

Establecimiento del indicador energético de Porlamar (Isla de Margarita, Venezuela)

Luisa Salazar Gil¹
Víctor Guzmán Arguis²

Universidad Simón Bolívar

¹Departamento de Conversión y Transporte de Energía

²Departamento de Electrónica y Circuitos

Valle de Sartenejas, Baruta Estado Miranda.

VENEZUELA.

Tel. +58 212 9063721

correos electrónicos (emails): luisalazar@usb.ve
vguzman@usb.ve

Recibido 02-06-2016, aceptado 27-10-2016.

Resumen

Este trabajo presenta el análisis de las características de la ordenación territorial y condiciones climatológicas de la ciudad de Porlamar, Isla de Margarita, con el fin de evaluar las condiciones requeridas para el establecimiento de edificaciones energéticamente eficientes adecuadas al entorno. La Isla de Margarita tiene zonas con alta disponibilidad energética natural, caracterizada por un elevado potencial aprovechable de energía eólica y solar. La zona a evaluar, Porlamar, es la ciudad más poblada de la Isla y la de mayor consumo de energía. Además existen registros climáticos de la zona, lo que hace posible su evaluación para establecer indicadores energéticos de la envolvente de las edificaciones con base en la zonificación bioclimática. La metodología desarrollada se basa en el estudio del comportamiento de las variables climáticas que definen la zonificación bioclimática de Porlamar y la aplicación de los criterios de definición del confort térmico en la evaluación de un modelo de espacio habitacional, para luego proponer la transmitancia térmica adecuada bajo criterios de diseño bioclimático, empleando los materiales de construcción utilizados en la zona bioclimática en estudio, basada en criterios nacionales e internacionales. El indicador energético se establecerá como resultado de la comparación de las transmitancias térmicas, tomando como referencia la establecida en la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

Palabras clave: zonificación bioclimática, indicadores energéticos, confort térmico.

Abstract (Establishment of the Energy Indicator of Porlamar, Margarita Island, Venezuela)

This work, presents the analysis of the characteristics of the territorial planning and climatic conditions in Porlamar city, Margarita Island, in order to evaluate the conditions required for the establishment of energy efficient buildings adapted to the environment. Margarita Island has areas with high natural energy availability, characterized by a high potential of wind and solar energy. The area to be evaluated, Porlamar, is the most populated city on the island and the one that consumes more energy. In addition there are climatic records of the area, which makes possible its evaluation to establish energy indicators of the envelope of buildings based on bioclimatic zoning. The methodology to be developed is based on the study of the behavior of the climatic variables that define the bioclimatic zoning of Porlamar and the application of the criteria for thermal comfort definition in the evaluation of a model of housing space and then propose a suitable thermal transmittance under criteria of bioclimatic design, using the building materials used in the bioclimatic zone under study, based on national and international criteria. The energy indicator will be established as a result of the comparison of the thermal transmittance, taking as reference the one established in Maracaibo city, Venezuela.

Index terms: bioclimatic zoning, energy indicators, thermal comfort.

1. Introducción

El sector de la edificación es un sector de estructura compleja, en el que es problemático incorporar medidas de ahorro y eficiencia energética. Sin embargo estas medidas son imprescindibles para no comprometer el desarrollo sostenible de un país, debido a la contribución de este sector en el aumento en la demanda energética. Todo ello supeditado al rigor técnico y la responsabilidad profesional a la hora de implantar las medidas, ya que su aplicación inadecuada, dada la complejidad del edificio como sistema energético, conduciría a un empeoramiento de su comportamiento, con un sobrecosto significativo y el consiguiente descrédito del potencial de actuación, por lo que las medidas disponibles de ahorro y eficiencia energética [1] deberán estar orientadas hacia: el diseño del edificio, el urbanismo bioclimático, la ingeniería

bioclimática, los sistemas energéticos, la integración de energías renovables, la operación del edificio y los materiales de construcción.

Una de las barreras para el desarrollo de medidas de ahorro y eficiencia energética en la edificación es el uso de indicadores poco apropiados. Las causas deben buscarse en la complejidad del edificio como sistema energético.

El indicador del comportamiento energético de un edificio más utilizado determina su consumo de energía primaria total por unidad de superficie útil ($\text{kWh/m}^2\text{-año}$). Este indicador incluye tanto el consumo durante la construcción y el mantenimiento del propio edificio, como el consumo de los sistemas adicionales empleados para alcanzar las condiciones de confort requeridas en su interior. Considera un acoplamiento fuerte entre el comportamiento térmico del edificio y el desempeño de sus sistemas, por lo que desde este punto de vista, no resulta apropiado separar edificio y sistemas a la hora de buscar indicadores de comportamiento energético de edificios. Evidentemente, el comportamiento real de un edificio en cuanto a su consumo energético depende mucho de cómo se utilice, por lo que este indicador debería basarse en un análisis del ciclo de vida del edificio, por lo que podría resultar más adecuado, desde el punto de vista de regulación y certificación energética, el expresar el indicador de comportamiento energético de un edificio en términos específicos en función del número de usuarios (kWh/usuario-año), en lugar de en función de la superficie del edificio, garantizando que se cumplan unos valores mínimos de área útil asignada a cada usuario de habitabilidad por encima del mínimo aceptable.

Hay que resaltar que los indicadores energéticos $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ y kWh/usuario-año , están orientados al objetivo final, lo que permite proporcionar una cuantificación directa de los efectos del sector de la edificación sobre la balanza energética del país. La cuantificación de la energía enterrada se encuentra excluida de estos indicadores, que se limitan a la energía de operación. Lo correcto sería establecer indicadores de la envolvente del edificio, por un lado, y sobre sus sistemas, por el otro, de tal forma que la demanda energética de operación y la energía enterrada, adecuadamente normalizadas, reflejen las implicaciones energéticas totales. Los criterios de eficiencia energética, no deben excluir la condición climática a la que está sometido el edificio.

El indicador energético de la envolvente, empleado en diversos países desde la década de los 70, ha sido definido como un coeficiente global de transferencia, que se establece como transmitancia térmica (U), medida en $\text{W/m}^2\text{°C}$, referida a la cantidad de calor transmitida del aire exterior al aire interior del

edificio por unidad de superficie respecto a una diferencia unitaria de temperatura, en una unidad de tiempo, determinado una vez alcanzado el equilibrio térmico que define el límite térmico. Este indicador recoge el comportamiento energético de la envolvente del edificio, por equilibrio entre el calor proveniente de fuentes externas (sol y temperatura aire exterior principalmente), y el de fuentes internas (calor producido por personas, sistemas activos, etc.), con base en las características del material referidas a la conductividad, calor específico volumétrico, densidad, difusividad y emisividad.

Es necesario un nuevo tipo de actitud en las consideraciones sobre los indicadores energéticos de los edificios, basada en la comprensión de que al construir edificios se están creando sistemas dinámicos. Para definir los nuevos indicadores hay que tomar en cuenta: el patrón de variaciones de las temperaturas externas y el modelo de irradiación solar que son datos ambientales básicos, además del patrón de ocupación o patrón de uso; para obtener un edificio que ofrezca un considerable ahorro de energía, con materiales adecuados, correcta orientación de vanos, disposición de la envolvente arquitectónica y que, por lo tanto, sea compatible con su entorno [2]. Bajo este contexto, el enfoque bioclimático del análisis térmico estará centrado en el diseño habitacional propio de cada lugar en las diferentes zonas bioclimáticas del país. Desde luego existirán siempre principios científicos generales, cuya validez presentará rasgos de universalidad, por lo que en este trabajo, se establece que el indicador energético a definir para la ciudad de Porlamar debe estar expresado en $\text{W/m}^2\text{°C}$, esto es, se desea definir la transmitancia térmica requerida de acuerdo a su zonificación bioclimática, cálido húmedo.

