

Diseño Térmico de Edificaciones en Venezuela (*)

María Elena Hobaica K. ()**
Investigador Responsable

Asdrúbal Cermeño
Mary Judith Medina
Asistentes de Investigación

(*) El presente texto recoge el informe final de la 1a. Etapa de una investigación sobre el tema que desarrolla el IDEC con el apoyo financiero del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la UCV.

(**) Investigadora del IDEC-FAU-UCV

INTRODUCCION

El presente trabajo sobre el diseño de edificaciones en clima cálido surge ante la posibilidad de contribuir a llenar un vacío existente en el país en cuanto a estudios específicos relativos al comportamiento de las edificaciones frente al clima del trópico.

De las pocas investigaciones realizadas sobre el tema, algunas son de carácter general, mientras que otras constituyen una introducción al problema que nos motiva a su continuación

El objetivo central es lograr establecer durante el proceso de diseño de edificaciones sus características térmicas, mediante un procedimiento que permita de manera rápida ajustar las distintas soluciones a criterios de "confort" adecuados a nuestro clima.

El proyecto planteado se inscribe en el área de Requerimientos de Habitabilidad de las Edificaciones, la cual conjuntamente con las áreas de Economía de la Construcción y Desarrollo Tecnológico constituyen la estructura académica del IDEC.

El área de Requerimientos de Habitabilidad surge como complemento indispensable para el desarrollo de tecnologías en el campo de las edificaciones; entendiéndose que proporcionar las condiciones de habitabilidad a una edificación significa certificar su calidad en función a las

exigencias de los usuarios. Para ello es necesario, por una parte, el conocimiento de las técnicas e instrumentos necesarios para la comprobación del comportamiento de las edificaciones frente a los distintos rubros que conforman la habitabilidad, y por otra parte, la determinación de parámetros indicativos del nivel de calidad, tanto de los componentes como de la edificación misma.

Los requerimientos de Habitabilidad de las Edificaciones contemplan entre otros los ámbitos siguientes:

Localización, seguridad, áreas mínimas, calidad espacial, higiene, protección ambiental, iluminación y calidad de la luz, comportamiento térmico y acústico, aspectos comunitarios, privacidad, problemas visuales, percepción del mundo exterior, servicios, durabilidad, etc.

Puede afirmarse que la calidad de una construcción se caracteriza por la mayor o menor satisfacción de las aspiraciones y necesidades de los usuarios, las cuales vienen dadas por factores objetivos y subjetivos. El factor objetivo se plantea en términos de exigencias humanas respecto a la edificación, las cuales deben apoyarse en reglas de calidad interpretadas en un sentido amplio; es decir, fijando los objetivos de calidad y no los medios. El factor subjetivo se refiere a la calidad de la vida o "confort" que pueda ofrecer la edificación a sus habitantes. En efecto, la noción de confort no depende únicamente de elementos físicos; en ella intervienen factores psicológicos y sociales más complejos de medir, planteándose, por tanto, la realización de juicios subjetivos sobre la base de normas de referencia que sean objeto de un consenso general. En lo que respecta a la apreciación técnica de la calidad, son posibles distintos tipos de justificaciones:

- Justificación científica, por la aplicación de leyes físicas o reglas de cálculo.
- Justificación tecnológica, comparando la tecnología considerada con las reglas del arte, ya aprobadas por la tradición.
- Justificación experimental, en laboratorios de ensayo, prototipos y en la edificación misma.

Con ello se persigue reducir al mínimo los aspectos subjetivos, profundizando en los conocimientos y técnicas que incidan en la construcción de edificaciones de certificada calidad, sin que ello represente un encarecimiento sustancial.

En efecto, la posibilidad de garantizar objetivamente un determinado nivel de calidad constituye un incentivo para el Desarrollo Tecnológico en el campo de las Edificaciones, ya que ello permitiría superar la visión actual, según la cual el aval de la calidad de una edificación sólo es factible a través de la experiencia constructiva, afianzándose en consecuencia una forma única de construir.

Evidentemente, el campo de los Requerimientos de Habitabilidad es lo suficientemente vasto como para conformar en sí mismo un área de conocimiento, dentro de la cual el proyecto propuesto constituye sólo un aspecto parcial del ámbito señalado como comportamiento térmico. No obstante, el logro de las metas propuestas significaría un importante aporte cuya difusión contribuiría a capacitar al diseñador para controlar objetivamente las condiciones ambientales internas a las edificaciones a través del proceso de diseño. Entendiéndose éste en su aceptación más amplia, la cual incluye desde el diseño y/o selección de la tecnología apropiada, hasta la construcción de la edificación.

