

Hacia una normativa sobre la calidad térmica de las edificaciones en Maracaibo* (Normativa de Calidad Térmica de las Edificaciones)

Nastia Almao / Verónica Reyes / Carlos Quirós / Alex Luzardo
ENELVEN / LUZ

Resumen

Se presenta una metodología para evaluar el diseño energético de la envolvente de una edificación, bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Maracaibo, que servirá como base para el diseño de una Ordenanza Municipal que regule la calidad térmica de las edificaciones. La metodología esta basada en la determinación del Valor de Transferencia Térmica Global de la edificación. Se elaboraron las bases de datos requeridas para su determinación y, se dan recomendaciones sobre los límites de cumplimiento. Se presentan los objetivos, estructuración, y alcances que se recomienda tenga la ordenanza de calificación térmica de las edificaciones del municipio Maracaibo.

Abstract

A methodology to evaluate de energetic design of a building envelope, under Maracaibo city climatic conditions is presented. It will be the support of a municipal code for building design, which will regulate the building envelope thermal quality. It is based on the building Overall Thermal Transfer Value calculation. The required data base for its determination were constructed and recommendations about criteria compliance are given. Finally, the objective, general content and scope recommended to be included in the Maracaibo new municipal energy code are presented.

Maracaibo es una ciudad con características ambientales muy particulares. Debido a su ubicación geográfica, posee durante todo el año un clima caracterizado por alta temperatura y humedad. En los últimos 25 años el crecimiento de la ciudad de Maracaibo se ha caracterizado por una rápida expansión urbana que ha originado profundos cambios en su calidad ambiental. Este crecimiento ha sido regido por un Plan de Desarrollo Urbano que no contempla variables sobre la calidad térmica de las edificaciones. La aplicación de este instrumento legal y la no consideración de técnicas bioclimáticas en el diseño han originado edificaciones térmicamente inadecuadas, obligando a sus usuarios a instalar equipos mecánicos acondicionadores de aire de gran capacidad para lograr ambientes más confortables, generando un uso intensivo del mismo y elevando el consumo de electricidad.

En consecuencia, Maracaibo representa la ciudad con mayor consumo eléctrico residencial, tanto en Venezuela como en toda América Latina. Esta circunstancia ha dado lugar a la realización de diferentes trabajos promovidos por la Corporación Energía Eléctrica de Venezuela (ENELVEN), relacionados con recomendaciones para mejorar la calidad térmica del espacio urbano y de las edificaciones, los cuales se pueden considerar como antecedentes de esta investigación. Cabe señalar que estos trabajos han generado cambios significativos en la arquitectura local, sin embargo, sólo una normativa de cumplimiento obligatorio, que regule la ganancia térmica a través de la envolvente de las edificaciones, ofrecerá una respuesta contundente a los problemas de calidad térmica y consumo energético.

* Los autores desean expresar su agradecimiento al Fondo Nacional de Tecnología e Innovación FONACIT, adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología, y a la C.A. Energía Eléctrica de Venezuela-ENELVEN, por el financiamiento de este proyecto, así como a la Comisión de Mejoramiento de la Calidad Térmica de las Edificaciones por sus valiosos aportes y comentarios.

Descriptores:

Calidad térmica de las edificaciones; Normativa de Calidad Térmica; Edificaciones en Maracaibo (Venezuela)

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 21-III, 2005, pp. 19-29.
Recibido el 24/01/06 - Aceptado el 23/02/06

Cualquier normativa de esta naturaleza requiere de un método de cálculo que cuantifique la ganancia térmica a través de la envolvente de la edificación para el establecimiento de límites que sirvan como parámetros de cumplimiento.

En este trabajo se presenta una metodología de cálculo que permitirá la evaluación del diseño energético de una envolvente, considerando las condiciones climáticas locales, el comportamiento térmico de las configuraciones constructivas de paredes y techos, el acabado externo de los mismos, el tipo y la dimensión de los ventanajes, las protecciones solares externas y la temperatura interior de diseño del sistema de acondicionamiento ambiental, y que servirá de base para el establecimiento de una normativa sobre la calidad térmica de las edificaciones en Maracaibo. Igualmente, se presentan de manera resumida los objetivos, el contenido, el alcance y los incentivos propuestos para la elaboración de la Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones (OCATED) en el municipio Maracaibo.

Para su desarrollo, se hizo en primer lugar una revisión de la normativa local de construcción y de algunos códigos energéticos y normas internacionales. Luego, se seleccionó el método de cálculo, se elaboraron las bases de datos requeridas para los mismos y, finalmente, se elaboraron recomendaciones sobre los límites de cumplimiento.

Revisión de Normas: nacionales y de otros países

Como marco de referencia para el establecimiento de la metodología, se revisó la Ordenanza de Zonificación de la Ciudad de Maracaibo; luego, a nivel nacional, la Norma Sanitaria para Edificaciones, y se pudo constatar, coincidiendo con trabajos realizados por otros autores (cf. Siem y Sosa, 2000), que no existe ningún requerimiento vinculado ni a la eficiencia energética ni a la calidad térmica de las edificaciones. A continuación se estudiaron varias normativas internacionales, seleccionando algunas correspondientes a localidades con condiciones climáticas similares a las de Maracaibo, tales como el Código de Edificaciones de Pakistán (1990), el Código de Edificaciones de Jamaica (1994) y el Código de Eficiencia Energética para la Construcción de Edificaciones del Estado de Florida (1998). También se analizó el ASHRAE/IES Standard 90.1-1989, poniendo especial atención en aquellos requerimientos establecidos para ciudades como San Juan de Puerto Rico y Guantánamo. En esta revisión se pudo observar que, en general, los mencionados Códigos