2. Cálculo del indicador energético de la envolvente en Porlamar

La ciudad de Porlamar, capital del Municipio Mariño, donde se centralizan las principales actividades comerciales e industriales de la isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela (véase Fig. 1), 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 50 años el crecimiento de la ciudad de Porlamar se ha caracterizado por una rápida expansión urbana. 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, que obligan a sus usuarios a instalar equipos electromecánicos acondicionadores de aire para lograr ambientes más confortables, generando un uso intensivo de los mismos y elevando el consumo de electricidad, por lo que el establecimiento de



Fig. 1. Ubicación Geográfica de Porlamar [2].

un indicador energético de la envolvente ayudará a definir una normativa en el diseño y construcción de ambientes más confortables además de ayudar a reducir el consumo de energía.

Con el objeto de poder determinar el valor del indicador energético de la envolvente (transmitancia térmica (U) en $W/m^2\text{°C}$) referidos a techo y paredes adecuado a la zona bioclimática de Porlamar, tipificada como cálida húmeda, se plantea y analiza el comportamiento térmico de un modelo de espacio habitable con materiales de construcción característicos de la zona. El modelo a evaluar (véase Fig. 2) está representado por un espacio cerrado de cuatro paredes, techo plano, de dimensiones 6,00 m x 8,00 m x 2,80 m, con un área de construcción de 48 m² y un volumen de 134,4 m³; en las paredes de 6 m se tiene respectivamente una ventana de vidrio claro y una puerta de madera, tal como se muestra en la Fig. 2

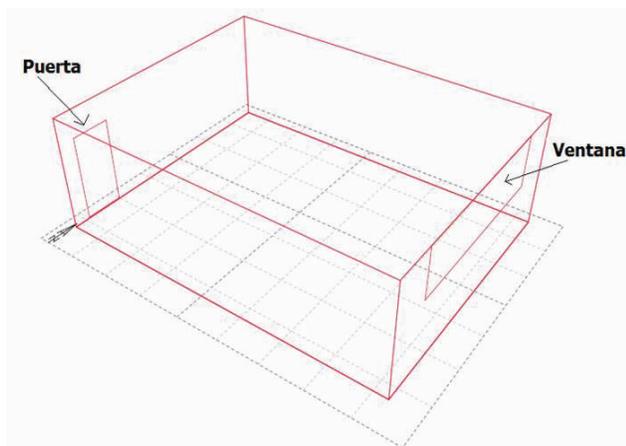


Fig. 2. Modelo propuesto para la evaluación térmica.

3. Rutina de cálculo

Para determinar el valor del indicador energético de la envolvente se utiliza una metodología de cálculo, resumida en la Fig. 3, desarrollada con criterios basados en las normas de climatización de edificios (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE)*), Método de Comportamiento Térmico, el cual está basado en la metodología propuesta por ASHRAE, contenida en la versión 1997 del ASHRAE/IES Standard 90.1-1989. Este método involucra en sus ecuaciones el cálculo de la Diferencia de Temperatura Equivalente (DTE), el cual considera variables térmicas, solares y físicas que pueden ser determinadas y ajustadas de acuerdo a la información disponible para la ciudad de Porlamar. Sus ecuaciones son de uso generalizado en el diseño de sistemas de acondicionamiento

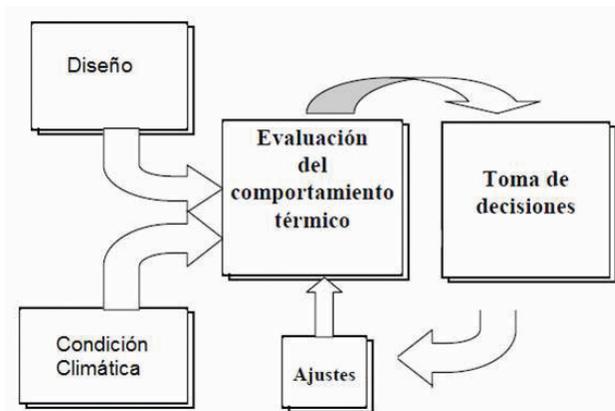


Fig. 3. Diagrama de bloques de la metodología de cálculo del indicador energético.

ambiental para la determinación de la ganancia térmica y solar a través de los diferentes elementos de la superficie exterior de una edificación desarrollada partiendo de un cuidadoso análisis del clima del sitio, así como de los requisitos impuestos por el tipo de uso y el lugar de ubicación.

Con base en la metodología propuesta se desarrolla un algoritmo que considera el material del diseño y variables climáticas para evaluar el comportamiento térmico, implementado en una rutina de cálculo de estructura modular.

Con base en lo anterior se implementó un programa de cálculo, en Matlab, estructurado en los módulos siguientes:

- Entrada de datos
- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del muro (U_{muro})
- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor de la ventana (U_{vent})
- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del techo (U_{techo})
- Cálculo de la capacitancia térmica de los muros exteriores
- Cálculo de la capacitancia térmica de los muros interiores
- Cálculo de la capacitancia térmica de la ventana
- Cálculo de la capacitancia térmica del techo
- Cálculo de la capacitancia térmica de los materiales de relleno
- Entrada en la curva psicométrica
- Ganancia del calor aportado por los equipos
- Cálculo de la temperatura sol-aire
- Cálculo del flujo de calor por convección y radiación
- Cálculo del flujo de calor por conducción (muro, ventana, techo)
- Cálculo de la ganancia de calor por infiltración latente
- Cálculo de la ganancia de calor por infiltración sensible
- Cálculo de la ganancia de calor generada por los ocupantes
- Cálculo de la ganancia de calor total (Q_{LOAD})
- Presentación gráfica de T_{int} y T_{amb}

4. Datos de las variables climáticas

Para realizar la evaluación térmica del modelo propuesto se requieren los datos sobre la edificación, el clima del lugar y su localización geográfica indicados en la Fig. 4, los cuales se introducen en el módulo de entrada de datos, donde los datos de temperatura ambiente, humedad

relativa, irradiancia global, altura y azimuth solar, se colocan como vectores correspondientes a las 24 horas del día, iniciando a la 1:00 AM y finalizando a la 0:00 AM, según se presenta en las tablas 1 y 2.

Para la simulación térmica del espacio con la rutina desarrollada, es conveniente seleccionar unos días específicos de diseño, representativos del clima que se presenta en el lugar a lo largo del año. De esta manera, la simulación se reduce de 365 días a unos cuantos días "típicos" con cuyo análisis la información de la operación térmica del espacio será completa. Para el estudio se seleccionaron como "días típicos", un día de enero, el mes de menos calor, y uno de septiembre, el mes de más calor, cuyos datos son mostrados en las tablas 1 y 2.

5. Datos de las variables climáticas

Con el fin de establecer los límites en el confort interno del espacio, es importante tomar como criterio las condiciones de la temperatura de confort, por lo que se requiere los datos de la zona de

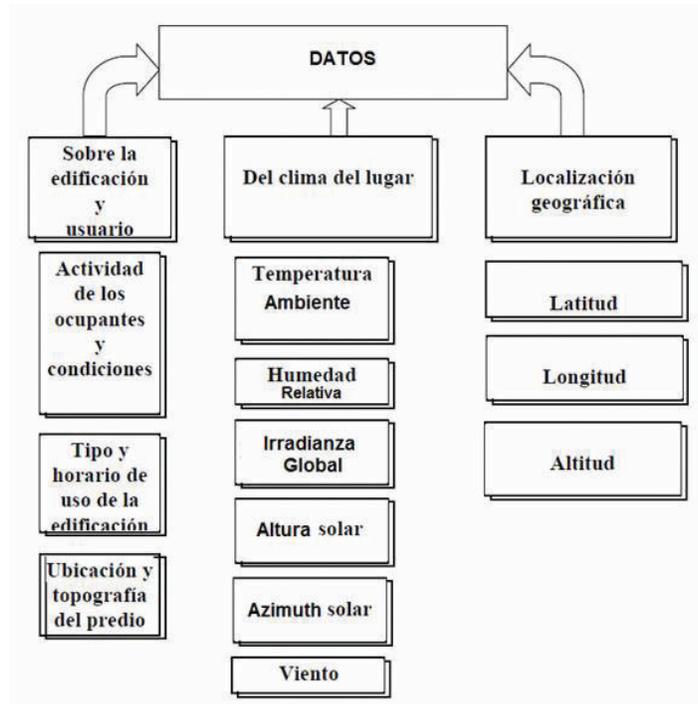


Fig. 4. Diagrama de bloques del conjunto de datos requeridos para el cálculo térmico.