La apertura de este campo del conocimiento para los diseñadores tiene sentido en la medida en que se promuevan otras investigaciones tendientes a determinar un conjunto de exigencias de confort térmico en función de los usuarios de edificaciones a nivel nacional, siendo éste un aspecto fundamental para avanzar hacia la definición de criterios y/o parámetros de calidad como respuesta a dichas exigencias. En resumen: el alcance a corto plazo del presente trabajo es cumplir con el objetivo central expuesto, sin perder de vista su significado en cuanto a que representa la primera etapa de un proceso global que debe ser objeto de ulteriores investigaciones.

OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del presente proyecto de investigación es el establecimiento de las condiciones internas de temperatura en edificaciones, mediante un procedimiento sencillo y de rápida utilización, cuya incorporación al proceso de diseño permita adecuar las soluciones propuestas a criterios térmicos definidos.

El interés a mediano y largo plazo es fijar las pautas para el desarrollo, en ulteriores investigaciones, de **Índices Térmicos y Rangos de Confort**,¹ apropiados a nuestro país, a partir de los cuales sea posible fijar el nivel de calidad térmica de las edificaciones.

1 Los estudios realizados hasta el presente han demostrado que, para la definición de rangos o zonas de confort acordes a la realidad, es indispensable evaluar los efectos combinados sobre el ser humano de los factores que conforman el ambiente y expresar esta combinación bajo la forma de una fórmula única conocida como índice térmico. No obstante, las tentativas realizadas tropiezan con una dosis de subjetividad; ya que se trata de lograr una estimación generalizable de las reacciones psicofisiológicas del usuario frente a los efectos conjugados de los factores climáticos; la actividad y la tasa de sudoración.

Hasta donde hemos podido indagar, para el usuario venezolano, no se ha desarrollado un Índice Térmico; sin embargo, se han realizado estudios sobre la definición de zonas de confort basadas en índices térmicos de referencia a los cuales nos remitiremos de considerarlo conveniente para el logro de nuestro objetivo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Adecuación y ajustes a un procedimiento teórico existente, concebido para determinar condiciones internas de temperatura en edificaciones situadas en regiones de clima templado, a fin de ampliar su campo de aplicación a clima cálido tropical.
- Verificación del nivel de aproximación a la realidad del procedimiento modificado mediante su confrontación con un procedimiento empírico. Comparando, para edificaciones y/o prototipos seleccionados como "casos de estudio; los valores de temperatura interior registrados "in situ", con los valores obtenidos por la aplicación del método.
- Definición del alcance del método de cálculo, como instrumento para el diseño térmico. Interés del método para el establecimiento de reglas de calidad.

METODOLOGIA

De acuerdo a la metodología establecida, el proyecto consta de dos partes: un estudio teórico y una fase empírica. En el presente informe sintetizamos los avances y logros llevados a cabo hasta el presente.

Para el desarrollo de la fase teórica se parte de un procedimiento existente, concebido para determinar las condiciones internas de temperatura, en edificaciones afectadas por factores correspondientes a clima templado.

En base a la formulación de hipótesis relativas a especificidades del clima venezolano y su incidencia sobre el comportamiento térmico de las edificaciones, se realizan ajustes y modificaciones al procedimiento original, a los fines de ampliar su campo de aplicación a clima cálido tropical.

Una vez realizadas las primeras modificaciones al procedimiento teórico, se programa la fase empírica del proyecto, seleccionándose para ello una muestra conformada por prototipos y/o edificaciones, en base a diversos criterios tales como: combinación, condiciones climáticas, de ocupación, tipologías tecnológicas, etc.

La determinación de las características térmicas, en los "casos de estudio" seleccionados, se efectúa mediante el registro en forma continua de los parámetros climáticos internos y externos, durante un período establecido. Paralelamente y bajo idénticos parámetros se aplica el procedimiento teórico a fin de verificar mediante la comparación

de ambos resultados el nivel de aproximación a la realidad de dicho método y por consiguiente, su utilidad como instrumento de apoyo para el diseño térmico de edificaciones en clima cálido tropical.

A continuación se exponen a grandes rasgos el plan de trabajo establecido para la 1ra. etapa del proyecto de investigación.