regulan todos los sistemas de la edificación relacionados con el consumo de energía, como iluminación, distribución y potencia eléctrica, sistemas de ventilación y aire acondicionado, sistemas y equipamientos auxiliares, equipos de calentamiento, equipos y sistemas de servicio de agua caliente. Con excepción del Código de Florida, las normativas fueron establecidas como de aplicación opcional y forman parte de un proceso de educación y adaptación para la elaboración en el futuro de un instrumento legal de carácter obligatorio. La norma ASHRAE 90.1-1989 muestra las pautas para el diseño de edificaciones energéticamente eficientes y sirve como referencia para la mayoría de los códigos revisados. Tanto en los códigos como en el estándar se establecen diferentes métodos para verificar el cumplimiento de la normativa. Los más importantes son los denominados Método Preestablecido y Método de Comportamiento Térmico del Sistema. En el primero, la evaluación se realiza a través de tablas que contienen paquetes de alternativas de construcción de la envolvente, presentando los requerimientos que deben satisfacer las paredes y techos. El segundo método requiere un programa de cálculo, con modelos matemáticos, para permitir mayor flexibilidad en la evaluación de diseños de edificaciones o envolventes más complejas. La determinación de la ganancia térmica a través de las superficies exteriores se realiza mediante la introducción de datos característicos de la envolvente de la edificación a evaluar. Es requerido el desarrollo de este programa de cálculo para poder elaborar las tablas que constituyen el método preestablecido. Ambos métodos se basan en información ya tabulada y procedimientos de cálculo descritos por la ASHRAE (1997). La norma ASHRAE 90.1-1989 requiere que, en el caso de materiales o de configuraciones constructivas cuya información no exista en la data plasmada en sus manuales, sea solicitada al fabricante. La información requerida debe provenir de pruebas de laboratorios certificados, siguiendo las normas ASTM correspondientes, también descritas en la norma o estándar.

Selección del método de cálculo

En este trabajo se seleccionó el Método de Comportamiento Térmico, basado en la determinación del Valor de Transferencia Térmica Global (VTTG) de paredes y techos, siguiendo básicamente la metodología propuesta por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning

Engineers), contenida en la versión 1997 del ASHRAE/IES Standard 90.1-1989. El VTTG de una edificación depende de su orientación, el tipo de configuración constructiva de la porción opaca, el tipo de ventanaje y el tipo de protecciones solares externas.

Valor de Transferencia Térmica Global

El Valor de Transferencia Térmica Global (VTTG) representa la ganancia térmica máxima a través de las superficies exteriores de una edificación, fijando una temperatura interna de veinticinco grados centígrados (25°C). Se evalúa bajo condiciones climáticas establecidas como extremas para la ciudad de Maracaibo y se determina en forma separada para paredes y techos, por unidad de área total.

La evaluación se realiza a través de la introducción de datos de la envolvente de la edificación a evaluar en un programa de cálculo especialmente diseñado para la determinación del VTTG. El valor resultante se presenta desglosado para paredes y techos y, luego de establecidos los límites, permitirá determinar si el diseño califica o no. El VTTG está basado en:

- Diferencia de Temperaturas Equivalente (DT_{eq}), la cual toma en cuenta la ganancia solar de la configuración, a través del valor del factor de atenuación y el retraso térmico.
- Propiedades térmicas, físicas y ópticas de la porción opaca de las paredes y techos.
- Propiedades térmicas y ópticas de la porción transparente de paredes y techo.
- Proporción de área de ventanas en paredes y de tragaluzes en techos.
- Factor de proyección de sombra externa.
- Orientación de cada pared.
- Temperatura interna de diseño.

Las ecuaciones para determinar el Valor de Transferencia Global (VTTG) por unidad de área total de pared o techo, son:

Para paredes: (1)

$$VTTG_i = U_i (DTE_i F_{cop} A_c)_i (1 - RVP_i) + FS_v F_{cv} RVP_i CS_x + U_v RVP_i DT$$

donde:

$VTTG_i$ es el valor de transferencia térmica global para una orientación específica de pared o fachada i (en w/m^2).

U_i es el coeficiente global de transferencia de calor o transmitancia térmica de la porción opaca de la pared i , (en $w/m^2 K$).

DTE_i diferencia de temperatura equivalente entre el exterior y el interior que incorpora los efectos de ganancia solar en la pared opaca de color oscuro.

F_{cop} factor de corrección por orientación de la porción opaca de la pared.

A_c coeficiente de absortividad de la superficie externa de la porción opaca de la pared para corregir por color.

DT diferencia entre la temperatura exterior de diseño (34°C) y la temperatura interior de confort, establecida en 25°C.

RVP_i es la relación de área de ventanaje a área total de la pared i .

FS_v factor solar para las superficies verticales, fijo en 316.68 w/m^2 , el cual corresponde al factor de ganancia solar máximo promedio anual de las ocho orientaciones, en Maracaibo.

F_{cv} es el factor de corrección por orientación de los ventanajes.

CS_x es el coeficiente de sombra del ventanaje, ya corregido por sombra exterior: $CS_x = CS_v * CSE$, siendo el CSE el factor de corrección por sombra externa, cuyo valor depende del tipo y dimensiones de la protección solar. El valor de CSE es igual a 1 si no se consideran protecciones solares externas.

U_v transmitancia térmica del ventanaje de la pared i (en $w/m^2 K$).