Tabla 1. Variables climáticas mes de enero en Porlamar.

Hora	T_{amb}	Humedad	Irradiancia Global	Azimuth solar	Altura solar
	mes más cálido				
01:00	24,60	90	0,00	0,00	0,00
02:00	24,30	91	0,00	0,00	0,00
03:00	24,10	92	0,00	0,00	0,00
04:00	23,90	93	0,00	0,00	0,00
05:00	23,80	94	0,00	0,00	0,00
06:00	23,70	95	116,41	112,82	10,01
07:00	23,40	96	304,77	117,58	23,35
08:00	24,50	90	501,44	124,81	35,97
09:00	26,10	82	674,22	136,22	47,22
10:00	27,60	74	792,56	154,43	55,71
11:00	28,80	68	834,64	180	59,05
12:00	29,60	64	792,56	-154,43	55,71
13:00	29,90	62	674,22	-136,22	47,22
14:00	29,90	62	501,44	-124,81	35,97
15:00	29,60	64	304,77	-117,58	23,35
16:00	29,20	66	116,41	-112,82	10,01
17:00	28,60	69	0,00	0,00	0,00
18:00	28,00	72	0,00	0,00	0,00
19:00	27,30	76	0,00	0,00	0,00
20:00	26,70	79	0,00	0,00	0,00
21:00	26,20	82	0,00	0,00	0,00
22:00	25,70	84	0,00	0,00	0,00
23:00	25,30	86	0,00	0,00	0,00
24:00	24,90	88	0,00	0,00	0,00

confort de los meses de enero y septiembre, mostrados en la Tabla 3. Con la información de la temperatura de confort es posible determinar los problemas de confort a que estará sujeto el ocupante, puesto que la temperatura interna debe estar dentro de la amplitud de la zona de confort limitada por los valores mínimo y máximo de temperatura de confort. Es importante observar que las oscilaciones de las temperaturas exterior e interior se verifican respecto a un mismo nivel medio, que corresponde a la temperatura media diaria propia del período considerado.

6. Datos de los materiales de construcción

Los fenómenos de transferencia de calor entre el ambiente externo y el interior del espacio se producen a través de los materiales del techo, los muros, las puertas, y las ventanas, entre otros, y dependen, en cantidad y velocidad, de las características y comportamiento térmico de dichos materiales. Las características de los materiales necesarios para el cálculo térmico, referidas al techo, paredes, puerta, vidrio y mate-

Tabla 2. Variables climáticas, mes de septiembre en Porlamar.

Hora	T_{amb} mes más cálido	Humedad	Irradiancia Global	Azimuth solar	Altura solar
01:00	26,9	90	0,00	0,00	0,00
02:00	26,6	91	0,00	0,00	0,00
03:00	26,4	92	0,00	0,00	0,00
04:00	26,2	93	0,00	0,00	0,00
05:00	26,1	94	0,00	0,00	0,00
06:00	26,0	97	1168,64	92,91	14,72
07:00	25,9	94	369,45	96,26	29,40
08:00	27,2	87	575,25	100,76	43,97
09:00	28,8	78	754,07	108,21	58,24
10:00	30,4	70	875,76	125,33	71,50
11:00	31,6	64	918,91	180,00	79,05
12:00	32,3	60	875,76	-125,33	71,50
13:00	32,6	59	754,07	-108,21	58,24
14:00	32,5	60	575,25	-100,76	43,97
15:00	32,2	62	369,45	-96,26	29,40
16:00	31,6	65	168,64	-92,91	14,72
17:00	31,0	68	0,00	-90	0,00
18:00	30,4	71	0,00	0,00	0,00
19:00	29,7	75	0,00	0,00	0,00
20:00	29,1	78	0,00	0,00	0,00
21:00	28,5	81	0,00	0,00	0,00
22:00	28,0	84	0,00	0,00	0,00
23:00	27,6	86	0,00	0,00	0,00
24:00	27,2	88	0,00	0,00	0,00

Tabla 3. Zona de confort de los meses de enero y septiembre en Porlamar.

	enero	septiembre
Temperatura media [°C]	26,6	29,2
T_n [°C]	25,8	26,6
Oscilación	6,8	7,3
Amplitud de la zona de confort	2,5	2,5
Rango mínimo de confort [°C]	23,3	24,1
Rango máximo de confort [°C]	28,3	29,1

rial de relleno se presentan en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8, correspondiente al modelo de espacio evaluado, mostrado en la Fig. 1. Los espesores y composiciones del techo y las pare-

des se toman de la tipología de construcción utilizada en Porlamar, la información de la características de los materiales proviene de la tabla de fuentes diversas, del Dr. Luis Rosales

Tabla 4. Características de los materiales del techo [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³	
Techo tabelones arcilla					
Manto asfáltico	0,003	0,50	1,00	1700	
Mortero	0,050	1,40	0,89	2130	
Tabelón de arcilla	0,100	0,84	0,88	1800	
Techo impermeabilización asfalto	Friso interior	0,025	0,87	1,00	1800
Losa de concreto					
Losa maciza de concreto con revestimiento pliego asfáltico y friso interior	0,200	3,62	1,08	2400	
Techo tabelones arcilla					
Mortero	0,050	1,40	1,00	2130	
Tabelón de arcilla	0,100	0,84	0,88	1800	
Techo sin impermeabilización de asfalto	Friso Interior	0,025	0,87	1,00	1800
Losa de concreto					
Losa de concreto	0,170	1,63	1,00	2400	
Friso interior	0,025	0,87	1,00	1800	

Tabla 5. Características de los materiales de las paredes [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Paredes Bloque Hueco Arcilla				
Friso Exterior	0,025	1,40	0,89	2300
Bloque Hueco de Arcilla	0,150	0,47	0,93	1000
Friso Interior	0,020	0,87	1,00	1800
Paredes Bloque Hueco Concreto				
Friso Exterior	0,025	1,40	0,89	2300
Bloque Hueco de Concreto	0,150	0,50	1,00	1200
Friso Interior	0,020	0,87	1,00	1800

Tabla 6. Características de los materiales de la puerta [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Puerta Madera Liviana	0,025	0,87	1,00	1800

Tabla 7. Características del material de relleno [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Techo Tabeles Arcilla	0,002	1,4	0,89	2300
Paredes	0,005	1,4	0,89	2300

Tabla 8. Características material del vidrio de la ventana [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Vidrio en general	0,004	0,77	0,738	2950

[3] del Instituto del Desarrollo de la Construcción (IDEC) - Facultad de Arquitectura - Universidad Central de Venezuela (UCV) y del Dr. David Morillón Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) [4].

7. Datos y constantes requeridas para los diferentes cálculos

Los datos utilizados para los diferentes cálculos son:

- Ganancias de calor e intercambio de aire del espacio tomadas de la Norma ASHRAE 55/1192 [5].
- Velocidad del viento: 1,5 m/s. Para esto se tiene cuenta que 1,65 m/s es la máxima velocidad agradable sin efectos indeseables en el trabajo de oficina [6].
- Eficiencia de la ventilación o infiltración de aire: 0,25 [6]. Para esto se consideró que para vientos cuyas dirección son diferentes de 90°, el rango posible está entre 0,25 y 0,35 y se seleccionó el menor valor [6].

- Para el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor de ventana, techo y muro, se tienen como valores constantes [7]:

h_0 = Coeficiente de convección de aire exterior
Muros y ventanas: 34,06 W/m²°C
Techo: 17,03 W/m²°C
Ambos a velocidad de aire de 6,7 m/s

h_i = Coeficiente de convección de aire interior
Muros y techos: 9,36 W/m²°C
Ventanas: 9,08 W/m²°C
Ambos en presencia de aire quieto

No se considera h_c , el coeficiente de calor del aire interior por convección para espacios de aire (cámaras de aire), verticales y horizontales por no existir cámara de calor.