1. Estudio bibliográfico de los siguientes temas:

- La construcción de edificaciones en clima cálido tropical.
- Comportamiento de las edificaciones frente a los fenómenos de transmisión térmica.

2. Análisis de un procedimiento simplificado de cálculo, desarrollado en el Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), cuyo objetivo es la determinación de manera rápida, desde la fase de diseño, de las características térmicas en locales de edificaciones, mediante el conocimiento de los aportes y pérdidas calóricas que se producen en dichas edificaciones al estar sometidas a condiciones de clima templado.

3. Realización de un primer ajuste al procedimiento original en base a hipótesis debidamente justificadas, a fin de ampliar su campo de aplicación a edificaciones sometidas a condiciones de clima cálido tropical.

4. Desarrollo de la fase experimental del proyecto; la cual consiste en el registro en forma continua y durante un período determinado, de las características térmicas de edificaciones seleccionadas para tal fin, en base a criterios tipológicos, climáticos y de ocupación.

4.1 Selección de las edificaciones y diseño del proceso de experimentación:

- Elaboración de planillas de recolección y procesamiento de los siguientes datos para cada una de las edificaciones en estudio:
 - Radiación solar global y/o directa y difusa
 - Insolación
 - Velocidad y dirección del viento
 - Temperatura del ambiente exterior
 - Temperatura del ambiente interior
 - Temperatura superficial
 - Humedad relativa exterior e interior.

4.2 Definición de las condiciones y características de los locales de estudio. Determinación del período de realización de dicha experiencia en base a los objetivos propuestos, a los recursos disponibles y a las limitaciones de tiempo.

4.3 Organización y procesamiento de la información recopilada a fin de obtener los resultados requeridos en base a los objetivos planteados.

5. Aplicación del procedimiento teórico a las edificaciones seleccionadas como casos de estudio, manteniendo los mismos parámetros utilizados en la experiencia práctica, a fin de iniciar un proceso de verificación del nivel de aproximación a la realidad del método aplicado, a edificaciones sometidas a clima cálido tropical.

6. Realización de un ejemplo de aplicación del método en un proyecto específico desarrollado por el IDEC, a fin de obtener algunas conclusiones referentes a la utilidad del procedimiento como instrumento para el diseño térmico de edificaciones en clima cálido tropical.

DESARROLLO DEL METODO DE CALCULO DE LA TEMPERATURA INTERIOR

La definición del presente método se basa en un procedimiento similar, desarrollado en el Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) de Francia, organismo público de Desarrollo y Asistencia Técnica de la Construcción, orientado hacia el control de la calidad de las edificaciones como medio para lograr un nivel de confort adecuado para los usuarios.

El procedimiento original para clima templado permite determinar la temperatura máxima alcanzada al interior de una edificación en función a sus características constructivas y al clima exterior.

A través de un proceso de análisis se inician las modificaciones al procedimiento original a los fines de su aplicación en el trópico. Para ello se formulan un conjunto de hipótesis a partir de las características climáticas predominantes resumidas brevemente a continuación.

El clima de Venezuela se considera en forma general como tropical húmedo, con variaciones y especificidades relacionadas fundamentalmente a la altitud. Las temperaturas son elevadas y siguen un régimen diurno constante a lo largo del año.

La temperatura media anual es del orden de 27°C en una amplia y poblada zona del país, existiendo poca amplitud entre las temperaturas medias mensuales.

Por el contrario, la amplitud diaria es relevante. Las temperaturas máximas pueden alcanzar valores extremos cercanos a los 40°C. En las zonas montañosas las temperaturas son más bajas, disminuyendo de 0.4 a 0.5°C por cada 100 mts. de desnivel. La amplitud de la temperatura media mensual es muy débil, pero la amplitud diurna es muy elevada.

La posición que ocupa el territorio venezolano entre los paralelos extremos 1° Norte y 12° Norte lo sitúa en la zona intertropical de bajas presiones ecuatoriales donde se manifiesta la influencia de los vientos Alisios del noreste correspondientes al Hemisferio Norte y los Alisios del sureste provenientes del Hemisferio Sur.

En consecuencia de la circulación general de la atmósfera sobre el territorio venezolano, es posible distinguir dos períodos denominados comúnmente Verano (período de sequía que se prolonga desde Diciembre hasta Abril) e Invierno (período de lluvias a partir de mediados de Abril hasta Noviembre).

