PROYECTO DE INVESTIGACION DEL IETcc PARA EL AHORRO DE ENERGIA EN EDIFICACION BAJO CONDICIONES VARIABLES DE CLIMA Y USO

190-3

Arturo García Arroyo
Dr. en Ciencias Físicas
Equipo de Ahorro de Energía

introducción general al proyecto

Las tres cuartas partes del consumo anual de energía en España proceden del exterior, lo que sitúa al país en el sexto lugar de los importadores de petróleo, después de EE.UU., Japón, Alemania, Francia e Italia.

TABLA I
IMPORTACION DE PETROLEO (1979)

Países	Millones de t
Estados Unidos	348
Japón	249
Alemania	129
Francia	120
Italia	97
España	50

El coste de la factura energética debida a los productos orgánicos durante el año pasado se eleva a catorce mil millones de dólares, lo que representa una repercusión sobre cada familia española de ciento sesenta mil pesetas.

No obstante, con ser grave esta circunstancia, queda empañada ante la previsión de la Workshop on Alternative Energy Strategies, organización patrocinada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) según la cual, en la década 1985-95, la demanda de petróleo superará a la oferta. Y no debe olvidarse que se trata del mercado de un producto que, inevitablemente se agotará con el siglo, a pesar de que se confirme la importancia de la magnitud de los yacimientos siberianos recientemente descubiertos.

TABLA II
CONSUMO INTERIOR BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA
(1979)

	%
Carbón	15,24
Petróleo	65,41
Gas Natural	1,93
Energía Hidroeléctrica	15,43
Energía Nuclear	1,99

TABLA III
CONSUMO FINAL DIRECTO (1979)

	%
Industria	51,51
Transportes	23,50
Agricultura y Pesca	5,86
Usos domésticos	12,63
Servicios y usos diversos	6,50

El mundo está, al parecer, ante uno de esos momentos críticos de la humanidad en que se origina un proceso de cambio cualitativo de su trayectoria. La crisis energética, lejos de significar un problema meramente coyuntural va a acarrear una transformación, dada su repercusión social, en la forma de vivir, en los sistemas de producción, y por ende, en las estructuras económicas y políticas.

En España, el problema energético se ataca mediante las acciones programadas por el Plan Energético Nacional (PEN) aprobado el año pasado en las Cortes. El PEN propone las siguientes actuaciones principales:

- fomento de los recursos energéticos propios (prospección y explotación de yacimientos carboníferos, de uranio, y aprovechamientos hidrológicos);
- desarrollo de energías alternativas (biomasa, eólica y solar); y
- política de conservación energética (normas, reglamentos y directrices) que moderen el consumo en los sectores de la industria, del transporte y usos domésticos, sobre los cuales recae el 90 % del consumo total nacional.

En estas dos últimas líneas de actuación se encuentra enmarcado el proyecto de investigación que aquí se presenta y que el Equipo de Investigación de Ahorro de Energía en la Edificación, del Instituto Eduardo Torroja, está llevando a cabo.

BALANCES ENERGÉTICOS FUTUROS

CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA
EN MILLONES DE GIGAVATIOS HORA

1.—Energía eólica y mareomotriz. 2.—Carbón. 3.—Fusión nuclear. 4.—Solar y fusión termonuclear. 5.—Arenas y esquistos bituminosos. 6.—Gas. 7.—Petróleo. 8.—Energía hidroeléctrica.

1.—Petróleo (treinta años).
2.—Carbón (trescientos treinta años).
3.—Uranio con reactores reproductores (mil años).
4.—Fusión nuclear (un millón de años).
5.—Energía solar (cinco mil millones de años).

Hipótesis de durabilidad de diversas fuentes energéticas. (Gráficos: Monografía núm. 6 «El Instalador»).

justificación

El problema de la crisis petrolífera no debe tomarse en modo alguno como la única, ni siquiera como la principal, razón de una política energética más racional en el sector de la edificación. Los actuales niveles de consumo no son más que la constatación negativa de una práctica inconsciente de construir. Durante décadas se ha venido edificando, por razones poco o nada justificables, con una casi absoluta ignorancia de los requerimientos mínimos admisibles del aislamiento térmico de los cerramientos de los recintos habitacionales. Poco importaba el control natural del clima de un lugar determinado a través de la selección de los materiales más idóneos empleados en la construcción, de la combinación de ellos según criterios de máxima funcionalidad o del diseño óptimo de espacios, huecos u orientaciones.