- Para determinar las ganancias de calor por ventilación y por infiltración latente, se parametrizó la carta psicométrica para

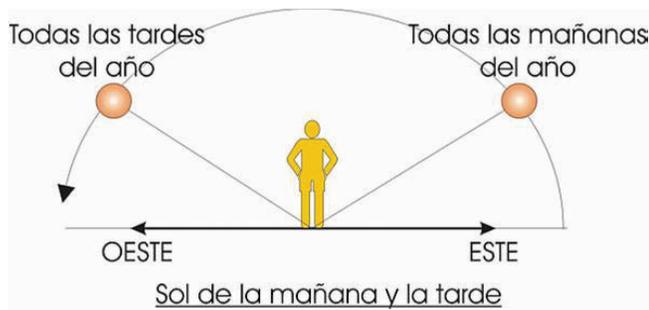


Fig. 5. Trayectoria diaria del sol en la bóveda celeste.

obtener la humedad específica correspondiente a las temperaturas externa e interna. Este diagrama está dado para 50 puntos de temperatura, por lo que cualquier punto mayor de este se considera fuera de rango.

- Los valores de: absorptancia (muros y techos) 0,8, emitancia (muros y techos) 0,9, emisividad del vidrio 0,9 y factor de ganancia de calor solar (F_c) 0,9.
- No se considera un factor de sombreado por la ausencia de dispositivos de protección solar (aleros, partesoles y combinaciones).

8. Premisa de simulación

Las premisas utilizadas para evaluar el modelo propuesto son las siguientes:

- La forma y orientación de la envolvente y sus componentes estará sujeta a la salida y puesta del sol durante todo el año (véase figuras 5 y 6).
- La ventana en la pared oriental (Este) y la puerta en la pared de poniente están orientadas respecto a la trayectoria del sol en la bóveda celeste tal como se muestra en la Fig. 5.
- No se consideran obstáculos externos por edificaciones cercanas.
- No se considera la contribución del piso.
- Se considera la presencia de 4 personas en actividad sedentaria y ropa ligera dentro del espacio.
- Se considera una carga de 2500 w en equipos y sistema de iluminación.
- No se consideran protectores solares ni falso techo.
- La ventilación es natural.

- El techo es plano y el vidrio es claro con características generales por considerarse la tipología más extrema para el tipo de zona bioclimática.
- Los materiales a evaluar son típicos de la zona, de uso extendido en Venezuela.
- Enero y septiembre son los meses para la simulación por ser enero el de menos calor y septiembre el de más calor, cuando se presenta la mayor demanda de energía de la Isla de Margarita.

9. Presentación y análisis de los resultados

Para analizar el comportamiento del material y determinar la transmitancia adecuada a la zona bioclimática en estudio, de acuerdo a las premisas establecidas, se tienen que considerar combinaciones de los materiales de construcción del techo y la pared de la envolvente del modelo, lo cual define ocho casos de estudios presentados en la Tabla 9.

9.1. Análisis resultados casos evaluados

El análisis consiste en evaluar el comportamiento de la temperatura interna del espacio y las temperaturas de las caras de la envolvente y cuerpo traslúcido, con base en las premisas de

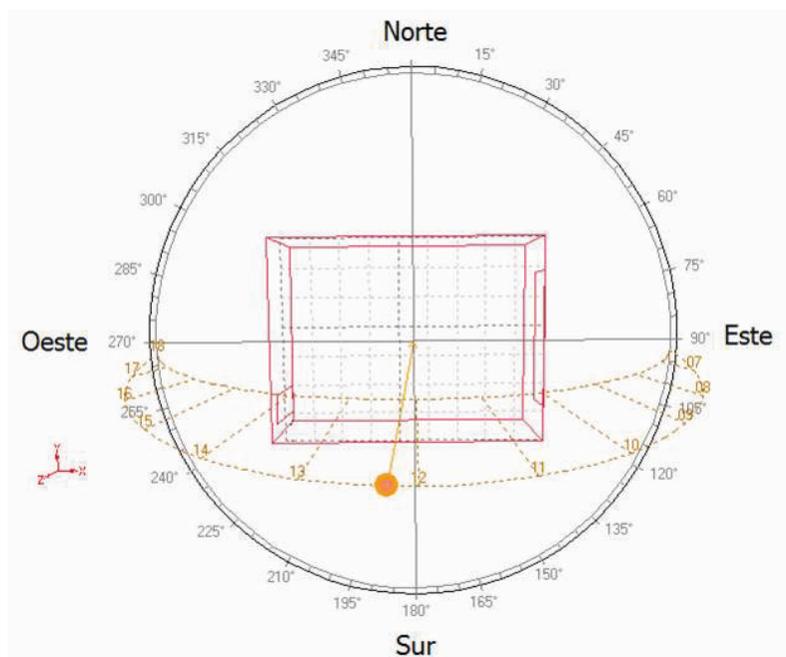


Fig. 6. Orientación del espacio a modelar de acuerdo a la trayectoria del sol.

Tabla 9. Casos a estudiar para evaluación térmica del espacio.

	Techo	Pared
CASO 1	Tabelón de arcilla sin impermeabilizar	Bloque hueco de arcilla
CASO 2	Tabelón de arcilla impermeabilizado	Bloque hueco de arcilla
CASO 3	Tabelón de arcilla sin impermeabilizar	Bloque hueco de concreto
CASO 4	Tabelón de arcilla impermeabilizado	Bloque hueco de concreto
CASO 5	Losa de concreto sin impermeabilizar	Bloque hueco de arcilla
CASO 6	Losa de concreto impermeabilizada	Bloque hueco de arcilla
CASO 7	Losa de concreto sin impermeabilizar	Bloque hueco de concreto
CASO 8	Losa de concreto impermeabilizada	Bloque hueco de concreto

simulación lo que permitirá verificar si las transmitancias térmicas de los cuerpos opacos (techo y pared) son las adecuadas.

Para realizar la evaluación de los casos, de acuerdo a la rutina de cálculo se determinan primero los valores de las transmitancias térmicas de los cuerpos opacos y translucidos con los materiales que los componen, utilizando para ello la ecuación 1.

U ($W/m^2\text{°C}$) se calcula como:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n}} \quad (1)$$

Donde:

h_0 es el coeficiente de convección de aire exterior; para muros y ventanas se asume $34,06 W/m^2\text{°C}$, para techos se asume $17,03 W/m^2\text{°C}$.

h_i es el coeficiente de convección aire interior; para muros y techo se asume $9,36 W/m^2\text{°C}$, para ventanas se asume $9,08 W/m^2\text{°C}$, ambos en presencia de aire quieto.

k_n es la conductividad térmica ($W/m^2\text{°C}$) de la capa n de material del muro, techo o ventana.

e_n es el espesor (m) de la capa n de material del muro, techo o ventana.

h_c es el coeficiente de calor del aire interior por convección ($W/m^2\text{°C}$) para espacios de aire, verticales y horizontales.

En la Tabla 10, se presentan los valores de las transmitancias térmicas obtenidos.

La evaluación de los casos se basa en analizar el comportamiento de las temperaturas cada hora para las 24 horas del día, desde la hora 1:00 hasta la hora 24:00, las temperaturas obtenidas para los Casos 1, 2, 3 y 4 en general son parecidos los valores son como los presentados en la Tabla 11.

Teniendo como referencia los resultados presentados en la Tabla 11, se tiene que:

1. **Casos 1 y 2:** la temperatura interna del caso 1 en promedio en el mes de enero es $0,07\text{°C}$ menor que en el caso 2 y la

Tabla 10. Transmitancias térmicas cuerpos translucidos y opacos.

Cuerpo	Componente	Material	Transmitancia ($W/m^2\text{°C}$)
Traslúcido	Ventana	Vidrio	6,91
Opaco	Techo	Tabelón arcilla sin impermeabilizar	2,86
Opaco	Techo	Tabelón arcilla impermeabilizado	2,82
Opaco	Techo	Losa concreto sin impermeabilizar	3,35
Opaco	Techo	Losa concreto impermeabilizada	4,53
Opaco	Pared o muro	Bloque hueco de arcilla	2,02
Opaco	Pared o muro	Bloque hueco de concreto	2,10

Tabla 11. Resultados del Caso 1.