Se observa por lo general dos meses cálidos, uno al final del período de sequía y otro al final del período de lluvias. Los dos meses más fríos se manifiestan en Diciembre y Enero.

El vapor de agua contenido en la atmósfera es muy importante, presentándose tasas de humedad relativa frecuentemente vecinas a 80 y 90%.

La intensidad de la Radiación Solar es de gran magnitud; no obstante, la proporción de Radiación Directa y Difusa varía según la nubosidad.

Tomando en consideración la especificidad del clima venezolano se plantean como hipótesis generales de trabajo las siguientes:

El procedimiento original permite obtener la temperatura máxima, alcanzada al interior de una edificación, durante una secuencia cálida de verano. Su aplicación a clima cálido-tropical justifica la determinación de valores medios de temperatura al interior de las edificaciones, puesto que éstos frecuentemente sobrepasan los límites de confort térmico.

Para el cálculo de la temperatura máxima interior a partir del procedimiento original sólo se consideran como aportes calóricos aquellos que penetran por orificios y ventanas a la edificación. Para determinar valores medios de temperatura en edificaciones situadas en clima tropical húmedo, es fundamental tomar en cuenta los aportes calóricos a través de paredes y te-

chos, por su incidencia manifiesta sobre el incremento de la temperatura interior.

- El rol de la ventilación varía según se aplique a clima templado o a tropical húmedo. En el primer caso, la función de la ventilación es el mantenimiento de la calidad del aire dentro de la edificación mediante el reemplazo del aire viciado por la ocupación por aire fresco del exterior (ventilación higiénica). En clima tropical húmedo la ventilación juega doble rol. Por una parte es el factor mediante el cual se mantiene la higiene del local, y por la otra, interviene directamente como elemento de confort, dada la incidencia de las pérdidas calóricas por ventilación sobre la temperatura interior.

Paralelamente a las hipótesis anteriores, se asumen un conjunto de simplificaciones tendientes a hacer accesible y funcional el método, facilitándose así su aplicación durante el proceso de diseño de edificaciones e incluso como instrumento de evaluación en edificaciones ya construidas.

A continuación se destacan los aspectos fundamentales del método simplificado y modificado; a partir del cual es posible determinar la temperatura interior del ambiente en edificaciones, para un período considerado, tomando para ello en cuenta factores de ocupación, las características constructivas de la edificación y los parámetros del clima inmediato; fundamentalmente la temperatura del aire y la radiación solar.

Se parte de las siguientes premisas:

- Suponemos que el régimen de temperatura exterior y de asoleamiento es periódico, es decir, idéntico día a día durante tiempo indefinido.
- Suponemos que las características de la construcción pueden ser constantes y/o periódicas.

Lo cual trae como consecuencia que las condiciones interiores son periódicas y que las ecuaciones de intercambio térmico son lineales en temperatura y asoleamiento. El fenómeno global de comportamiento térmico de una edificación puede desagregarse entonces en dos fenómenos parciales independientes, correspondientes respectivamente a las condiciones exteriores siguientes:

- Asoleamiento nulo y variación periódica de temperatura.
- Temperatura constante que suponemos nula y variación periódica del asoleamiento.

La temperatura interior es por consiguiente la suma de dos fenómenos parciales:

1. La temperatura interior producto de los cambios térmicos, sin considerar los aportes solares.
2. El suplemento interior de temperatura producido por los aportes solares.

1. Determinación de la onda de temperatura interior; considerando que la temperatura exterior varía periódicamente y que el asoleamiento es constantemente nulo.

La temperatura interior es función de los intercambios térmicos entre el exterior y el interior de la edificación, los cuales son producto de:

- **La ventilación** $0.3 Q (t_i - t_e)$
 0.3 : Calor específico del aire
 Q : gastos horario de renovación del aire
 t_i, t_e : temperatura interior y exterior
- **Los cambios a través de las paredes exteriores** $SK_m (t_i - t_e)$
 S : Superficie de la pared
 K : Coeficiente de transmisión térmica
 m : Coeficiente de amortización, función de la inercia de la pared.
 t_e y t_i : Son las temperaturas exterior e interior consideradas con un cierto desfase, el cual es función de la inercia de la pared.
- **Los cambios con las paredes interiores:** $S_i h_i (t_i - O_i)$
 S_i : Superficie pared interior
 h_i : Coeficiente de cambio superficial
 t_i : Temperatura interior
 O_i : Temperatura de la superficie de la pared interior cuyas variaciones siguen las de (t_i) con una amortización y un retardo función de la inercia de la pared.