Normalmente, las condiciones de bienestar de un recinto en cuanto a temperatura, humedad y ventilación se refiere, se fiaban al empleo indiscriminado de equipos y sistemas mecánicos de calefacción y aire acondicionado, sin importar gran cosa la cantidad de combustible o de divisas —que es lo mismo— que debían arder en los generadores de calor y frío.

Por otra parte y paralelamente, mientras el nivel de vida aumentaba, el progreso tecnológico permitía la elevación de las exigencias mínimas de confortabilidad de los ambientes interiores. Los nuevos materiales, procedimientos y sistemas constructivos aparecen impetuosamente en el mercado tras una publicidad «agresiva» que casi nunca presenta las bondades junto a las contraindicaciones, como están obligados a hacer los fármacos.

Los estudios realizados hasta ahora sobre el comportamiento térmico de un edificio han señalado la existencia de íntimas relaciones entre los cuatro puntos básicos siguientes: microclima externo, estructura, espacio interior y ocupación. Los flujos térmicos entre los elementos estructurales se producen como: el intercambio, por radiación y convección, entre las superficies internas, el transporte de calor y humedad a través de los elementos opacos, la transmisión de energía radiante (soleamiento) a través de las superficies acristaladas, la renovación de aire interno (ventilación e infiltración) y la disipación de calor en el interior por los equipos eléctricos (motores e iluminación) y las personas. El factor resultante de esta fenomenología puede definirse como la temperatura espontánea, es decir, la temperatura, en cada instante, del aire interior del recinto en estudio. Esta temperatura variable en el tiempo puesto que variables son las distintas funciones que la definen, es la que impondrá las necesidades energéticas de la instalación calefactora o refrigeradora del edificio, según que aquella esté, respectivamente, por debajo o por encima de las condiciones de confort.

Por nuestra parte trataremos de realizar una evaluación más precisa de la temperatura espontánea del ambiente interno, superficial e interior de los muros de un edificio y de las cargas energéticas necesarias para la elevación o disminución de éstas hasta alcanzar las de confortabilidad.

Con este trabajo se sale al paso, dentro de nuestra mínima parcela, del peligro señalado por los ministros de ciencia y tecnología en la reunión patrocinada por la OCDE que tuvo lugar en París en el mes de marzo pasado.

Allí se concluyó que:

«un retraso en las actividades de investigación y desarrollo e innovación puede comprometer las posibilidades a largo plazo de cambio y progreso económicos, especialmente en una coyuntura de crecimiento limitado e incertidumbre ante el futuro».

objetivos

La preferente atención que actualmente se presta hacia los equipos mecánicos de acondicionamiento ambiental, fácilmente controlables, frente a la complicada o engorrosa utilización de los materiales de cerramiento como reguladores pasivos del clima, impone la necesidad de un replanteamiento y reestudio de éstos, de tal forma que, aparte de facilitar una utilización correcta de los existentes, se desarrollen nuevas técnicas y soluciones constructivas que puedan ser más efectivas, tanto desde el punto de vista energético como económico.

Por ello, se buscan los objetivos generales siguientes: por una parte adquirir el mejor conocimiento teórico y experimental posible del comportamiento térmico de los materiales y soluciones constructivas que permiten realizar una evaluación práctica de las mismas en condiciones variables de presión, humedad, temperatura y radiación solar; y por otro lado, la realización del análisis crítico y valorativo de las soluciones constructivas más utilizadas actualmente en España, con vistas a su aprovechamiento como sistemas pasivos de conversión fototérmica. En otras palabras, se trata de cuantificar el comportamiento de aquellas soluciones estructurales de cerramientos como elementos colectores y/o acumuladores de radiación solar en función de su diseño, materiales constituyentes, distribución volumétrica del edificio y zona climática de ubicación.