El VTTG promedio de paredes se determina como:

Para techos:

$$VTTG_p = \frac{\sum VTTG_i A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

donde:

$$VTTG_t = U_t (DTE Ac)(1 - RTT) + FS_t RTT CS_{xt} + U_t RTT DT \quad (3)$$

$VTTG_t$ es el valor de transferencia térmica global del techo (en w/m^2);

DTE Diferencia de temperatura equivalente entre el exterior y el interior que incorpora los efectos de ganancia solar de la porción opaca de color oscuro en el techo;

RTT es la relación de área de tragaluz a área total del techo;

U_t es el coeficiente global de transferencia de calor o transmitancia térmica de la porción opaca del techo (en $w/m^2 K$);

DT Diferencia entre la temperatura exterior de diseño (34.0 C) y la temperatura interior de confort, establecida en 25 C;

FS_t Factor solar, para superficies horizontales, corresponde al valor horario promedio anual de los máximos, fijo en 639.46 w/m^2 ;

A_c Coeficiente de absortividad de la superficie externa de la porción opaca del techo para corregir por color;

CS_{xt} es el coeficiente de sombra del tragaluz, ya corregido por sombra exterior;

U_f es la transmitancia térmica del tragaluz, en $w/m^2 K$.

Para su cálculo se requiere construir tres bases de datos: la base de datos climáticos; la base de datos de materiales y sistemas constructivos en el mercado de la construcción local con sus respectivas propiedades termo-físicas, y la base de datos de protecciones solares.

Datos climáticos

Para la elaboración de esta base de datos se utilizaron los registros horarios de temperatura ambiente, radiación solar total y radiación difusa sobre superficies horizontales de todos los meses correspondientes a los años 1997 al 1999, medidos y suministrados por la estación meteorológica urbana del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura de La Universidad del Zulia IFA-LUZ. Estos datos fueron procesados para determinar los valores promedio horario correspondientes a cada mes. A partir de esta data, se procedió a calcular la radiación directa, difusa y reflejada que recibían los planos verticales, para ocho orientaciones: Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste; el factor de ganancia solar y la temperatura sol-aire para superficies de color oscuro y de color claro, para cada mes del año.

Datos de materiales y sistemas constructivos en el mercado de la construcción local

Para la evaluación del comportamiento térmico de una determinada configuración constructiva se requiere conocer los valores del espesor, densidad, calor específico y conductividad térmica (o resistencia térmica equivalente) de cada capa de material que conforma el ensamblaje; además de la realización de mediciones experimentales de temperaturas en diferentes puntos especialmente seleccionados en el volumen de la edificación o, en su defecto, la realización de simulaciones informáticas basadas en técnicas avanzadas de computación. Los resultados permitirán determinar, para cada ensamblaje constructivo, el factor de atenuación y el retraso térmico, y conocer cómo varía la temperatura del aire interior en el transcurso del día, bajo las condiciones climáticas locales.

En Venezuela no existen laboratorios acreditados que determinen las propiedades termo-físicas anteriormente mencionadas de las diferentes configuraciones utilizadas en el mercado local de la construcción, y la única información que los fabricantes normalmente ofrecen es referente al peso y —en algunos casos (nuevas tecnologías)—

la resistencia térmica. En la literatura especializada es posible obtener el valor de estas propiedades para algunos materiales de uso común en la construcción internacional, tales como, arcilla, morteros, concreto de diferentes densidades, aislantes, maderas, impermeabilizantes y algunos bloques, pero no incluyen la amplia gama de bloques y zapas que se fabrican en nuestro país para la construcción de paredes y techos, ni los diferentes tipos de impermeabilizantes. Mientras no se tengan datos resultantes de mediciones realizadas por laboratorios especializados y certificados, una forma aproximada de obtenerlos es calculando la resistencia equivalente mediante el método de trayectorias en serie y paralelo de planos isotérmicos, descrito por la ASHRAE (1997), a partir de los materiales básicos cuyas propiedades se encuentran tabuladas.

Diferencia de Temperatura Equivalente DTE de las configuraciones constructivas de paredes y techos utilizadas en la región

Uno de los métodos para determinar la ganancia de calor y carga de enfriamiento en un determinado instante de tiempo, en cálculos de sistemas de aire acondicionado, es el método TETD/TA, descrito en el Fundamentals ASHRAE (1997), el cual está basado en la diferencia de temperatura equivalente. Este es el concepto utilizado en este trabajo para determinar el VTTG. La ecuación utilizada para el cálculo del DTE, a cada hora, es:

donde:

$$DTE = T_{sa} - T_i + FA(T_{sa,t-\delta} - T_{sa}) \quad (4)$$

T_{sa} es la temperatura sol-aire promedio;

T_i es la temperatura interna de confort;

FA es el factor de atenuación efectivo;

$T_{sa,t-\delta}$ es la temperatura sol-aire δ horas antes de la hora de cálculo de la diferencia de temperatura equivalente;

δ son las horas de retraso térmico.

El FA (factor de atenuación efectivo) representa la atenuación de la onda correspondiente a la variación transitoria periódica de la temperatura superficial externa de una pared expuesta a una variación periódica del flujo de

calor que experimenta la misma, debido al almacenamiento térmico del material; depende del calor específico, densidad y conductividad térmica del material y es calculado como:

$$FA = \frac{(T_{max} - T_{min})_i}{(T_{max} - T_{min})_o} \quad (5)$$

donde:

$(T_{max} - T_{min})_i$ es la amplitud de la onda de temperatura, correspondiente a la superficie interior de la pared o techo;

$(T_{max} - T_{min})_o$ es la amplitud de la onda de temperatura, correspondiente a la superficie exterior de la pared o techo.

