachadas en Edificios con Sistema de Acondicionamiento Activo. Caso Estudio: Edificios de Oficina en Caracas y Maracaibo-Venezuela". Tesis Doctorado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCV – Caracas, Diciembre 2008.

Es evidente la diferencia en los resultados entre Caracas y Maracaibo por la diferencia de clima. Asimismo es importante destacar que una estrategia arquitectónica, en una misma ciudad, por ej. Maracaibo, en una orientación puede obtener 4★, y para otra orientación podría alcanzar una categoría de 2★, evidenciándose su adecuación mayormente para la primera orientación geográfica y no para la segunda. Estos resultados representan razonadas y claras reglas de diseño.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del presente método parte de la necesidad de un diseño integrado entre la envolvente, el clima, el sistema de iluminación y el sistema de aire acondicionado, que permita apreciar la eficiencia real del uso de la energía con alta calidad de los espacios interiores. La eficiencia energética de la envolvente de edificios de altura de oficina en el trópico, dependerá de las estrategias de diseño y tecnológicas en techos y sobre todo en fachadas para estimular un máximo aprovechamiento de la iluminación natural, controlando al mismo tiempo la penetración de calor a través de los componentes traslucidos y opacos, al interior de los espacios construidos. De esta forma se racionaliza el consumo energético y se minimizan los costos económicos por instalación, operatividad y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado e iluminación artificial.

Se estudió el perfil típico de consumo en edificios de oficina, destacando que hay una interrelación directa entre la concepción arquitectónica, el clima y el consumo de energía, así mismo se estableció que los sistemas de aire acondicionado e iluminación artificial representan aproximadamente el 69% del consumo de energía en un edificio de oficina

Se concluye que el consumo promedio de energía en edificios de oficina tiende a disminuir cuando hay "mejores prácticas de diseño", mejores estrategias operativas del edificio, regulaciones energéticas eficientes, la incorporación de "áreas de trabajo inteligentes"; la integración de energía solar o "energía positiva" en la envolvente y con la incorporación de técnicas novedosa en el sistema de aire acondicionado. Un edificio de oficinas con diseño sustentable o bioclimático frecuentemente puede reducir el uso de la energía en un promedio de un 30%.

Como aporte general y específico al conocimiento en el área relacionada con la térmica de las edificaciones y eficiencia energética de la construcción, la investigación desarrollada y aporta dos resultados:

1. El Método Paramétrico desarrollado, el cual permite la determinación de rangos de índices energéticos ponderados y la jerarquización de las estrategias arquitectónicas en fachadas por orientación. La Jerarquización se basa en el "potencial de ahorro", es decir las estrategias arquitectónicas en fachadas, que presenten un menor consumo en

kwh/m<sup>2</sup>/año según los resultados del estudio y de las simulaciones, representan la estrategia arquitectónica mejor desde el punto de vista bioclimática y de eficiencia energética. El método desarrollado permite por medio de un abordaje científico con reglas específicas de procedimiento, ser implementado directamente para otras estrategias arquitectónicas y otras ciudades nacionales y extranjeras con sólo incorporar los datos meteorológicos específicos.

2. un "instrumento" o "Guía de Diseño de Fachadas" de aplicación directa para asistir a los arquitectos en la correcta selección de estrategias de diseño y tecnológicas para ser aplicados en fachadas que aporta una adecuada relación del comportamiento térmico-lumínico de los espacios interiores y su consecuente demanda de energía por carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado y de iluminación artificial en edificios de oficina con acondicionamiento activo ubicados en las ciudades de Caracas y Maracaibo para 8 orientaciones geográficas y 26 estrategias arquitectónicas. Su empleo permite a los arquitectos e ingenieros recibir una retroalimentación de las consecuencias de sus decisiones de diseño o tecnológicas. Este "instrumento" o "Guía de Diseño de Fachadas" será colocado, con acceso libre, en la página web del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción IDEC-FAU-UCV.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFIA

1. Sosa, Ma. Eugenia. **"Desarrollo de Método Paramétrico para Determinar Índices de Eficiencia Energética para Fachadas en Edificios con Sistema de Acondicionamiento Activo. Caso Estudio: Edificios de Oficina en Caracas y Maracaibo-Venezuela"**. Tesis Doctorado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCV – Caracas, Diciembre 2008.
2. Marsh, Dr. Andrew, **ECOTECT™** – University of Western Australia Andrew.Marsh@uwa.edu.au.<http://squ1.com/node/580>. Fecha 2007. Programa y Manual de Uso.
3. Siem, G. Sosa M.E., Hobaica M.E., Nedianni, G. y Villalobo E. **Guía de Operaciones de Ahorro de Energía Eléctrica en Edificaciones Públicas** MEM – IDEC-FAU-UCV. Edición IDEC. Impresión Encre Diseños, Caracas 2002. ISBN 980-00-2053-5. <http://www.arq.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/guiahorroener.pdf>