Así:

- a) a nivel de la Administración se habrán obtenido suficientes datos teóricos y experimentales como para corregir las reglamentaciones y normativas tecnológicas en vigor sobre aislamiento térmico, muy particularmente las referentes a resistencia mínima necesaria de cerramientos tanto en condiciones de invierno (artículo de la NBE - CT.79) como de verano (Recomendación 6 del Anexo II de la misma norma);
- b) los técnicos y científicos podrán contar con un mejor y más amplio conocimiento del comportamiento real de los materiales frente a la acción de la radiación solar;

- c) el sector empresarial e industrial de la construcción (tanto de viviendas como de edificios industriales o agropecuarios) podrán disponer de prototipos experimentales con los que proceder a su desarrollo y utilización.

actividades

Los objetivos generales más arriba señalados se subdividen en una serie de actividades, cronológica y temáticamente diferenciadas, las cuales se pasan a relacionar.

zonificación microclimática

Definición y análisis de los datos climáticos, poblacionales y económicos correspondientes a las zonas de máximo consumo energético en la climatización y calefacción de edificios. Con estos datos se trata de llegar a un modelo constituido por un conjunto de relaciones matemáticas, simultáneas e independientes que aproxime el comportamiento de cada variable. Específicamente interesan aquellas relaciones que ligan las variables del clima (temperatura, humedad, radiación solar, etc.) y la respuesta térmica de las soluciones constructivas con los niveles de consumo energético, teniendo en cuenta que esto último, a su vez, depende de la distribución de la renta disponible como índice de bienestar.

investigación termofísica

Aquí se realizarán una serie de trabajos teóricos y experimentales que resultan imprescindibles como soporte y base de las tareas tecnológicas y de desarrollo. Entre ellos, el planteamiento y resolución teórica, así como la comprobación experimental de los procesos de intercambio de calor entre los materiales de construcción y los ambientes que separan, concretamente se determinarán:

- a) las funciones de transferencia de calor de los cerramientos tradicionales y prefabricados, con especial consideración del orden de disposición en los elementos multicapas;
- b) respuesta térmica y acumulación de calor en forjados y masas inertes internas frente a la radiación solar incidente, a través de los huecos acristalados;
- c) coeficiente de transmisión de calor y de difusividad térmica de morteros y aislamientos homogéneos, en régimen variable, para condiciones distintas de humedad, presión y temperatura; se realizarán también estudios para determinar la influencia del envejecimiento sobre dichas características;
- d) determinación de las características luminosas y energéticas de los acristalamientos mono y multicapas para cerramientos de huecos y muros-cortina.

Con estos datos y el lugar de ubicación de los aislamientos respecto de los materiales base, tanto en muros, cubiertas y forjados, como en los elementos pasivos de recepción de la energía solar, se conocerán con mayor precisión los tiempos de respuesta de los mismos frente a solicitaciones térmicas intermitentes, como es el caso, por ejemplo, del choque térmico espontáneo de la radiación solar en un día nublado.

catalogación de elementos utilizados en España

Se realizará una recopilación ordenada y metodológica de los materiales y las soluciones constructivas actualmente más difundidas en España.

En esta catalogación se señalarán, junto con las características de diseño, las propiedades termofísicas de los materiales y componentes, es decir: densidad, calor específico y resistividad (o resistencia) térmica.

Los elementos a catalogar serán:

- Muros verticales macizos (simples o compuestos; con cámaras de aire y sin aislar; de hormigón y cerámicos).
- Muros verticales huecos (ventanas y puertas con cristales simples y dobles; protecciones).
- Cubiertas (planas o inclinadas; macizas y con cámara).
- Particiones interiores (tabiques o forjados).
- Acabados interiores y exteriores.

cálculo de la respuesta térmica de los elementos

Se realizará un estudio comparativo del comportamiento térmico de los elementos constructivos cuya utilización representen al menos el 80 % del uso total nacional. Para ello se realizará la definición y cálculo de aquellos parámetros más precisos que permitan la cuantificación valorativa de la respuesta térmica de los mismos.

Aparte del cálculo de la resistencia térmica global y de la capacidad acumuladora de calor de cada uno de estos elementos, se seleccionará el parámetro comparativo más idóneo, por ejemplo:

- Índice de inercia térmica.
- Constante del tiempo térmico total.
- Desfase y amortiguamiento de la onda térmica según Mckey y Weight.

Especial hincapié deberá hacerse sobre el ordenamiento de los materiales en la solución constructiva, sobre todo cuando uno de ellos sea un material aislante.

Este factor del orden de disposición de los materiales en los cerramientos compuestos, nada afecta a la resistencia térmica global del mismo, pero sí a su inercia térmica.

catalogación de edificios por factor de forma y zonas climáticas

Se realizará un catálogo de edificios por zonas climáticas y por factor de formas. Este último factor es fundamental en la valoración tanto de las pérdidas globales de calor como de la ganancia solar de los mismos a efectos del ahorro energético.