Se realizaron simulaciones de comportamiento térmico con el programa EVITA (Almao et al., 1998), basado en diferencias finitas, para determinar la temperatura superficial interna y externa de cada configuración, y, a partir de esos datos, determinar el correspondiente factor de atenuación y retraso térmico de cada pared y techo. Luego, utilizando la data horaria promedio mensual de temperatura sol-aire, se determinaron en hojas de cálculo los valores horarios de DTE para superficie horizontal, en el caso de techos, y para las ocho orientaciones en el caso de paredes, para cada mes. Se construyó una hoja resumen que muestra los valores máximos y la hora a la cual ocurren, para cada mes y para cada orientación.

Estos cálculos han sido realizados para 38 configuraciones constructivas de paredes y 114 configuraciones constructivas de techo, de color oscuro ($\alpha = 0,8$).

El factor de corrección por orientación de superficies opacas se calculó para cada configuración de pared, los cuales resultaron muy parecidos, razón por la cual se decidió promediar todos los valores obtenidos para cada orientación y obtener así un único factor de corrección de superficies opacas, por orientación, los cuales se muestran en cuadro 1.

A partir de los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones constructivas de techos y paredes se obtuvieron ecuaciones que se ajustan a la data de DTE vs U/CT, utilizando como parámetro el peso por m². Esto

se hizo con la finalidad de disponer de correlaciones que permitieran estimar el valor del DTE si se presenta una configuración que no se encuentre en la base de datos.

Factor de corrección del DTE por color

Todos los parámetros considerados para el cálculo del VTTG, relacionados con la ganancia solar de la envolvente, han sido determinados para un color oscuro de la superficie exterior. Por lo tanto, se requiere hacer una corrección de los DTE con un factor de absorptividad denominado A_c , que es simplemente la relación entre la absorptividad del color real y aquella correspondiente al color oscuro. En consecuencia, tendrá un valor igual a 1 para aquellos colores de absorptividad igual a 0,8 y mayor que uno para colores con valores de absorptividad mayores que 0,8.

Si en una misma fachada hay diferentes acabados o colores, el VTTG de dicha pared se debe calcular tomando en cuenta el porcentaje de área de pared que tiene cada color. Para ello se determina un A_{c_i} ponderado en área de porción opaca, de acuerdo a la siguiente ecuación:

donde:

$$A_{c_i} = \sum A_{c_j} RC_j \quad (6)$$

RC_j es la relación entre el área de color j y el área de la porción opaca de la pared i (A_j/A_i); y,

A_{c_j} es el coeficiente de absorptividad correspondiente al color j.

Determinación del valor de U_v y Cs_v

La transmitancia térmica y el coeficiente de sombra de los ventanajes se toman de la data suministrada por los fabricantes y su valor depende del tipo, color y número de vidrios que tenga el ventanaje bajo consideración. Igualmente, existe data de U y CS para las películas adhesivas protectoras de vidrio.

Cuadro 1
Factor de orientación de la porción opaca de paredes

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
0,80	0,86	1,04	1,04	0,99	1,16	1,14	0,97

Diferentes configuraciones constructivas en una misma pared o techo

Si existen diferentes configuraciones constructivas en una misma fachada o techo, se requiere determinar un valor de U y DTE equivalente, para ser sustituido en la correspondiente ecuación de cálculo del VTTG. Para cada configuración existe un valor determinado de U y DTE, por lo tanto debe determinarse, en primer lugar, un valor ponderado en área de porción opaca del producto de U por DTE; luego, un valor ponderado en área de porción opaca de U, entre el cual se divide el producto, para obtener el valor de DTE equivalente que será corregido por orientación en la ecuación (1 y/o 2). Los cálculos se harán de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$U_j DTE_j = \frac{\sum U_i A_i DTE_i}{\sum A_i} \tag{7}$$

donde:

A_i es el área de la sección i con determinada técnica constructiva;

U_i y DTE_i son los valores de U y DTE de la técnica constructiva de la sección i.

El valor de U a utilizar en el segundo término de la ecuación (1), es el U ponderado en área de la sección opaca, esto es,

$$U_{pj} = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \tag{8}$$

y el de DTE de la pared correspondiente será:

$$DTE_{pj} = \frac{U_j DTE_j}{U_{pj}} \tag{9}$$

Factor Solar para determinar la ganancia solar a través del ventanaje (FC_v)

El factor solar para determinar la ganancia solar a través del ventanaje (ventanas y tragaluces) corresponde al valor horario máximo promedio anual de energía solar incidente sobre las ventanas (paredes) y superficie horizontal, tragaluces (techo), los cuales deben determinarse a partir de la data procesada de radiación solar, descrita anteriormente. Los factores de corrección obtenidos, por orientación, de los ventanajes FC_v , se muestran en el cuadro 2.

Determinación del factor de corrección por sombra externa

El coeficiente de sombra externa (CSE) relaciona la ganancia térmica solar a través de una abertura acristalada provista de dispositivos de protección solar con respecto a la ganancia obtenida en el mismo ventanaje sin los elementos proyectantes de sombra, por lo tanto será igual a 1 cuando no se consideren protecciones solares externas. Su valor varía para cada hora del día, dependiendo de la orientación del ventanaje y del tipo de protección solar.

Las ecuaciones que permiten estimar el CSEt para una determinada ventana parcial o totalmente sombreada por una protección solar en una orientación específica y a una determinada hora, es la siguiente:

$$CSE_t = (IBF_t((AAB - ASV_t) / AAB) + (IDF_t + IRF_t)) / ITF_t \tag{10}$$

donde:

CSE_t es el valor del coeficiente de sombra exterior para una orientación específica de una ventana a la hora t.

