

## **RADIACION SOLAR EN EL MICROCLIMA LOCAL: SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN CUBA**

**Guillermo de La Paz Pérez (1), Andrés Castilho Molina (2), Roger Rivero Vega (3)**

(1) Arquitecto. Profesor Depto. de Arquitectura, Jefe del Grupo de Investigación "Arquitectura para la Vivienda", Universidad de Camagüey, Cuba. E-mail: [gpaz@reduc.cmw.edu.cu](mailto:gpaz@reduc.cmw.edu.cu)

(2) Arquitecto. Jefe Técnico del Instituto de la Vivienda en Morón, Ciego de Ávila. Cuba

(3) Licenciado en Física, Jefe del Departamento de Climatología del Instituto de Meteorología, CITMA, Camagüey. Cuba.

### **RESUMEN**

Se presenta un análisis comparativo entre los climas de las ciudades de La Habana y Camagüey, siendo consideradas las respectivas densidades de Radiación Solar Global y las Temperaturas Sol-Aire, en superficies horizontales y verticales, para ocho orientaciones. Para el caso de Camagüey, fué necesario calcular estas variables a través de ecuaciones. Las diferencias obtenidas demuestran la incompatibilidad entre el llamado "proyecto típico" y el desempeño arquitectónico.

### **ABSTRACT**

This article presents a comparative analysis between the climates of Havana City and Camagüey, being considered the densities of Global Solar Radiation and "Sun-Air" Temperatures, in horizontal and vertical surfaces, for eight orientations. In the case of the city of Camagüey, it was necessary to calculate these variables through equations. The obtained differences demonstrate the incompatibility among the called pattern project and the architectural performance.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El movimiento de tecnologías de Norte a Sur ha traído consigo una arquitectura carente de identidad. Por supuesto, esta arquitectura no tiene una infraestructura técnica sólida, hay que importar gran parte de los equipos, instalaciones, materiales y sin considerar la disponibilidad limitada de recursos de los países en desarrollo. Se une a lo anterior, que en la labor de diseño no se ha tenido en cuenta el clima, olvidándose su utilización como un recurso más y un factor funcional importante para lograr que la arquitectura metabolice con su medio y no que lo combata.

En el Cuba esto se manifiesta con un uso excesivo del concepto de "proyecto típico", al construir edificios idénticos en cualquier región del país, trayendo consigo además la proliferación de ambientes neocolonizados al no considerar el clima local en la arquitectura y la asimilación indiscriminada de tecnologías de otras latitudes. Aunque nacionalmente se han realizado algunas investigaciones, normativas y otros documentos, se ha pretendido utilizar estrategias, tablas y valores de diseño de Ciudad de la Habana en Camagüey o en Santa Clara, provincias cubanas con diferentes condiciones climáticas. Estos hechos, unidos a la complejidad de los métodos de cálculo propuestos, han alejado cada vez más la Física Ambiental de la labor de proyecto.

Lo anterior ha traído como resultado que se absoluticen las condiciones insulares del territorio nacional, definiéndose como una "isla larga y estrecha con condiciones climáticas homogéneas (típicas)", lo cual ha sido interpretado en el proceso edificatorio a través de repetir los mismos proyectos, diseñados generalmente en la capital del país. Esto ha generado ambientes inconfortables, tanto arquitectónicos como urbanos. En este último caso, agrava el efecto conocido como "isla de

calor urbana" (aumento de las temperaturas en la zona edificada de la ciudad, con respecto a la zona suburbana), debido precisamente al calor por radiación que aportan las superficies construidas, afectando no solo la salud del hombre, sino también la economía del país, debido al gasto innecesario de energéticos fósiles, por concepto de generación de electricidad destinada al acondicionamiento artificial (térmico y lumínico).

Para demostrar lo anterior y proponer recomendaciones que disminuyan los problemas presentados hasta hoy, se analiza la variable climática más importante en el clima de Cuba, *la radiación solar*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Radiación Solar

Para analizar esta variable, se tomaron de la estación meteorológica de Camagüey los valores de densidad de radiación solar global y difusa para superficies horizontales de tres años (1985, 86 y 87), la hora de cada medición, así como la longitud y latitud del lugar, la diferencia de hora con respecto al meridiano de Greenwich y los valores de la ecuación del tiempo a utilizar.