4. Sosa María Eugenia, Siem Giovanni **Manual de Diseño para Edificaciones Energéticamente Eficientes en el Trópico**, IDEC-FAU-UCV - EDC -FONACIT. Caracas 2004. ISBN: 980-00-2184-1 <http://www.arq.ucv.ve/idec/racionalidad/>
5. [www.thefreedictionary.com/parametric](http://www.thefreedictionary.com/parametric).
6. Real Academia Española, **Diccionario de la Lengua Española** <http://www.rae.es/rae.html>.
7. Graham, Peter. **The Role of Environmental Performance Assessment in Australian Building Design**; ISBN 1-886431-09-4. Special Issue article in: The Future of Sustainable Construction – 2003. Published: 14th May, 2003.
8. Cheung C.K. **CH<sub>2</sub> Energy Harvesting Systems: Economic Use and Efficiency**. Built Environment Research Group (BERG) School of Architecture and Building Deakin University Geelong, Victoria 3217, Australia, 2006. [www.melbourne.vic.gov.au/rsrc/PDFs](http://www.melbourne.vic.gov.au/rsrc/PDFs)

## BIBLIOGRAFIA

- BESC-Building Energy Standards and Codes, <http://www.arch.hku.hk/research/BEER/besc.htm>. Fecha: 14 Mayo 2003.
- Bolin Rob, Sustainability of the Building Envelope *en Whole Building Design Envelope*. PE, Syska Hennessy Group. [http://www.wbdg.org/design/env\\_sustainability.php#MEC](http://www.wbdg.org/design/env_sustainability.php#MEC). Fecha, 2008.
- CBE Berkeley - Centre of the Build Environment. Studying the implications of facade decisions on occupants and building performance. Research on Building Envelope Systems. [http://www.cbe.berkeley.edu/research/research\\_envelope.htm](http://www.cbe.berkeley.edu/research/research_envelope.htm). Fecha 2007.
- Chou, S. K. Energy Efficiency in Building Design. A Seminar Organised By The Building And Construction Authority (Bca) of Singapore, 18 April, 2001.
- Comunidad Europea. Proyecto Europeo Mejores Fachadas. <http://www.bestfacade.com>. Fecha 2007.
- de Souza Léa Cristina; da Silva Antônio Néilson. Evaluating an Alternative Approach to Estimate the Influence of the Orientation of Buildings on Electrical Energy Consumption. PLEA - Passive and Low Energy Architecture- 2004.
- ENELVEN. Ordenanza sobre Calidad Térmica de las Edificaciones en el Municipio Maracaibo. Maracaibo, 2005.

- Energy Star® High-Performance Buildings- A website of the United States Department of Energy (DOE), Office of Building Technology, State and Community Programs, High-Performance Commercial Buildings - A Technology Roadmap y DOE 2.2: <http://doe2.com/>.
- Francis Allard, Hobaica, Maria E. Concepto de Confort Térmico y predicciones del Comportamiento de Edificaciones. Tecnología y Construcción N° 9, p.p. 27-40, 1993.
- Ghiaus, C. Allard, F. (2003) Statistical Interpretation of the Results of Building Simulation and its use in Design Decisions, Building Simulation'03 Conference, Eindhoven, The Netherlands, 387-390, 2003.
- HOLCIM Foundation. Office Building in Costa Rica, Measuring up to criteria of sustainable construction. Editor Edward Scwarz, 2006.
- Hyde. R, y Pedrini, A., An Architectural Design Tool (LTV) for Non-domestic Buildings in Tropical and Subtropical Regions: Critique of the Passive Zone Concept for Energy Efficiency Modelling" in proceedings of ANZASCA Conference, Sydney University. November 1999.
- Kolokotroni M., Robinson-Gayle S., Tanno S. and Cripps. Environmental Impact Analysis for Typical Office Facades. Building Research & Information 32 (1), 2–16. January–February, 2004.
- La Roche Pablo y Machado, Maria V. Materiales y Estrategias de Diseño apropiadas para Edificios en Climas Cálidos. Publicado en: Confort Térmico y Comportamiento Térmico de Edificaciones. Conferencias y ponencias del 1er Simposio venezolano de Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones COTEDI'98. Coordinación de la edición IDEC- FAU-UCV. Caracas- Venezuela 1998.
- National Institute of Building Sciences (NIBS). Building Envelope Design. Fecha 2007 - <http://www.wbdg.org/design/envelope.php>.
- Nediani G., Sosa M.E. y Siem G. Las Normativas Energéticas para Edificaciones y sus posibles Aplicaciones en Venezuela. Publicado en la Conferencia Internacional sobre confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones COTEDI 2000, Maracaibo, Venezuela 2000.
- Sosa, Maria Eugenia.; Siem, Geovanni. Criterios de Diseño para Edificaciones Energéticamente Eficientes en Venezuela; Revista de la Facultad de ingeniería, Vol. 19 – N° 3, UCV, 2005. <http://revele.com.ve/programas/indice/ria.php?id=13146&rev=fiuc>