La onda de temperatura exterior retenida como condición climática de base se asimila a una senoide. Dada la forma lineal de las ecuaciones de cambios térmicos, la onda de temperatura interior es igualmente una senoide para el mismo período (24 horas) más o menos desfasada y amortizada.

La amortización es menor en tanto que los cambios entre el exterior y el interior por ventilación y transmisión a través de las paredes son mayores. Por el contrario, la amortización es mayor en tanto que la inercia es mayor.

La temperatura media interior (T_{im}), es por tanto igual a la temperatura media exterior (T_{em}), pero la amplitud de sus variaciones (E_i) es inferior a la amplitud de las variaciones de la temperatura exterior (E_e).

$$T_{im} = T_{em} \quad E_i < \wedge E_e$$

- ∧ Es un coeficiente sin dimensión inferior a 1; llamado coeficiente de amortización de la onda de temperatura en ausencia del sol.

Ahora bien, resulta factible, en lo que respecta al primer fenómeno parcial, no tomar en consideración para efectos del método los cambios térmicos debidos al calentamiento de los materiales (inercia térmica). Limitándonos por tanto a la expresión según la cual la temperatura exterior (T_e) es igual a la temperatura media interior (T_i), en ausencia de los aportes solares. Ello está plenamente justificado en los casos siguientes:

- El régimen puede suponerse constante y por tanto permanente.²
- El régimen es variable y periódico, pero se trabaja con valores medios de temperatura.³
- La masa de los materiales corresponden a una inercia térmica débil o mediana.⁴

En efecto, tal y como se expresa en una de las hipótesis previas, con el presente procedimiento se persigue poder determinar en una primera instancia la TEMPERATURA MEDIA INTERIOR, para un período determinado, lo cual nos permite trabajar despreciando la influencia de la inercia, tanto en régimen variable como en régimen permanente. Por otra parte, en relación al tipo de inercia; la mayor parte de las edificaciones representativas en nuestro país se corresponden con la clasificación de inercia débil o mediana, siendo casi inexistentes las de inercia fuerte.

2. Suplemento de Temperatura Interior

Para el segundo fenómeno parcial se considera que la Edificación recibe un asoleamiento periódico, y que la temperatura exterior es constante por lo que puede considerarse nula.

La temperatura interior es el resultado de un equilibrio entre dos tipos de cambios térmicos:

En primer lugar, los cambios térmicos analizados precedentemente (ventilación y transmisión a través de las paredes); en relación a los cuales, concluimos que las temperaturas medias interior y exterior son iguales. Y en segundo lugar, los aportes solares transmitidos a la edificación, para cuyo cálculo hemos supuesto que la temperatura exterior es constante y nula.

Si suponemos que el régimen es permanente, es posible plantear el esquema siguiente:

\mathcal{Q}_s	=	Flujo debido a la radiación solar.
\mathcal{Q}_t	=	flujo debido a la diferencia de temperatura ($t_i - t_e$) (Admitiendo que el ambiente está a la temperatura del aire y que los intercambios son globales).
\mathcal{Q}_c	=	flujo de calor sensible suministrado al local, considerado nulo si la ventilación es natural.

En régimen permanente $\mathcal{Q}_s + \mathcal{Q}_t + \mathcal{Q}_c = 0$

\mathcal{Q}_s Caracteriza los aportes debidos a la Radiación Solar (directa, difusa y reflejada), los cuales son transmitidos a la edificación a través de techos, paredes, ventanas y orificios.

El suplemento interior de temperatura debido al sol es igual a:

$$\Delta t_{is} = \frac{P}{G_i + 0,33 N}$$

La temperatura media interior (t_{im}) es igual a:

$$t_{im} = \Delta t_{is} + t_{em} \quad t_{im} = \text{Suplemento interior de temperatura más temperatura media exterior.}$$

$$P = \frac{\mathcal{Q}_s}{V} \left(\frac{w}{m^3} \right) P = \text{Relación entre los aportes solares medios y el volumen de la edificación.}$$

\mathcal{Q}_s = Es el flujo transmitido a la edificación si suponemos nulas las temperaturas exterior e interior. Es la suma de los flujos que penetran por las distintas paredes, techos y ventanas sometidos a la radiación solar.