A partir de estos datos y del acimut de cada orientación de superficie vertical, se aplica un método (DE LA PAZ PÉREZ y RIVERO, 1996) basado fundamentalmente en la ley del coseno, el cual, por su complejidad y la cantidad de valores a procesar, fue automatizado mediante un Software nombrado "SUVERTI" (CASTILLO MOLINA, 1993). De esta forma se obtienen las densidades de Radiación Solar Global en superficies verticales, con 8 orientaciones diferentes, para 9 horas de sol y los 12 meses del año, expresando sus valores en W/m<sup>2</sup>. Las expresiones usadas fueron las siguientes:

a) Para la superficie horizontal:

$$Q' = S' + D' \quad [01]$$

o sea:

$$S' = Q' - D' \quad [02]$$

donde:

Q' = Radiación global sobre una superficie horizontal  
S' = Radiación directa sobre una superficie horizontal  
D' = Radiación difusa sobre una superficie horizontal

b) Radiación directa sobre superficies verticales

$$S'v = -S' \cos(d) * \sec(Z) * \sin(h) \quad [03]$$

donde:

S'v = Radiación directa sobre superficies verticales  
Z = ángulo cenital del sol para cada hora  
d = declinación solar  
H = ángulo horario para cada hora de observación

c) Radiación difusa sobre superficies verticales:

$$D'v = D'((1 + \cos \beta)/2) \quad [04]$$

donde:

$\beta$  = inclinación de la pared

Radiación global sobre superficies verticales:  $Q'v = S'v + D'v + Cr$  donde:

Cr = corrección por reflexión del suelo

Finalmente, se realiza un estudio comparativo entre los valores para Camagüey expuestos en este trabajo y los obtenidos por ALEMANY (1986) para Ciudad de La Habana, la cual utilizó mediciones en la estación meteorológica de Casablanca de esta ciudad.

## 2.2. Temperatura Sol-Aire

Esta variable, que relaciona la radiación solar y la temperatura del aire exterior, permite conocer mejor el comportamiento térmico de las superficies analizadas y su influencia en los espacios interiores.

Para realizar las valoraciones acerca de esta variable, se determinan primeramente sus valores tomando las intensidades de la radiación solar, expuestas ya y la temperatura del aire exterior de diseño (DE LA PAZ PEREZ, 1995).

Son utilizados además otros valores, como los de absorción de la superficie (**a**) y conductancia superficial exterior (**hex**), tomando para ello los criterios de la bibliografía (ALEMANY, 1986. MICONS, 1983. PÉREZ VALDES, 1989). De aquí se obtuvo el método para el cálculo de la temperatura sol-aire (**t<sub>sa</sub>**) y su expresión:

$$t_{sa} = t'e + (Q \cdot a) / hex \quad [05]$$

donde:

$t'e$  = temperatura del aire exterior (de diseño)

$Q$  = intensidad de la radiación solar ( $W/m^2$ )

$a$  = absorción de la superficie según su color (0,5; 0,7 y 0,9 % para superficies claras, medias y oscuras respectivamente).

$hex$  = conductancia superficial exterior (se utiliza lo establecido en la NC-53-103/83) (MICONS, 1983)

A partir de esta expresión se calcularon los valores de temperatura sol-aire, obteniéndose 27 tablas. Para una mejor operatividad en la labor de proyecto arquitectónico, son promediados sus valores y resumidos en dos tablas, una para cubiertas (ver tabla 2) y otra para ocho orientaciones de paredes (ver tabla 3), estableciéndose así las temperaturas sol-aire de diseño ( $t_{sa}$ ) para las 3 categorías climáticas establecidas por la norma cubana (CUBA, 1983) y los tres niveles de absorción, según el color de la superficie (claro, medio y oscuro).

Se realiza una comparación entre los valores establecidos por este trabajo y los de la capital, tomando para ello la media anual de la hora más crítica de cada orientación de superficie (con absorción media = 0,7%).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

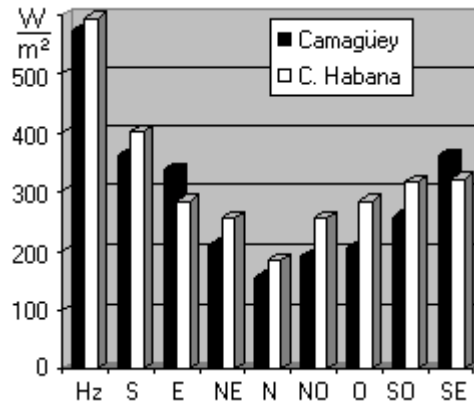
### 3.1. Radiación Solar

La comparación de las densidades medias del mes más crítico, en cada orientación, entre la Ciudad de La Habana y Ciudad Camagüey (ver tabla 1 y gráfico 1), muestran que las densidades de radiación sobre superficies son superiores en la capital, en casi todas las orientaciones, excepto en la sureste.