Hora/ T(°C)	ENERO			SEPTIEMBRE		
	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}
01:00	28,12	0,00	0,00	30,96	0,00	0,00
02:00	27,74	24,46	23,49	30,69	26,76	25,81
03:00	27,47	24,26	23,29	30,42	26,56	25,61
04:00	27,21	24,06	23,09	30,16	26,36	25,41
05:00	26,80	23,96	22,99	29,91	26,26	25,31
06:00	26,52	23,86	22,89	29,75	26,15	25,21
07:00	26,25	25,12	24,16	29,60	28,32	27,37
08:00	26,14	28,76	27,81	29,56	32,31	31,37
09:00	26,35	32,99	32,05	29,65	36,64	35,72
10:00	26,77	36,78	35,86	30,03	40,60	39,70
11:00	27,45	39,55	38,63	30,44	43,40	42,51
12:00	28,13	40,89	39,98	31,02	44,65	43,77
13:00	28,77	40,62	39,72	31,44	44,37	43,49
14:00	29,40	39,04	38,14	31,83	42,66	41,78
15:00	29,61	36,44	35,53	32,19	39,99	39,10
16:00	29,80	33,42	32,51	32,26	36,66	35,77
17:00	29,80	30,30	29,38	32,31	33,40	32,50
18:00	29,80	28,16	27,22	32,24	30,55	29,64
19:00	29,66	27,46	26,52	32,06	29,86	28,94
20:00	29,38	26,86	25,91	31,90	29,26	28,33
21:00	29,13	26,36	25,41	31,72	28,66	27,73
22:00	28,73	25,86	24,90	31,55	28,16	27,22
23:00	28,47	25,46	24,50	31,29	27,76	26,82
24:00	28,21	25,06	24,10	31,03	27,36	26,42

temperatura interna en promedio en el mes de septiembre es 0,01°C mayor, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 1 es 27,08°C lo cual es menor a los 27,15°C del mes de enero para el caso 2. Entre las temperaturas de inicio y fin en los meses de enero en promedio la diferencia es de 0,08°C y en septiembre de 0,07°C en cada caso.

2. **Casos 3 y 4:** señalan que la temperatura interna del caso 3 en el mes de enero en promedio es 0,03°C mayor que en el caso 4 y la temperatura interna en promedio en el mes de septiembre son iguales, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 3 es 27,29°C lo cual es mayor a los 27,27°C del mes de enero para el caso 4, una diferencia de 0,02°C. A parte las

temperaturas de inicio y fin en los meses de enero en promedio la diferencia es de 0,02 °C y en septiembre de 0 °C en cada caso.

De los resultados de los casos 1, 2, 3 y 4, las temperaturas del muro y techo son iguales para todos los casos y de la Tabla 12 se tiene que las temperaturas iniciales y finales de convergencia están en el mismo valor en los diferentes casos, las diferencias por aumento o disminución no son significativas, lo que indica que el cambio del material de construcción de los muros y techos no tiene mucha influencia en los resultados.

Las temperaturas obtenidas para los casos 5, 6, 7 y 8 en general son parecidos; los valores son como los presentados en la Tabla 13.

Tabla 12. Temperatura de inicio y final de la convergencia para los casos 1, 2, 3 y 4.

T(°C)/mes	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
$T_{inicial}$	28,12	30,96	28,19	30,95	28,28	31,15	28,24	31,11
T_{final}	28,21	31,03	28,27	31,02	28,26	31,15	28,23	31,11

Tabla 13. Resultados del Caso 5.

Hora/ T(°C)	ENERO			SEPTIEMBRE		
	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}
01:00	28,25	0,00	0,00	31,22	0,00	0,00
02:00	27,96	24,46	23,49	30,95	26,76	26,81
03:00	27,76	24,26	23,29	30,75	26,56	25,61
04:00	27,56	24,06	23,09	30,55	26,36	25,41
05:00	27,25	23,96	22,99	30,36	26,26	25,31
06:00	26,95	23,86	22,89	30,18	26,15	25,21
07:00	26,75	25,12	24,16	30,00	28,32	27,37
08:00	26,66	28,76	27,81	29,90	32,31	31,37
09:00	26,82	32,99	32,05	29,97	36,64	35,72
10:00	27,13	36,78	35,86	30,26	40,60	39,70
11:00	27,47	39,55	38,63	30,57	43,40	42,51
12:00	27,99	40,89	39,98	31,01	44,65	43,77
13:00	28,66	40,62	39,72	31,33	44,37	43,49
14:00	29,13	39,04	38,14	31,63	42,66	41,78
15:00	29,29	36,44	35,53	31,90	39,99	39,10
16:00	29,44	33,42	32,51	32,05	36,66	35,77
17:00	29,44	30,30	29,38	32,09	33,40	32,50
18:00	29,44	28,16	27,22	32,04	30,55	29,64
19:00	29,34	27,46	26,52	31,90	29,86	28,94
20:00	29,13	26,86	25,91	31,85	29,26	28,33
21:00	28,94	26,36	25,41	31,71	28,66	27,73
22:00	28,73	25,86	24,90	31,59	28,16	27,22
23:00	28,53	25,46	24,50	31,38	27,76	26,82
24:00	28,34	25,06	24,10	31,19	27,36	26,42

Teniendo como referencia los resultados presentados en la Tabla 13, se tiene que los:

Casos 5 y 6, la temperaturas interna promedio del caso 5 en el mes de enero es 0,03°C mayor que en el caso 6 y las tempera-

turas internas promedio en el mes de septiembre son iguales, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 5 es 28,21°C lo cual es mayor a los 28,18°C del mes de enero para el caso 6. A parte el promedio de las temperaturas de inicio y fin de convergencia

Tabla 14. Temperatura de inicio y final de la convergencia para los casos 5, 6, 7 y 8.

T(°C)/mes	CASO 5		CASO 6		CASO 7		CASO 8	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
$T_{inicial}$	28,25	31,22	28,29	31,15	28,37	31,28	28,39	31,22
T_{final}	28,34	31,19	28,23	31,22	28,31	31,23	28,33	31,25

en los meses de enero la diferencia es de 0,04°C y en septiembre de 0,02°C en cada caso.

Casos 7 y 8, las temperaturas internas promedio del caso 7 en el mes de enero es 0,02°C menor que en el caso 8 y las temperaturas internas promedio en el mes de septiembre del caso 7 es 0,03°C menor que en el caso 8, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 7 es 27,54°C lo cual es menor a los 27,56°C del mes de enero para el caso 8. El promedio de las temperaturas de inicio y fin de convergencia en los meses de enero la diferencia es de 0,02°C y en septiembre de 0,02°C en cada caso.

De los resultados de los casos 5, 6, 7 y 8, se observa que las temperaturas del muro y techo son iguales para todos los casos, de la Tabla 14 se tiene que las temperaturas iniciales y finales de convergencia están en el mismo valor en los diferentes casos, las diferencias por aumento o disminución no son significativas, lo que indica que el cambio del material de construcción de los muros y techos no tiene mucha influencia en los resultados.

En general los resultados obtenidos en los diferentes casos señalan que el comportamiento del espacio es parecido con los diferentes materiales evaluados. Por lo que de acuerdo a la diferencia en aumento o disminución con base en el promedio de temperatura interna, confort y temperaturas de inicio y fin en los meses en, el espacio se comporta igual en el mes de menos frío o de más calor con o sin impermeabilización de techo, el aumento de la temperatura de un mes con respecto a otro en ambos casos se debe a que las temperaturas en el mes de enero son más bajas que en el mes de septiembre.

9.2. Cálculo del retardo térmico y amortiguamiento de los casos evaluados

Para determinar si los materiales son apropiados a la zona bioclimática en estudio, una vez evaluado el comportamiento de las temperaturas internas, techo y muro del espacio en cada caso, se debe evaluar la inercia térmica. El retardo térmico (desfase) y amortiguamiento (decremento) se determino mediante la grafica de las temperaturas externas e internas para los diferentes casos; el desfase horario entre los dos máximos o los dos mínimos es el retardo térmico, mientras que la relación entre las dos amplitudes (A_{int}/A_{ext}) es el amortiguamiento (véase Fig. 7). Se dice que un material tiene más o menos inercia térmica cuando mayores o menores son su retardo y amortiguación.