IBF_t irradiancia solar directa incidente a la hora t, sobre la superficie de la fachada donde se ubica la ventana, expresada en W/m^2 .

ASV_t área de la sombra proyectada por la protección solar sobre la ventana (en m^2) a la hora t.

AAB área de la abertura a evaluar (en m^2).

IDF_t irradiancia solar difusa incidente a la hora t, sobre la superficie de la fachada donde se ubica la ventana expresada en W/m^2 .

Cuadro 2
Factor de corrección por orientación de los ventanajes.

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
0,64	0,78	1,10	1,07	0,92	1,21	1,35	0,93

IRF_t irradiancia solar reflejada incidente a la hora t, sobre la superficie de la fachada donde se ubica la ventana expresada en W/m².

ITF_t irradiancia solar total incidente a la hora t, sobre la superficie de la fachada donde se ubica la ventana expresada en W/m².

En la ecuación para determinar el VTTG de paredes para cada orientación, el valor del CSE a sustituir corresponde al CSE promedio anual, considerando las horas de carga térmica máxima para cada uno de los meses del año (ver cuadro 3). Se determina como:

Se determinaron los CSE para los siguientes tipos de protección solar: alero horizontal, aleta vertical, mixta y anular.

$$CSE_{prom} = (CSE_1 + CSE_2 + L + CSE_{12}) / 12 \quad (11)$$

Establecimiento de los límites

Se seleccionó un prototipo de edificación que será denominado Edificación de Referencia, el cual corresponde a un volumen con relación de aspecto 1:1,5, con su eje mayor orientado Este-Oeste, considerada la relación de aspecto conveniente para mínima ganancia solar en nuestra latitud (Quirós, 1995; Nediani, 1998). Para determinar el límite correspondiente a techos, se estableció la construcción tradicional para las paredes, o sea, bloques de arcilla de 9 cavidades frisados a ambos lados, 10% de ventanaje con vidrio claro y un acabado de color medio, lo cual garantiza una ganancia mínima aceptable a través de las paredes. Se calcularon valores de VTTG de las diferentes configuraciones constructivas de techos existentes

en el mercado local. Para cada uno de ellos se determinó la capacidad de enfriamiento requerida para lograr una temperatura de confort de 25°C, en las condiciones pico de ganancia solar a través de las superficies exteriores.

Al analizar las losas nervadas de espesor mayor de 15cm, construcción tradicional de techos pesados, se determinó que se requieren en el orden de 244,42 BTU/h/m² de enfriamiento mecánico para satisfacer la carga debido al techo. Al colocar poliestireno expandido de 2,54 cm de espesor y densidad mayor o igual que 15 kg/m³, protegido con una capa delgada de mortero sobre la losa, se logra disminuir esta capacidad de enfriamiento requerido en un 77%. Esta opción requiere una inversión adicional de 13.500 Bs/m² (7 US\$/m²) de construcción si la vivienda ya está construida, y de 3.000 Bs/m² (1,56 US\$/m²) si se va a construir. En el caso de la vivienda a construir, existirá un ahorro mayor de 50% en inversión inicial por equipo de aire acondicionado, y un ahorro anual en consumo de energía eléctrica en la misma proporción en que disminuyó la carga. Los valores de VTTG obtenidos con esta opción de aislamiento son menores que 25w/m². Si se considera un valor de 300 US\$ por tonelada de refrigeración requerida, se estima que el período de retorno simple de la inversión es menor de 1 año (10 meses), lo cual, en términos económicos, es considerado una muy buena inversión (costo de la energía eléctrica 0,03 US\$/kwh).

Los resultados correspondientes a losas de menor espesor (10 cm a 15 cm) indican valores mayores de BTU/h/m² de enfriamiento mecánico. El valor promedio está en el orden de 404 BTU/h/m², y al colocar una capa de aislamiento de 2,54 cm se obtienen reducciones de orden menor (26,51%). Los valores de VTTG disminuyen pero resultan mayores que 30 w/m². Se consideró la opción de colocar poliestireno de 5,08 cm, cuya inversión

Cuadro 3
Horas de carga térmica máxima para cada mes del año para las diferentes orientaciones de las fachadas en periodo de asoleamiento

Mes	N	S	E	O	NE	NO	SE
Enero		13,5	10,5	16,5	9,5	16,5	10,5
Febrero		13,5	10,5	16,5	10,5	16,5	11,5
Marzo		13,5	10,5	16,5	10,5	16,5	10,5
Abril	11,5	12,5	10,5	16,5	10,5	16,5	10,5
Mayo	13,5		10,5	16,5	10,5	15,5	10,5
Junio	12,5		9,5	16,5	11,5	15,5	10,5
Julio	13,5		9,5	16,5	10,5	16,5	10,5
Agosto	13,5	12,5	10,5	16,5	10,5	16,5	10,5
Septiembre		12,5	10,5	16,5	10,5	16,5	10,5
Octubre		11,5	10,5	16,5	9,5	15,5	10,5
Noviembre		12,5	9,5	16,5	9,5	16,5	10,5
Diciembre		12,5	10,5	16,5	9,5	16,5	10,5

■ El área sombreada corresponde a períodos sin asoleamiento en las fachadas Norte y Sur.