**Tabla 1 - Análisis Comparativo de la Radiación Solar ( $W/m^2$ )**

Superficie	Ciudad de Camagüey	Ciudad de La Habana	Diferencia $W/m^2$
Horizontal	Abril 573	Abril 596	23
Sur	Enero 361	Enero 402	41
Este	Abril 336	Mayo 283	47
Noreste	Julio 208	Julio 254	46
Norte	Julio 156	Junio 184	28
Noroeste	Julio 192	Julio 254	62
Oeste	Julio 206	My.283	77
Suroeste	Noviembre 255	Octubre 316	61
Sureste	Enero 361	Enero 321	-10

**Nota:** Se analizaron los resultados de Radiación Solar Global ( $W/m^2$ ) para las diferentes orientaciones de superficies (tomando los valores medios desde las 8:00 hasta las 16:00 horas del mes más crítico).



**Gráfico 1 - Densidad Media de Radiación Solar Global sobre superficies**

Las diferencias alcanzan hasta los 77 W/m<sup>2</sup> (media del mes más crítico) en la fachada Oeste, siendo esta también la más crítica para el diseño del ambiente térmico de los espacios habitables.

También presentan una diferencia importante las fachadas NO (Noroeste) y SO (Suroeste) con 62 y 61 W/m<sup>2</sup> respectivamente, por lo que las superficies más afectadas se encuentran en un rango de 90° desde el SO al NO pasando por el Este.

En ambas ciudades, la mayor radiación solar se recibe en la superficie horizontal en el mes de Abril, siguiéndole la Sur y la Sureste, siendo en los dos casos Enero el mes más crítico.

Las conclusiones anteriores demuestran que existen diferencias importantes entre los climas de las dos regiones estudiadas, por lo que no se deben utilizar valores de diseño de La Habana en Camagüey y viceversa, por consiguiente, no abusar del conocido “proyecto típico”.

En este sentido, autores como los doctores en ciencias Lecha y Alvarez, a partir de estudios realizados en la región central del país, han señalado y demostrado la indiscriminada repetición de este concepto en la labor constructiva en la arquitectura.

**Tabla 2 – Teperaturas Sol-Aire (tsa) Para Cubiertas (valores de diseño)**

Categoría	Criterio para la selección de los valores	Ejemplo CAMAGÜEY.		
		a	°C	Período
I	Máxima horaria en función de “a”, para el mes más crítico.	0,5	45	Julio 1:00 pm
		0,7	51	
		0,9	56	
II	Promedio de las medias horarias.	0,5	41	Julio de 8:00 am a 4:00 pm
		0,7	45	
		0,9	50	

**Tabla 3 – Teperaturas Sol-Aire (tsa) Para Paredes (valores de diseño)**

Categoría Climática	Criterio para la selección de los valores.	Valores de diseño Orientaciones					
		a	N	NO	O	SO	S
I, II, III.	Promedio de las medias horarias.	0,5	33	33	34	33	33
		0,7	34	35	35	35	35
		0,9	35	36	37	36	38

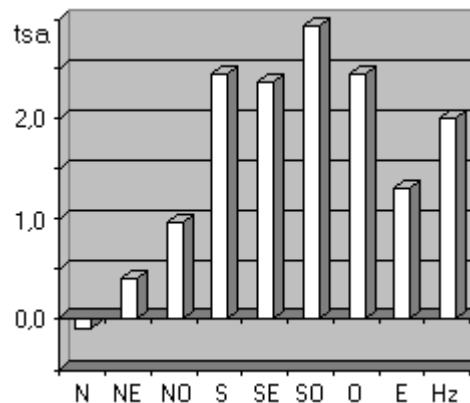
### 3.2. Temperatura Sol-Aire

A partir de la sustracción de los valores de Camagüey a los de la capital, se obtienen las diferencias de Temperatura Sol-Aire (ver tabla 4). De esta forma, se pudo comprobar que regiones relativamente próximas, de un clima considerado bastante “homogéneo”, como el de Cuba, presentan diferencias de aproximadamente 3 °C (ver gráfico 2). Como muestra dicho gráfico, la superficie de mayor diferencia es la SO, con 2,91 °C. Este máximo contraste ocurre para ambas localidades a las 2:00 pm.

También presentan diferencias significativas de *t<sub>sa</sub>* las superficies orientadas al O y SE, con valores de 2,44 y 2,35 °C, respectivamente. En el caso de la pared SE, estos valores ocurren a las 10:00 am en las dos ciudades y, en los muros Oeste, ocurre a las 3:00 pm en la capital y una hora antes en la ciudad agramontina.