En la gráfica de la Fig. 7 se presenta a manera de ejemplo cómo se obtiene el retardo térmico y amortiguamiento utilizando para ello el mes de enero del caso 4, las demás graficas no se presentan para cada caso ya que los resultados, en general son iguales.

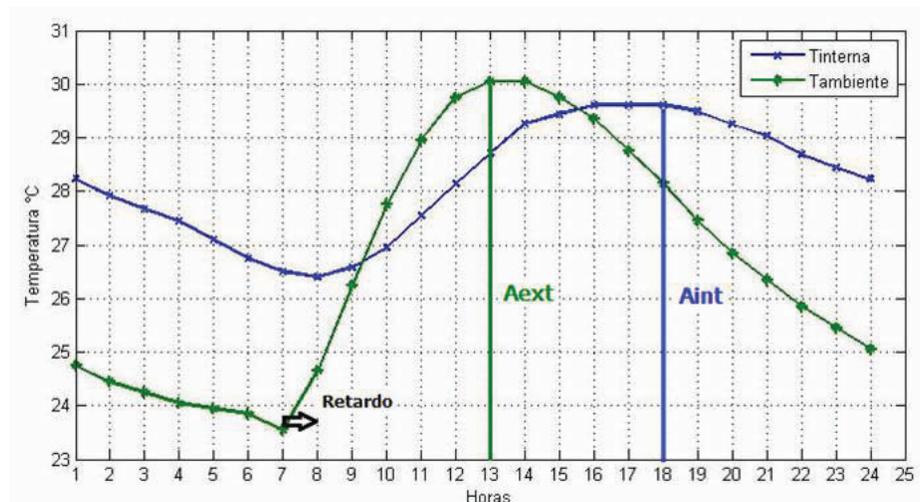


Fig. 7. Retardo térmico y amortiguamiento Caso 4 mes de enero.

Tabla 15. Retardo y amortiguamiento casos 1, 2, 3 y 4.

T(°C)/mes	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
Retardo (horas)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Amortiguamiento	0,996	0,991	0,998	0,990	0,991	0,987	0,990	0,986

Tabla 16. Retardo y amortiguamiento casos 5, 6, 7 y 8.

T(°C)/mes	CASO 5		CASO 6		CASO 7		CASO 8	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
Retardo (horas)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Amortiguamiento	0,984	0,984	0,981	0,986	0,980	0,983	0,981	0,984

De la gráfica de la Fig.7, se tiene que el retraso térmico es de 1 hora y de la relación de A_{int}/A_{ext} el amortiguamiento es 0,990.

De acuerdo a lo presentado en las tablas 15 y 16, se observa que el retardo térmico es igual en los meses en estudio para los diferentes casos, su valor es 1, lo que indica que es una construcción ligera de rápida respuesta al cambio exterior; los amortiguamientos térmicos, tal como se muestra en la Tabla 15 para los casos 1, 2, 3 y 4, son en general parecidos, con un promedio de 0,991; para los casos 5, 6, 7 y 8, Tabla 16, en general también son parecidos, con un promedio de 0,982; como estos en ambos casos son valores bajos (0,991 y 0,982), esto indica que las temperaturas internas son estables, lo cual es cierto por los resultados obtenidos en cada caso. Aunque la relación entre el amortiguamiento y el desfase en los materiales no es lineal, estos si son directamente proporcionales, cuanto mayor es el desfase mayor es el amortiguamiento, cosa que efectivamente se observa en los resultados calculados.

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos, el comportamiento de las temperaturas (internas, del techo y del muro) y la evaluación de la inercia térmica (retardo y amortiguamiento térmico) indican que si la selección del material queda restrin-

gida a los materiales evaluados, no hay razones bioclimáticas para preferir uno de otro, por lo que sería interesante realizar un trabajo de investigación dedicado a analizar la posible sustitución de estos materiales por otros de mejores características, considerando los aspectos de contribución al confort, costo, disponibilidad, etcétera.

Por otro lado, en los climas cálidos húmedos con muy baja oscilación térmica diaria, como es el caso del clima de Porlamar, se requiere mejorar las condiciones de confort, teniendo como recursos efectivos aquellos que garanticen el movimiento natural o artificial del aire y el control de la radiación directa. Siendo Porlamar una ciudad donde hay irradiación solar significativa, debe disponerse de dispositivos de protección solar en las ventanas, a parte de la mejor orientación del espacio, lo cual debería tenerse presente en el diseño. La conveniencia del uso de protectores solares fue demostrada por la autora de este trabajo en un artículo presentado Congreso COPIMERA 2013 Santa Cruz - Bolivia [8], en el cual se calcularon los ángulos más eficientes que deben tener los aleros necesarios en las edificaciones de la ciudad de Porlamar, de acuerdo a la orientación de las caras para los dos semestres del año en estudio en base a la mascarilla de sombreado. La Tabla 17 presenta los resultados obtenidos en dicho estudio.

Tabla 17. Ángulo más eficiente del alero [8].

	CARA SUR	CARA NORTE	CARA OESTE	CARA ESTE
Ángulo	40°	40° y 50°	20°	20°

Aunque los resultados señalan que en Porlamar se puede utilizar cualquiera de las combinaciones de los materiales presentes en los diferentes casos evaluados sin que exista mayor diferencia en los resultados obtenidos y sin que se pueda lograr alcanzar la temperatura de confort durante todo el año, para establecer el indicador energético se calculó también el valor de la transmitancia necesario para obtener un valor de referencia que indique el ahorro de energía, planteándose además la reducción del factor de protección solar (factor de sombra del vidrio), lo cual se logra comparando la ganancia de calor total (Q_{total}) con o sin el ajuste de la transmitancia.

Debido a que los resultados obtenidos en la evaluación de los casos son similares, se escoge como ejemplo el caso 4, dado que la similitud de los resultados anteriormente obtenidos indican que si en este caso se alcanza un comportamiento que permita definir una condición adecuada, también ocurrirá esto para los demás casos.

9.3. Ajuste de la transmitancia térmica

Para ajustar la transmitancia térmica se tiene en consideración que todo proyecto deberá justificar el valor U_G (coeficiente de transmisión térmica global del edificio), que es el valor de U teniendo en cuenta todos los elementos de la edificación en los que hay transmisión de calor (ventanas, muros y techos). Esto permitirá establecer una norma de las condiciones térmicas exigibles a los edificios por lo que:

1. Cuanto mayor sea el valor de U_G , peor será el cerramiento desde el punto de vista térmico.
2. Cuanto mayor sea el valor de U , peor es el componente pues es menos aislante.
3. Cuanto mayor sea el valor de la conductividad térmica, peor es el material desde el punto de vista térmico.

De acuerdo a los resultados obtenidos se ajustaron las transmitancias térmicas de muro y techo a los valores presentados en la Tabla 18 y el factor de protección solar se redujo de 0,9 a 0,6, valor considerado como el óptimo teniendo en cuenta que:

- Factores de sombra muy bajos corresponden a vidrios que permiten muy poco paso de luz, lo que provoca un aumento del consumo en iluminación.

Tabla 18. Transmitancias térmicas.

Componente	Transmitancia (W/m ² °C)	Transmitancia ajustada (W/m ² °C)
Techo	2,82	0,60
Pared o muro	2,02	0,60

- Factores de sombra óptimos. El valor del factor de sombra que minimiza el consumo dependerá del porcentaje de vidrio y el coeficiente de transmisión del vidrio empleado en el edificio, pero el rango óptimo parece estar en torno a 0,6.
- Factores de sombra altos. Los vidrios muy transparentes tienen una gran ganancia de radiación solar, lo que provoca un aumento del consumo en equipos de aire para refrigeración.

En las figuras 8 y 9 se presenta el comportamiento de la carga térmica de acuerdo al ajuste de la transmitancia térmica y factor de sombreado.

En la Fig. 8 se observa que la ganancia de calor del espacio está de acuerdo al comportamiento de la temperatura ambiente y a la posición del sol en la bóveda celeste. La ganancia de calor más alta se produce a las 12:00 horas para el mes de enero y a las 13:00 horas para el mes de septiembre; a partir de las 13:00 horas el espacio empieza a perder calor.