La zonificación climática se realizará de acuerdo con los valores de la temperatura (medias de las máximas del mes de julio, media de la mínima del mes de enero) de la radiación solar (latitud y características de pureza del aire) y de los consumos energéticos (grados-día).

En este mismo apartado habrá que señalar, tanto los detalles específicos de diseño (logias, miradores, parasoles, etcétera) como la proporción de superficies acristaladas.

Las características termofísicas y geométricas de los edificios catalogados se estructuran para su posterior utilización por el programa de cálculo que se menciona a continuación.

cálculo de la respuesta térmica de los edificios

La respuesta de un edificio no es una función lineal de sus componentes, entre otras circunstancias por:

- las distintas excitaciones térmicas que se producen en cada orientación;
- la acción de los elementos interiores (muebles, forjados y particiones) como acumuladores de calor; y
- la diferencia temporal entre el calor que se transmite a través de los muros macizos (amortiguado y desfasado en el tiempo) y la energía térmica instantánea transmitida por ventilación, la sensible interiormente generada por iluminación o motores, y la radiación a través de los acristalamientos.

Por todo esto se utilizarán los procedimientos de cálculo más precisos posibles para poder conocer las diferencias energéticas entre las soluciones catalogadas y las modificaciones propuestas. Para ello se prevé la utilización del Programa National Bureau of Standard Load Determination (NBSLD).

experiencia y composición del equipo

Si bien algunos pocos aspectos del proyecto de investigación son parcial o totalmente nuevos para el equipo, la experiencia de sus miembros en el resto

de temas relacionados con el mismo es larga y, en algún caso, profunda. Esta circunstancia ha permitido la consecución de resultados válidos desde el primer año de trabajo; resultados que fueron presentados en tres ponencias a las Sesiones Técnicas de CONSTRUMAT del presente año.

No obstante, aunque sea de una forma telegráfica se señalan a continuación algunas áreas del conocimiento científico-técnico en las que las aportaciones de los componentes del equipo han sido significativas:

- Transmisión de calor en régimen variable en medios heterogéneos finitos.
- Inercia térmica de paramentos y fenómenos acumulativos de calor por cambio de fase.
- Determinación de las características termofísicas y de aislamiento térmico de los materiales de construcción.
- Técnicas de metrología y ensayos de equipos y sistemas mecánicos de acondicionamiento ambiental.
- Técnicas de microscopía, radiográficas y de ensayos destructivos de hormigones y aceros.
- Porosidad y permeabilidad al aire de materiales cerámicos y de hormigón.
- Diseño arquitectónico bioclimático y aprovechamiento pasivo de la radiación solar.

Este equipo de investigación está compuesto por las personas que se relacionan a continuación:

L. Capitán - Oficial 1.^a
 M. J. Escorihuela - Físico (Radiación Solar)
 J. L. Esteban - Ing. Industrial (Instalaciones)
 J. M. Frutos - Arquitecto (Diseño)
 A. García Arroyo - Físico (Higrotérmica)
 T. Izquierdo - Ayudante de Investigación
 M. Olaya - Físico (Hormigones Ligeros)
 A. Sanfrutos - Administrativo
 M. A. San José - Ayudante de Investigación
 B. Torroja - Físico (Radiación Solar)
 P. Valiente - Oficial 2.^a

antecedentes

Los antecedentes de este tipo de trabajos puede decirse que se remontan casi hasta el origen de la misma arquitectura. Desde muy antiguo la humanidad ha intentado diseñar su vivienda de acuerdo con el clima. Ha combinado materiales, elementos, volúmenes y colores, según sus recursos naturales y tecnológicos, pero aprovechándolos al máximo y en armonía con el medio.

La evolución social y económica ha cambiado profundamente a lo largo de la historia, sobre todo en el mundo desarrollado, dejándose sentir dicha influencia con gran fuerza en el campo de la edificación donde el tecnologismo del acondicionamiento mecánico de las viviendas se ha impuesto al aprovechamiento natural de las propiedades físicas, de los materiales y los sistemas constructivos.

Ensayo real de módulos habitacionales, en el IETcc.

No obstante, desde el final de los años cincuenta, se han ido creando equipos científicos en distintas instituciones internacionales que han desarrollado lo que se viene llamando la **Arquitectura Bioclimática**, y a la que, después de la crisis energética del otoño del 73, se le presta la máxima atención.