**Tabla 4 - Diferencias Entre Las Medias Anuales de Temperatura Sol-Aire ( $\alpha = 0,7\%$ )**

Orientación	La Habana		Camagüey		Diferencia t <sub>sa1</sub> – t <sub>sa2</sub>
	t <sub>sa1</sub>	hora	t <sub>sa2</sub>	hora	
N	32,69	12:00m	32,77	1:00pm	-0,08
NE	33,14	10:00am	32,74	1:00pm	0,40
NO	34,10	3:00pm	33,14	2:00pm	0,96
S	38,62	12:00m	36,19	1:00pm	2,43
SE	39,39	10:00am	37,04	10:00am	2,35
SO	40,03	2:00pm	37,12	2:00pm	2,91
O	38,66	3:00pm	36,22	2:00pm	2,44
E	37,63	10:00am	36,33	10:00am	1,30
Horiz.	47,36	12:00m	45,35	12:00m	2,01



**Gráfico 2 - Diferencias entre las Temperaturas Sol-Aire (*t<sub>sa</sub>*) de las superficies en las ciudades de La Habana y Camagüey**

## 4. CONCLUSIONES

Todo el análisis anterior corrobora que, aunque estas dos regiones se encuentran relativamente cercanas, en un país pequeño y a solo 2° 7' de latitud una de otra, presentan características térmicas que difieren, lo que puede acarrear errores en el diseño de los ambientes, afectando el confort y aumentando el consumo de energéticos fósiles por concepto de acondicionamiento artificial. Se exige estudiar las condiciones microclimáticas, tomando para ello los datos de la estación meteorológica más próxima (si no existen posibilidades de realizar mediciones in-situ) y realizar la confección de herramientas de diseño (tablas, nomogramas, etc) para cada región del país.

Se demuestra la necesidad de identificar cada vez más la arquitectura con las posibilidades económicas de cada región, con su historia, apoyados por demás en las condiciones climáticas locales, permitiendo rescatar esa rica diversidad cultural de los pueblos y evitar así un mundo estéril, repetitivo, con la misma arquitectura, los mismos materiales y hasta los mismos colores. Deben existir diferencias entre los criterios de diseño para cada región del país, por lo que se pondrá aún más cuidado en la aplicación

de criterios constructivos de otras latitudes (por ejemplo, en obras turísticas), para no producir ambientes carentes de identidad, que además aumenten los consumos energéticos por concepto de acondicionamiento artificial, poniendo en peligro el entorno y el desarrollo sustentable del país.

Tener siempre en cuenta en el diseño arquitectónico la variable climática más importante del clima de Cuba, la Radiación Solar, por su incidencia en la temperatura de las superficies que conforman y afectan el acondicionamiento térmico de los espacios (no solo habitables sino también locales de conservación refrigerada de productos).

Se recomienda, al proyectar una edificación, tratar de lograr una arquitectura eficiente (costo en la vida útil) teniendo en cuenta todos los factores funcionales (geométrico-espaciales, estético-visuales y físico-ambientales) y no tener en cuenta solamente factores “económicos” (costo inicial) esperando que con pocos reajustes se obtenga un buen clima interior.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

- DE LA PAZ PÉREZ, G. y RIVERO, R. “Condiciones climáticas locales en el diseño sustentable. Radiación solar”. Memoria de la XX Reunión Nacional de Energía .Solar, Xalapa, México, 1996.
- CASTILLO MOLINA, A. “Carga térmica por radiación solar en Camagüey”, Trabajo de Diploma, Facultad de Construcciones, Universidad de Camagüey, Camagüey, Julio de 1993.
- DE LA PAZ PÉREZ, G. et al. “Parámetros exteriores para el diseño bioclimático en Camagüey”. Inédito, Universidad de Camagüey, 1995.
- ALEMANY BARRERAS, Alba, et al. “Climatología, iluminación natural y acústica. Aplicación en la arquitectura”. Departamento de Ediciones, ISPJAE, Ciudad de La Habana, 1986, -pp.161-226.
- MICONS Nacional. ”Transferencia térmica en la construcción, método de cálculo”: NC 53-103/83, Ciudad de La Habana, 1983.
- PÉREZ VALDES, O. “Aspectos Térmicos”. Física Ambiental. Folleto de postgrado. MICONS, 1989.
- CUBA. “Aire en la Zona de Trabajo”: NC 19-01-03/80, Ciudad de La Habana, 1983.