En la Fig. 9 se observa que la ganancia de calor del espacio está de acuerdo al comportamiento de la temperatura ambiente y a la posición del sol en la bóveda celeste. La ganancia de calor más alta se produce a las 12:00 horas tanto el mes de enero como para septiembre y a las 13:00 horas para el mes de septiembre; a partir de las 13:00 horas el espacio empieza a perder calor.

De las Fig. 8 y 9 se concluye que para los meses en estudio en ambos casos (con y sin ajuste de la transmitancia térmica), la mayor carga térmica (Q_{total}) ocurre entre las 12:00 y 13:00 horas, presentándose mayor carga cuando no se ha ajustado la transmitancia térmica.

De la Tabla 19, donde se presentan las ganancias de calor máximo para cada mes del caso evaluado, se tiene que con el ajuste de la transmitancia térmica para el mes de enero se reduce la carga térmica aproximadamente en un 10% y para el mes de septiembre en un 10,37%, por lo que en promedio el ajuste permite reducir la carga térmica aproximadamente en un 10% en las horas de mayor incidencia de radiación solar durante todo el año.

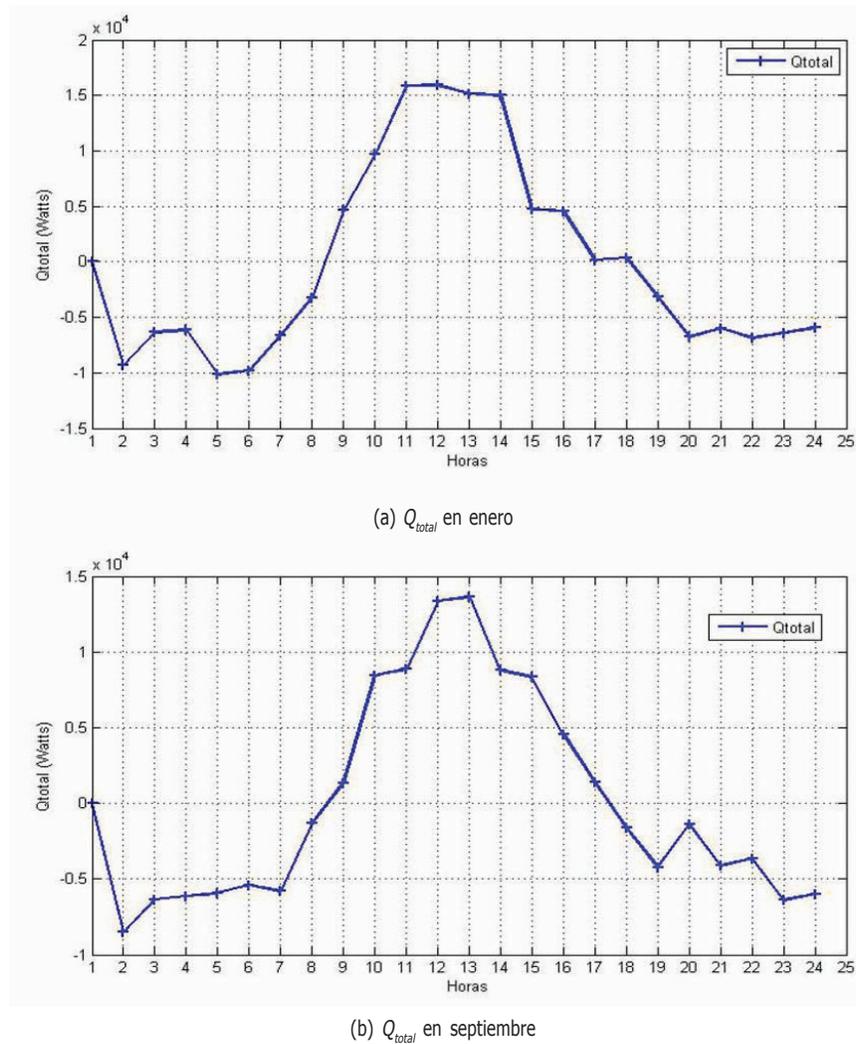


Fig. 8. Comportamiento Q_{total} Caso 4 con ajuste de la transmitancia.

Los resultados obtenidos para el ajuste de las transmitancias térmicas y el factor de sombreado, teniendo presente que el modelo de espacio es un diseño extremo, indican la importancia de definir el material de construcción adecuado a la zonificación bioclimática, lo cual unido a un diseño ajustado a la condición climática del lugar [8], permitirá minimizar la energía que se queda en la edificación, considerada como muerta, lo que contribuiría a disminuir el uso de sistemas activos de climatización bien sea para dar calor o enfriar, por consiguiente ahorrar energía. En Porlamar el establecimiento del indicador energético más las estrategias de diseño bioclimático basadas en orientación adecuada del espacio, ventilación y protección solar y no en enfriamiento, mantendrán el confort a parte de ahorrar energía.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente y teniendo que las transmitancias térmicas de techo y pared o muro son:

$$U_{techo} = 0,60 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

$$U_{pared \text{ o muro}} = 0,60 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

Considerando una temperatura de diseño para la ciudad de Porlamar de 29,1°C (véase Tabla 2), se tiene que el valor aproximado como indicador energético, indica el calor transmitido para una temperatura determinada, para techo y pared queda definido como transmitancia térmica global de techo (TTG_{techo}) y transmitancia térmica global de pared o muro ($TTG_{pared \text{ o muro}}$) determinado de la siguiente manera:

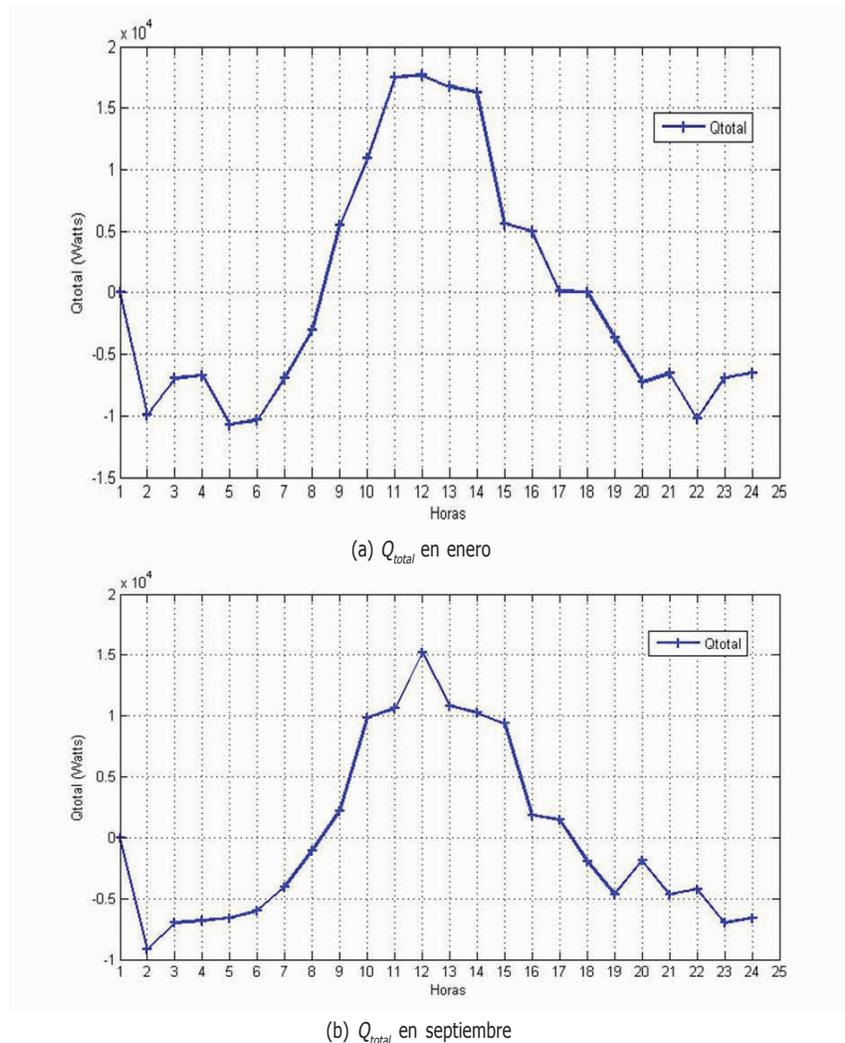


Fig. 9. Comportamiento Q_{total} Caso 4 sinajuste de la transmitancia.