2 Suponemos todo el ambiente exterior a la temperatura del aire (t_e) la cual consideramos constante.

3 Consideramos el ambiente exterior a temperatura variable a cada instante y suponemos dichas variaciones periódicas.

4 La determinación de la inercia es posible mediante un simple cálculo expuesto en anexo.

$$FSP = \frac{\infty}{h_e \left(\frac{1}{h_e} + r + \frac{1}{h_i} \right)}$$

La cantidad de flujo transmitida al interior depende de un factor solar (FSP), el cual se define como la relación entre el flujo transmitido y el flujo incidente. Dicho factor solar depende a su vez de las características de los componentes constructivos y de los coeficientes de cambio globales exterior e interior de h_e y h_i .

∞ = Factor de absorción de la superficie de la pared o su equivalente si existe una protección solar.

r ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / w$) = Resistencia térmica de la pared considerada

e = Espesor de la pared

$T = \frac{e}{\lambda} = \frac{(m)}{(w / m \text{ } ^\circ\text{C})}$ = Conductividad térmica de un material.

$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$ ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / w$) = Resistencia térmica de los cambios superficial exterior e interior.

A cada instante, la repartición del flujo solar sobre los distintos componentes de la edificación es función de la orientación, del tipo de protección, del ambiente exterior, de la latitud, del instante del día y del día del año; y del tipo de tiempo (porcentaje de nubosidad).

En consecuencia, la caracterización del flujo, debido a la Radiación Solar, sólo podrá realizarse para condiciones particulares.

En lo que se refiere al caso específico de las ventanas, el factor solar se establece empíricamente por las dificultades para calcularlo.

El coeficiente (P) caracteriza una edificación para:

- Un día tipo de asoleamiento
- Un tipo de ambiente (albedo)
- Las condiciones de ventilación de las paredes (h_i , h_e)

El cálculo práctico del coeficiente (P) puede hacerse:

1. Para los valores reales de asoleamiento del sitio
2. A partir de superficies horizontales equivalentes.

1. Para el primer caso sólo se considera un tipo de tiempo (valores medios para el período de asoleamiento). Por lo que el cálculo no requiere diferenciar la Radiación

Directa de la Radiación Difusa, calculándose en forma global.

Si multiplicamos la energía incidente media para el período considerado por el factor solar y por la superficie de los distintos componentes y sumamos todos los resultados, obtenemos la potencia transmitida a la edificación (RTR)

$$P = \frac{RTR}{V} \quad (= W / m^3)$$

$RTR = RI \times FSP \times S$

RI = Radiación solar incidente (Valor tabulado)

FSP = Factor solar de la pared

S = Superficie considerada.

2. Para el cálculo del coeficiente (P) a partir de la noción de superficies equivalentes se requiere separar el flujo correspondiente a radiación directa, del flujo correspondiente a radiación difusa, siendo los flujos considerados valores medios diarios.

Superficie transparente equivalente horizontal para la radiación directa (SHR). Es la superficie transparente horizontal que recibiría un flujo igual a aquél que dejaría pasar la superficie considerada si la radiación solar sólo fuera directa.

Dicha superficie es función de la pared (naturaleza, orientación, protección); del sitio (albedo y latitud) y del día del año (razonando en valores medios diarios), ya que el curso del sol interviene.

Los factores de reducción (FRR) para la radiación directa vienen dados por tablas tabuladas en función a las sombras, orientación, sitio y día.

$SHR = FRR \times FSP \times S$

FRR = Factor de reducción radiación directa

FSP = Factor solar de la pared

S = Superficie

Superficie transparente equivalente horizontal para la radiación difusa (SHD). El proceso es el mismo que anteriormente, con la diferencia que al considerar a la radiación difusa como isotrópica, el curso del sol no interviene y el resultado es independiente de la latitud, del día del año y de la orientación de la superficie considerada (pero no de su inclinación).

Los factores de reducción para la radiación difusa (FRD) vienen igualmente dados en tablas tabuladas.

$$\text{SHD} = \text{FRD} + \text{FSP} \times \text{S}$$

FRD = Factor de reducción radiación directa

FSP = Factor solar pared

S = Superficie

Una vez conocidos los valores medios de las potencias horizontales de la radiación directa y la difusa en función del tipo de tiempo y del período considerado, es posible calcular el valor del coeficiente (P).