adicional es 1.500 Bs/m² (0,78 US\$/m²), con respecto al de 2,54 cm. De esta forma, el VTTG pasa a ser menor que 20 w/m² y los porcentajes de reducción de enfriamiento están en el orden de 87%. Estos resultados son para techo oscuro. Este análisis indica que seleccionar 25 w/m² como límite superior de VTTG en techos garantiza una reducción significativa en capacidad de enfriamiento requerida (y, en consecuencia, en consumo de energía eléctrica), logrado con una inversión adicional por parte del constructor de entre 5% y 8% más, pero con un beneficio significativo para el usuario de la vivienda en relación con el consumo de energía eléctrica. Este límite permite incluir una amplia gama de techos existentes en el mercado local, así como también las nuevas tecnologías que garantizan un alto grado de aislamiento. En el caso de los techos livianos, con peso menor de 145 kg/m², los valores de BTU/h/m² requeridos para satisfacer la carga debido al techo pueden ir desde 360 BTU/h/m² hasta 700 BTU/h/m². Por lo tanto, se requiere que el aislamiento externo con poliestireno sea de 2 plg, para cumplir con el límite de 25 w/m², con lo cual se logra reducir la carga térmica a través del techo en más de 84%. La inversión adicional es de 15.000 Bs/m² (7,8 US\$/m²), lo cual representa aproximadamente 20% más para el constructor, pero con beneficio para el usuario de la vivienda.

En el caso de las paredes, bajo el mismo prototipo, se realizaron cálculos de VTTG y capacidad de enfriamiento requerido para diferentes configuraciones cons-

tructivas, con el techo construido con un sistema que garantiza una ganancia mínima a través del mismo. Se establecieron límites en porcentaje de ventana para la peor y para la mejor configuración desde el punto de vista térmico, así como también para la construcción tradicional con bloques de arcilla de 15 cm de espesor. En el cuadro 4, se muestra un resumen de los resultados obtenidos para tres casos: concreto armado, bloque de arcilla y sandwich de concreto y poliestireno; y, en el caso de la construcción tradicional, se presenta para diferentes valores de porcentaje de ventanaje de vidrio claro. En este caso, todas las fachadas tienen el mismo porcentaje de ventanaje, pero es el valor del VTTG ponderado en área el que se compara con el valor límite, lo cual permite diferentes porcentajes en las diferentes fachadas. Al fijar 60 w/m² como límite se tiene una reducción de 40% en requerimiento de capacidad de enfriamiento con respecto al concreto. Para la construcción tradicional, con un acabado exterior de paredes de color medio, se puede aumentar este porcentaje de ventanaje cambiando el tipo de vidrio y colocando protecciones solares externas. El valor del VTTG límite corresponde a 10% de ventanaje en la construcción tradicional, de color medio y es coherente con el valor exigido en códigos de otros países.

Un resumen de los límites permitidos en propiedades térmicas y ópticas, para cumplir con el valor límite del VTTG de techo y paredes se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 4
Resumen de resultados de VTTG de paredes

Configuración constructiva de paredes	Porcentaje ventanas de vidrio claro	VTTG (w/m ²)	BTU/h/m ²
Concreto armado; espesor 10 cm	10	100,42	342,65
Bloque de arcilla; espesor 15 cm	10	60,26	205,60
Bloque de arcilla; espesor 15 cm	20	91,5	312,59
Bloque de arcilla; espesor 15 cm	30	122,74	418,78
Sandwich de concreto y poliestireno; espesor 15 cm	10	38,46	131,24

Cuadro 5
Límites en propiedades térmicas y ópticas

Techos Pesados (Peso > 145 kg/m ²)			
Parte	% del área	U (w/m ² K)	CS
Opaca	80 - 100	0,63 - 1,15	-----
Transparente	20 - 0	5,91	0,95
Techos Livianos			
	Peso ≤ 145 kg/m ²	U < 0,67 w/m ² K	0,625 ≤ Ac ≤ 1
Paredes masivas Ac ≤ 0,7			
Opaca	60-90	0,64 - 2,07	-----
Transparente	40-10	5,91	0,3 - 0,95

A continuación se hace una presentación resumida de los objetivos, contenido e incentivos propuestos para la elaboración de la Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones en el Municipio Maracaibo OCATED.

Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones en el municipio Maracaibo OCATED

El objetivo de la Ordenanza es garantizar que las condiciones de diseño y construcción de la envolvente de las edificaciones cumplan con los límites del Valor de Transferencia Térmica Global (VTTG) de techo y paredes establecidos para el municipio Maracaibo, con el fin de procurar condiciones térmicas confortables, logrando la reducción del consumo de energía eléctrica por el uso de equipos de aire acondicionado y la disminución de la contaminación ambiental.

Contenido de la Ordenanza

La ordenanza presentará como contenido 11 títulos, una exposición de motivos y cuatro anexos que permitirán detallar los cálculos involucrados en un programa que acompañará la misma para facilitar las evaluaciones. El contenido general está estructurado de la siguiente forma:

Exposición de motivos.

- Título I. Del Objeto.
- Título II. De las disposiciones generales
- Título III. De las definiciones
- Título IV. De los requisitos para la obtención de la Certificación de Calidad Térmica
- Título V. De la Metodología de Cálculo
- Título VI. De los límites establecidos
- Título VII. De las disposiciones complementarias
- Título VIII. De los incentivos.
- Título IX. De las sanciones
- Título X. De las disposiciones transitorias
- Título XI. De las disposiciones finales.

Anexo n° 1: Representación gráfica de las orientaciones establecidas para paredes y ventanas.

Anexo n° 2: Detalles del método de cálculo del Valor de Transferencia Térmica Global (VTTG).