$$TTG_{techo} = 0,60 \text{ w/m}^2\text{°C} \times 29,1\text{°C} = 17,46 \text{ w/m}^2$$

$$U_{techo} = 17,46 \text{ w/m}^2$$

Como U_{techo} y $U_{pared \text{ o } muro}$ son iguales se tiene que:

$$TTG_{pared \text{ o } muro} = TTG_{techo} = 17,46 \text{ w/m}^2$$

Los valores determinados de TTG_{techo} y $TTG_{pared \text{ o } muro}$ son aproximaciones del indicador energético para el techo y paredes, asociado de acuerdo al cálculo a la temperatura de diseño. Si se comparan los valores obtenidos para Porlamar con los establecidos para la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia (la ciudad de Venezuela de mayor consumo en sistemas activos de climatización, factor que representa aproximadamente el 76% de la facturación en el sector residencial marabino [9]) presentes en la

"Ordenanza sobre Calidad Térmica de las Edificaciones en el Municipio Maracaibo Edo Zulia Venezuela" de 2005, definidos para el techo como $TTG_{techo} \leq 17,50 \text{ w/m}^2$ y para la pared o muro ($TTG_{pared \text{ o } muro}$) $TTG_{pared \text{ o } muro} \leq 42 \text{ w/m}^2$ para una temperatura de diseño de 34°C y una temperatura de confort de 25°C [9], teniendo en cuenta la condición climática de la ciudad de

Tabla 19. Ganancias máximas de calor Q_{total}^t (w).

MES	sin ajuste	con ajuste
ENERO	17648,00	15924,00
SEPTIEMBRE	15192,00	13618,00

Maracaibo, cuya zonificación bioclimática es caliente húmedo a cálido húmedo [5], de acuerdo a lo establecido por el IDEC, con una temperatura promedio entre 27°C y 28°C [5], los valores obtenidos para la ciudad de Porlamar son aceptables.

10. Conclusiones

En Venezuela no existe instrumento legal a nivel nacional o estatal que regule la calidad térmica de las edificaciones y el confort de sus ocupantes. El único existente es el publicado como "Ordenanza sobre Calidad Térmica en Edificaciones en el Municipio Maracaibo" por la Alcaldía de la Ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, en enero de 2005, el cual sirve de referencia a este trabajo, pero solo tiene alcance a nivel local en dicho municipio. En el año 2015 el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) llevó a cabo el proyecto de Reglamento Técnico para la Certificación en Eficiencia Energética en Edificaciones, se materializó con el borrador de la primera fase del Reglamento quedó en iniciarse la consulta pública en aras de alcanzar: el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en las edificaciones.

Se establece la relación $W/m^2°C$, como indicador energético adecuado a la Zona Bioclimática de Porlamar, tomando en cuenta el patrón de variaciones de las temperaturas externas, el modelo de irradiación solar, los datos ambientales básicos, y el patrón de ocupación, o patrón de uso.

Los resultados del modelo propuesto, evaluado en ocho casos, con las premisas establecidas y los diferentes materiales de construcción usados en Porlamar, señalan que el comportamiento del espacio depende de la irradiancia global y la orientación de este; que este es igual, lo que indica que si la selección del material queda restringida a los materiales evaluados, no hay razones bioclimáticas para preferir uno de otro, por lo que sería un buen tema para continuar la investigación evaluar que pasaría si se usasen otros materiales con mejores características.

Los resultados obtenidos indican que siendo la ciudad de Porlamar una ciudad donde hay niveles de irradiancia solar significativa debe disponerse de dispositivos de protección solar, lo cual debería tenerse presente en el diseño.

La transmitancia térmica ajustada es la adecuada para la zonificación bioclimática de la ciudad de Porlamar, aunque no se obtiene la temperatura de confort en el interior del espacio

se logra tener un comportamiento térmico que indica reducción de la carga térmica en un 10%.

El material de construcción a utilizar es esencial, y si las características de este no son adecuadas, unido a un diseño no ajustado a la condición climática del lugar, la energía que se queda en la edificación, considerada como muerta, contribuye al aumento del uso de sistemas activos para llegar al confort térmico bien sea por calor o frío.

De acuerdo al análisis se tiene que la transmitancia térmica para Porlamar son:

$$U_{techo} = 0,60 \text{ w/m}^2°C$$
$$U_{pared \text{ o muro}} = 0,60 \text{ w/m}^2°C$$

Como estos valores son distintos a los que se usan, desde este punto de vista, los materiales en uso no son adecuados.

Recomendaciones

Independientemente de la definición del indicador energético establecido para Porlamar, se recomienda realizar un estudio de las condiciones climáticas de las diferentes zonas de la isla para establecer su zonificación bioclimática, debido a la diversidad de micro climas presentes en la isla.

Se recomienda realizar el análisis adoptando modelos adecuados de acuerdo a las estrategias de diseño bioclimático utilizando para ello un programa que permita cuantificar el consumo de energía de la edificación.

Se deben realizar estudios del crecimiento urbanístico de las diferentes zonas de la Isla de Margarita de manera de contar con un ordenamiento territorial adecuado que permita establecer urbanismo con espacios habitacionales diseñados tomando en cuenta el concepto de arquitectura bioclimática lo que permitirá aprovechar el potencial solar y eólico que tiene la isla.

Para la construcción de urbanismos bioclimáticos se deberá contar con la normativa correspondiente al ahorro de energía en edificaciones y características de los materiales de construcción, para ello se deberá contar con los datos climáticos necesarios para realizar la evaluación de los bioclimas presentes.

Realizar el estudio de nuevos materiales de construcción que tengan un valor U cercano al de 0,6 lo cual sería deseable.

Referencias

- [1] H. Granados, *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo: eficiencia energética*, vol. 3, España, Consejo Superior de Arquitectos España, 2006. Disponible en: http://www.academia.edu/7283407/PRINCIPIOS_DE_DISEÑO_BIOCLIMÁTICO_UBICACIÓN_ORIENTACIÓN_Y_FORMA_DEL_EDIFICIO
- [2] L. Salazar, "Establecimiento de indicadores en Porlamar isla de Margarita en base al comportamiento térmico del material de construcción en zona bioclimática cálida," tesis de doctorado, Decanato de Estudios de Postgrado, Coordinación de Postgrado en Ingeniería Eléctrica, Caracas, Venezuela, 2014.
- [3] D. Morillón. *Enfoque bioclimático del análisis térmico de edificios*. Diplomado Eficiencia Energética. Instituto de Ingeniería, 2012, UNAM, Ciudad de México.
- [4] L. Rosales, "Zonas climáticas para el diseño de edificaciones y diagramas bioclimáticos para Venezuela," *Tecnología y Construcción*, vol. 23, núm.1, pp. 45-60, enero, 2007. Disponible en: http://190.169.94.12/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2641/2532.
- [5] Norma ASHRAE 55/1992 *Thermal environmental conditions for human occupancy*, Disponible en: <https://www.ashrae.org/>.
- [6] F. Tudela, *Ecodiseño*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México, 1982.
- [7] D. Samano, D. *Morales Carga Térmica en un Edificio con Almacenamiento Térmico*. Laboratorio de Energía Solar. Universidad Autónoma de México. México, Temixco, Morelos.
- [8] L. Salazar, V. Guzman, & D. Morillón, "Evaluación de la Eficiencia del Control Solar en la Ciudad de Porlamar - Isla de Margarita". COPIMERA 2013. Santa Cruz, Bolivia.
- [9] Ordenanza sobre Calidad Térmica de las Edificaciones en el Municipio Maracaibo, Estado Zulia Venezuela, 15 de marzo 2005.

BIBLIOGRAFÍA LATINOAMERICANA

BIBLAT

Portal especializado en revistas científicas y académicas publicadas en América Latina y el Caribe

<http://biblat.unam.mx/es/>