En el aspecto teórico-científico habría que destacar los trabajos de Alford, Ryan, Urban McKey, Weight, etc., como contribución imprescindible al conocimiento de los procesos de ganancia y transferencia de calor en los elementos estructurales, frente a solicitudes térmicas cíclicas; así como los más recientes de Bruckmayer, Mitalas, Chadoury, etc., para variaciones no periódicas de la onda térmica.

En el aspecto de la aplicación al diseño y la experimentación del efecto fototérmico de la radiación solar por los materiales de construcción, se han desarrollado trabajos del mismo interés de una manera sistemática y permanente en distintos departamentos universitarios de países de cuatro continentes (Francia, Inglaterra, Alemania, Estados Unidos, Israel, India, Japón y Australia, por citar los más notables) pudiendo destacarse los realizados por los siguientes investigadores:

F. Trombe (Casas Solares), Parmelee (Transmisión de la radiación solar a través de vidrios), Olgyay (Diseño y Clima); Tabor (Superficies selectivas), Raychaudury y Chaudury (Método aproximativo de cálculo del tiempo respuesta), Tanaka (Efecto de radiación), Steve Baer (aplicaciones del muro Trombe) David Wright (Radiación directa a través de acristalamientos), Karen Terry (Acumuladores de agua), Peter van Dresser (Paneles integrados), etc.

La bibliografía adjunta, sin ser exhaustiva, da una idea de la importancia y multidisciplinariedad del tema.

BIBLIOGRAFIA

- J. F. ARONIN: *Architecture and Climate*, Reinhold Publishing Corp. Nueva York.
- D. ASHBEL: *Solar radiation and soil temperature*, The Hebrew University Press, Jerusalén.
- ASHRAE Guide and Data Book: *Fundamental and equipment*, Am. Soc. Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- N. S. BILLINGTON: *Thermal properties of Buildings*. Cleaver-Hume Press. Londres 1952.
- W. BRUCE: *Man and his thermal environment*, Division of Building Research, Technical Paper No. 84, Ottawa.
- F. BRUCKMAYER: The equivalent brick wall, *Gesundheitsing* 63 (6).
- F. BRUCKMAYER: Evaluation of prefabricated dwellings with regard to building physics, *Proceedings, CIB 3rd Congress*, Copenhagen.
- J. DREYFUS: *Le confort dans l'habitat en pays tropical*, Edition Eyrolles, Paris.
- B. GIVONI: The effect of climate on man: development of a new thermal index, *Research Report to UNESCO*, Building Research Station, Technion, Haifa.
- B. GIVONI: *Man, Climate and Architecture*. Elsevier Publishing Company. 1969, Londres.
- R. LEBENS: *Passive Solar Heating Design*. Applied Science Publishers Ltd. 1980, Londres.
- D.H.K. Lee: *Physiological Objectives in Hot Weather Housing*, H.H.F.A., Washington.
- A.G. LOUDON: Window design criteria to avoid overheating by excessive solar heat gains. B.R.S. Watford.
- C.O. MACKEY and L.T. WRIGHT: Periodic heat flow —composite wall or roofs, *Heat, Piping and Air Conditioning*.
- V. OLGAY: *Design With Climate*, Princeton University Press, Nueva Jersey.
- V. OLGAY and A. OLGAY: *Solar control and shading devices*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
- B.C. RAYCHAUDHURY and N.K.D. CHAUDHURY: Thermal Performance of dwellings in the tropics. *Indian Construction News*. Nueva Delhi.
- REEF, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris, France. RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Building, Helsinki.
- S. J. RICHARDS, J. F. VAN STRAATEN and E.N. DEVENTER: Some ventilation and thermal considerations in building design to suit climate, *S.A. Architectural Record*.
- S.V. SZOKOLAY: *Environmental Science Handbook*. The Construction Press. 1980. Londres.
- G. T. TREWARTHA: *An introduction to climate*, McGraw-Hill book Co. Inc., Nueva York.
- J.F. VAN STRAATEN: *Thermal performance of buildings*, Elsevier Publishing Co. Ltd., Amsterdam.
- J.J. WANNENBURGH and J.F. VAN STRAATEN: Wind tunnel tests on scale model building as a means for studying ventilation and allied problems, *J. Inst. Heat. Vent. Engrs*.