Anexo n° 3: Representación gráfica y nomenclatura de las Protecciones Solares.

Anexo n° 4: Tabla de incentivos por calificación especial.

Aspectos más relevantes de la OCATED

Es el primer instrumento legal elaborado en el país, relacionado con la calidad térmica de edificaciones y el confort de sus ocupantes.

1. Establece límites para la transferencia de calor a través de las superficies exteriores de la edificación, los cuales pueden ser alcanzados sin coartar la creatividad en el diseño.
2. Los límites establecidos consideran las características del clima local y de los sistemas y materiales constructivos utilizados en el municipio.
3. Incluye un programa computacional denominado PROCATED, que facilita la evaluación de la edificación.
4. Instrumenta un régimen de incentivos consistentes en la Calificación Especial Urbana de Oro, Plata y Bronce, por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU), acompañados según la calificación de incentivos fiscales.

Alcances

Los alcances de la aplicación de la ordenanza son:

1. Es aplicable a nuevas edificaciones así como a remodelaciones de edificaciones existentes.
2. Es aplicable a edificaciones para uso residencial, comercial, educativo, recreativo, turístico, asistencial.

Régimen de Incentivos

El propósito de los incentivos, es el de estimular el diseño y la construcción de edificaciones con una calidad térmica mayor a la exigida por la norma. Para ello se establece una certificación especial que reconoce el esfuerzo adicional para la contribución en el uso eficiente de la energía eléctrica a través de una escala de calificación que mejora la calidad térmica exigida por la norma entre 10% y 30%. Se establecen dos tipos de incentivos: incentivos urbanos e incentivos fiscales.

1. Incentivos Urbanos.

Los incentivos urbanos están diseñados para reconocer el esfuerzo adicional que hace el propietario de la obra para que ésta logre un Valor de Transferencia Térmica Global de paredes y techo menor que el límite máximo establecido en ordenanza. Será otorgado por la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU). Esta Calificación Especial Urbana podrá colocarse en la fachada principal de la obra mediante una placa para informar a terceros y podrá ser utilizada como herramienta de mercadeo.

La Calificación Especial Urbana será otorgada de acuerdo a los siguientes términos:

a) **Bronce:** cuando el VTTG de paredes y techo del edificio evaluado resulte entre 10% y 20% menor que los límites aprobatorios; es decir, el valor para paredes debe ser mayor que cuarenta y ocho vatios por metro cuadrado ($48,00 \text{ W/m}^2$) y menor o igual a cincuenta y cuatro vatios por metro cuadrado ($54,00 \text{ W/m}^2$); y para techos, debe ser mayor que veinte vatios por metro cuadrado (20 W/m^2) y menor o igual que veintidós coma cincuenta vatios por metro cuadrado ($22,50 \text{ W/m}^2$).

b) **Plata:** cuando el VTTG de paredes y techo del edificio evaluado resulte entre 20% y 30% menor que los límites aprobatorios; es decir, el valor para paredes debe ser mayor que cuarenta y dos vatios por metro cuadrado ($42,00 \text{ W/m}^2$) y menor o igual que cuarenta y ocho vatios por metro cuadrado ($48,00 \text{ W/m}^2$); y para techos, debe ser mayor que diecisiete coma cincuenta vatios por metro cuadrado ($17,50 \text{ W/m}^2$) y menor o igual que veinte vatios por metro cuadrado ($20,00 \text{ W/m}^2$).

c) **Oro:** cuando el VTTG de paredes y techo del edificio evaluado resulte 30% menor que los límites aprobatorios, el valor para paredes debe ser menor o igual que cuarenta y dos vatios por metro cuadrado ($42,00 \text{ W/m}^2$) y para techos, debe ser menor o igual que diecisiete coma cincuenta vatios por metro cuadrado ($17,50 \text{ W/m}^2$).

El cuadro 6 contiene un resumen de los límites de VTTG que se deben cumplir para obtener cualquiera de las calificaciones especiales. Cabe destacar que para alcanzar las categorías mencionadas se deben cumplirse ambos límites, es decir, para techo y para paredes.

2. Incentivos Fiscales.

Los incentivos fiscales consisten en exenciones totales o parciales de los impuestos relacionados con los inmuebles construidos en el municipio y se otorgan como beneficio al propietario por alcanzar algunas de las calificaciones especiales sobre calidad térmica. Se proponen los siguientes incentivos fiscales:

a) Si la calificación especial otorgada es Bronce:

- Una rebaja de 25% del monto del impuesto que resulte de aplicar a los ingresos brutos la alícuota correspondiente al clasificador de actividades económicas de la Ordenanza sobre Licencia e Impuestos a las Actividades Económicas de Industria, Comercio, Servicios y de Índole del Municipio Maracaibo, durante el periodo de construcción y venta de la edificación o del parcelamiento, hasta un máximo de un (1) año.
- La exención total del impuesto sobre inmuebles urbanos durante el primer año, contado a partir de la fecha de expedición de la Constancia de Habitabilidad de la edificación o del parcelamiento por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU).
- La exención parcial de 25% de la tasa por los servicios administrativos correspondientes a la expedición, por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU), de la Constancia de Cumplimiento de Calidad Térmica, de la Constancia de Cumplimiento de Variables Urbanas Fundamentales, de la Certificación de Calidad Térmica y de la Constancia de Habitabilidad.

b) Si la calificación especial otorgada es Plata:

- Una rebaja de 50% del monto del impuesto que resulte de aplicar a los ingresos brutos la alícuota correspondiente al clasificador de actividades económicas de la Ordenanza sobre Licencia e Impuestos a las Actividades Económicas de Industria, Comercio, Servicios y de Índole del Municipio Maracaibo, durante el periodo de construcción y venta de la edificación o del parcelamiento, hasta un máximo de un (1) año.
- La exención total del impuesto sobre inmuebles urbanos durante los primeros dos años, contados a partir de la fecha de expedición de la Constancia de Habitabilidad de la edificación o del parcelamiento por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU).
- La exención parcial de 50% de la tasa por los servicios administrativos correspondientes a la expedición, por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU), de la Constancia de Cumplimiento de Calidad Térmica, de la Constancia de Cumplimiento de Variables Urbanas Fundamentales, de la Certificación de Calidad Térmica y de la Constancia de Habitabilidad.