(P) Tipo de tiempo

- Cielo claro
- Cielo ligeramente cubierto
- Cielo medianamente cubierto
- Valores reales del sitio

Meses del año

$$(P) = \frac{\text{SHR} \times \text{Radiación Directa} + \text{SHD} \times \text{Radiación Difusa}}{\text{Volumen}}$$

Una vez obtenido el valor de (P) a partir de alguno de los métodos anteriores, se realiza el cálculo del suplemento de temperatura interior originado por los aportes solares.

$$\Delta t_{is} = \frac{P}{G_1 + 0.33 N}$$

$$G_1 = \frac{\sum K S}{V} \quad (w / m^3 \text{ } ^\circ\text{C})$$

G_1 = Pérdidas térmicas por 1°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y divididas por el volumen habitable

$$\frac{1}{K} = \frac{\sum c}{T} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$$

$m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / w$

K = Flujo de calor que atraviesa $1M^2$ de pared por una diferencia de temperatura de 1°C entre los 2 ambientes que separan la pared.

$0,33 N$ = Pérdidas por renovación del aire, las cuales son igual al calor volumétrico específico del aire por el volumen de aire renovado $Q = NV$, siendo N una cifra sin dimensión que representa la taza horaria de renovación del aire.

Finalmente, estamos en capacidad de conocer la temperatura media interior, la cual es la suma de los dos fenómenos parciales previamente expuestos, a saber:

1. La temperatura media interior (t_{im}) producto exclusivamente de los cambios térmicos sin considerar los aportes solares, la cual es igual a la temperatura media exterior (t_{em}).

$$t_{im} = t_{em}$$

2. El suplemento interior de temperatura (Δt_{is}) producido por los aportes solares.

$$\Delta t_{is} = \frac{P}{G_1 + 0.33 N}$$

Por lo tanto, la temperatura media interior es igual a la suma del suplemento de temperatura más la temperatura media exterior.

$$t_{im} = \Delta t_{is} + t_{em}$$

DESARROLLO DE LA FASE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO

Dicha fase tiene por objeto la obtención a partir de un procedimiento empírico, de valores medios de temperatura ambiente y superficial al interior de edificaciones y/o prototipos seleccionados para tal fin. Los resultados arrojados por dicho estudio se confrontan con los obtenidos por la aplicación bajo idénticos parámetros del procedimiento teórico. Esta confrontación entre teoría y práctica nos permite realizar una primera evaluación del procedimiento teórico en cuanto a su nivel de simplificación y de aproximación a la realidad.

Para la primera etapa del proyecto se han llevado a cabo dos experiencias paralelas en edificaciones de distinta índole. Por una parte, se analizó la Sede del Departamento de Meteorología e Hidrología de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., la cual es una edificación representativa de una construcción tradicional.

Y por otra parte, se realizó la 1ª Fase del Estudio Térmico del SICUP, Sistema Constructivo en Resina de Polyester reforzado con Fibra de Vidrio. Tecnología desa-

rollada por el IDEC para construcciones de bajo costo y múltiples usos como son: instalaciones agropecuarias, de emergencia, instalaciones industriales, viviendas provisionales, etc.

Para efectos de dicho estudio se construyó un prototipo del SICUP en su primera versión en los terrenos del Departamento de Meteorología e Hidrología; contándose por tanto para ambos casos de estudio con los datos meteorológicos de la estación situada en los terrenos del propio Departamento⁵

Para la obtención de los valores medios internos de temperatura requeridos, se elaboró un documento de experimentación, el cual expresa la información correspondiente, por una parte, a las características constructivas de las edificaciones en estudio; y por otra, a los datos climatológicos exteriores para el período considerado relativos a:

- Radiación solar
- Insolación
- Velocidad y dirección del viento
- Humedad relativa
- Temperatura exterior
- Cantidad y tipo de vegetación
- Urbanismo circundante.

Paralelamente a la recolección de los datos exteriores, se llevó a cabo durante el mismo período el registro continuo de la temperatura del ambiente interior y de las superficies de ambas edificaciones, así como de la humedad relativa.

Toda la información recopilada fue procesada en función al objetivo de conocer para distintos lapsos dentro del período de estudio y para el período en su totalidad los valores medios de temperatura interior. Resaltándose igualmente valores diarios y mensuales de temperatura máxima y mínima.