Cuadro 6
Resumen de los límites correspondientes a cada calificación

	Limite Aprobatorio	Limite Incentivo		
		Bronce	Plata	Oro
		Porcentaje de reducción		
		Entre un 10% y 20%	Entre un 20% y 30%	más de 30%
Paredes (W/m^2)	60	$48,00 < \text{VTTG} \leq 54,00$	$42,00 < \text{VTTG} \leq 48,00$	$\text{VTTG} \leq 42,00$
Techos (W/m^2)	25	$20,00 < \text{VTTG} \leq 22,50$	$17,50 < \text{VTTG} \leq 20,00$	$\text{VTTG} \leq 17,50$

- c) Si la calificación especial otorgada es Oro:
- Una rebaja de 75% del monto del impuesto que resulte de aplicar a los ingresos brutos la alícuota correspondiente al clasificador de actividades económicas de la Ordenanza sobre Licencia e Impuestos a las Actividades Económicas de Industria, Comercio, Servicios y de Índole del Municipio Maracaibo, durante el período de construcción y venta de la edificación o del parcelamiento, hasta un máximo de un (1) año.
 - La exención total del impuesto sobre inmuebles urbanos durante los primeros tres años, contados a partir de la fecha de expedición de la Constancia de Habitabilidad de la edificación o del parcelamiento por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU).
 - La exención total de la tasa por los servicios administrativos correspondientes a la expedición, por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU), de la Constancia de Cumplimiento de Calidad Térmica, de la Constancia de Cumplimiento de Variables Urbanas Fundamentales, de la Certificación de Calidad Térmica y de la Constancia de Habitabilidad.
 - Las exenciones y rebajas previstas en el presente capítulo operarán de pleno derecho, previa verificación y

certificación emanada por parte de la Oficina Municipal de Planificación Urbana (OMPU) de las disminuciones previstas de los límites máximos del Valor de Transferencia Global de paredes y techos establecidos en los Artículos 50 y 51 de la presente Ordenanza.

Conclusiones y Recomendaciones

Se ha establecido una metodología de cálculo que servirá de base para la instrumentación de una ordenanza municipal que regule la calidad térmica de las edificaciones en la ciudad de Maracaibo. Se utiliza el concepto de VTTG para evaluar la ganancia térmica a través de cada superficie de la envolvente de una edificación, tomando en cuenta la orientación, el tipo de configuración constructiva de la porción opaca, el acabado externo, el tipo de ventanaje y el tipo de protecciones solares externas. Se recomienda como valores límites de VTTG de techos 25 w/m^2 , y para paredes de 60 w/m^2 , para ser utilizados como criterio de cumplimiento de la ordenanza. Finalmente, se presentan los objetivos, la estructuración, los alcances, los puntos relevantes y el régimen de incentivos que se espera tenga la nueva ordenanza de calificación térmica de las edificaciones del municipio Maracaibo.

Referencias bibliográficas

- Almao, N.; Rincón, J. y González, E. (1998) "EVITA: Modelo Computacional para la Evaluación de Viviendas Térmicamente Adaptadas", Revista Técnica, vol. 21, n° 1: 74-84, Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia.
- ASHRAE (1997) Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, New York, USA.
- ASHRAE/IES Standard 90.1-1989 (1997) Energy, Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. Energy, New York, USA.
- Comisión para el Mejoramiento de la Calidad Térmica de las Edificaciones y el Espacio Urbano (1998) Recomendaciones para mejorar la calidad térmica del espacio urbano. C.A. ENELVEN, Maracaibo, Venezuela.
- Comisión para el Mejoramiento de la Calidad Térmica de las Edificaciones y el Espacio Urbano (1999) Recomendaciones para mejorar la calidad térmica de las edificaciones. C.A. ENELVEN, Maracaibo, Venezuela.
- Energy Efficiency Code for Building Construction, State of Florida, 1997 Edition, Revised 1998.
- Nediani, Giuseppe (1998) Orientación de edificios rectangulares para mínima exposición solar, aplicado a 10 Grados de Latitud Norte. Memorias del Primer Simposio Venezolano de Confort Térmico y Comportamiento de Edificaciones (COTE-DI'98), Caracas.
- Norma Sanitaria para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones, MINDUR/MSAS, Gaceta Oficial N° 4.044.
- Ordenanza de Zonificación de la Ciudad de Maracaibo. Concejo Municipal de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.
- Quirós, Carlos (1995) "Condiciones climáticas y confort térmico en una localidad intertropical. Caso de estudio: Maracaibo, Venezuela", Revista Técnica, n° abril 1995: 151-158, Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia.
- Siem G. y Sosa M. E. (2000) "Diagnóstico de la normativa venezolana vigente en relación a las exigencias térmicas, acústicas y de iluminación". Memorias de la Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones, junio 21-23, COTEDI 2000. Maracaibo, Venezuela.