Una vez concluido el proceso de mediciones y ordenamiento de los datos, se realizó el modelo teórico, reproduciéndose para ello, en la medida de lo posible, los parámetros de la prueba empírica correspondientes a datos exteriores y características constructivas de las edificaciones.

Partiendo de dicha base se aplicó el procedimiento de cálculo de la temperatura media interior, con el objeto de

confrontar estos resultados con los obtenidos empíricamente para así dar inicio al proceso de evaluación de dicho método.

A tal efecto, como primera aproximación al problema se realizaron comparaciones entre los resultados prácticos y teóricos tanto para el SICUP como para la Edificación Sede del Departamento de Meteorología. Obteniéndose resultados dentro de rangos de similitud aceptables. Haciendo la salvedad del carácter aún parcial de los resultados obtenidos, así como de la flexibilidad planteada por ser ésta un área que generalmente ha estado signada por un bajo nivel de precisión y por una alta dosis de subjetividad.

Por último, se tomó el caso específico del Sistema en Plástico Reforzado (SICUP), a fin de efectuar un ejemplo real de diseño térmico a partir de la aplicación del método de cálculo de la temperatura interior.

Ello respondió a su vez a una solicitud al IDEC por parte de la Armada para proyectar y construir un puesto fronterizo de 400 mts² con dicho Sistema en una zona próxima al Río Meta, caracterizada por sus elevadas temperaturas y alto porcentaje de humedad durante todo el año.

En este sentido, nuestra participación en el equipo de diseño estuvo orientada hacia la evaluación térmica, para lo cual se aplicó el método de cálculo de la temperatura interior a las distintas soluciones propuestas, realizándose ajustes de diseño hasta obtener valores medios de temperatura interior iguales a los valores medios de temperatura exterior a la sombra.

Recientemente se concluyó la construcción del puesto fronterizo, realizado a partir del proyecto referido, por lo que dicha construcción fungirá como prototipo con el apoyo logístico de la Armada, a los fines de plantearse como caso de estudio para la 2ª Etapa del presente proyecto, con la doble finalidad de continuar la evaluación del método y el mejoramiento térmico del Sistema SICUP.

CONCLUSIONES

Tal y como lo señaláramos en los objetivos, el método expuesto constituye un instrumento de apoyo para el diseñador, en tanto que permite determinar, durante el proceso de diseño de una edificación, la temperatura interior en función a las características constructivas y a los datos climáticos exteriores.

Para la adaptación de dicho método a condiciones climáticas tropicales se diferenciaron los aspectos básicos

5 Es importante señalar que el período de experimentación para la Sede del Departamento de Meteorología fue de un año, mientras que en el prototipo del SICUP se comenzaron las mediciones en el mes de marzo de 1988, obteniéndose resultados parciales los cuales serán completados en la 2ª Etapa del presente proyecto de investigación.

sobre los fenómenos térmicos comunes a cualquier tipo de clima de aquéllos específicos a clima cálido tropical.

Igualmente se mantuvo como principio la búsqueda de simplificación de los parámetros que intervienen en la determinación de la temperatura interior, mientras ello no incidiera en la veracidad del método en relación a la realidad.

En este sentido, es posible inferir que para la 1ª Etapa del Proyecto los resultados obtenidos por la aplicación del método teórico se aproximan dentro de rangos aceptables a los recabados empíricamente. No obstante, son resultados aún parciales, no generalizables, los cuales deben ser corroborados mediante la realización de un número mayor de registros de temperatura en edificaciones variadas.

Asimismo es importante señalar que dicho método permite determinar, y en consecuencia controlar, uno de

los factores fundamentales que intervienen en la definición de un índice confort, como es la temperatura. Constituyéndose por tanto, en base y punto de partida para la determinación de dicho índice, como objetivo para diseñar racionalmente edificaciones térmicamente confortables.

En efecto, como ya se indicó, se efectuó un ensayo con carácter experimental de mejoramiento térmico del SICUP, aplicando el método teórico. Para ello se participó directamente desde la fase de diseño, calculándose, mediante dicho método, la temperatura interior alcanzada para las distintas proposiciones, buscándose en este proceso aproximarse en lo posible a los rangos de confort admitidos.

Para ello se tomó como referencia la zona de confort de la estación de Guasualito definida por Jean Luc Barisain en el Trabajo: "Análisis de datos climatológicos de Venezuela adaptados al confort térmico" (Julio 87).