

AHORRO ENERGETICO MEDIANTE ESTRATEGIAS DE ILUMINACION NATURAL OPTIMIZADAS

(ENERGY SAVINGS THROUGH OPTIMATIZED NATURAL LIGHTING STRATEGIES)

Joan Puigdomènech Franquesa (*)
 Joan Antoni Cusidó Fàbregas (*)
 Jordi Porta i Jué (**)

190-6

RESUMEN

Mediante estrategias de iluminación natural es posible disminuir las cargas eléctricas de los edificios y en especial los de uso comercial. Dadas las características climáticas de nuestro país es necesario prever los inconvenientes de un exceso de energía en verano, para lo cual es preciso disponer de controles solares.

Encontrar el correcto equilibrio entre las necesidades térmicas y luminicas en base a la optimización del balance energético mensual o anual es únicamente factible mediante el uso del ordenador. Un programa que responde a estas características es descrito en el presente trabajo, obteniéndose con su aplicación importantes ahorros en el consumo de energias no renovables.

SUMMARY

Electrical charges in buildings and specially in those of commercial use, can be diminished by means of natural lighting strategies. Taking the climate features of our country into consideration, it is necessary to prevent the inconveniences caused by an energy excess in summer, so solar controls are needed.

The only practical way to achieve the suitable balance between thermal and light needs, so as to get a monthly or annual energetic balance optimization, is to operate with the computer. A programme with such characteristics is described here. Its application gives important savings in non renewable energy savings.

1. INTRODUCCION

Desde hace aproximadamente 25 años existe un creciente interés para conseguir el máximo de iluminación natural en los edificios, ello es debido tanto a los avances en el desarrollo de sistemas de acristalado (o fenestración, traduciendo literalmente el término anglosajón) como al progreso de las técnicas constructivas.

Como consecuencia de la crisis energética mundial, desde hace 5 años este interés se ha incrementado, relacionado con la difusión del llamado muro cortina, en nuestra arquitectura. En efecto, una componente principal del consumo anual de este tipo de edificios es atribuible a la transferencia de calor a través del sistema de fenestración.

Por otro lado, disponer de abundante luz natural es un deseo extendido entre los promotores y

usuarios de este tipo de edificios, lo cual supone además de un importante ahorro energético (tanto de tipo térmico como lumínico) una mayor calidad de luz. De hecho los países del norte prestan mucha más atención al aprovechamiento de la luz diurna que en los países mediterráneos, sin duda a causa de que poseen menor número de horas de luz y menos intensa. En este sentido, el muro cortina encuentra su justificación en este afán de ofrecer al usuario un aprovechamiento máximo de la radiación solar, aún a costa de mantener grandes cargas eléctricas para la climatización del edificio durante cualquier época del año.

Así pues, el dimensionado y la localización de las ventanas o fenestración es un aspecto importante a tener en cuenta, tanto para la consecución de la confortabilidad térmica como lumínica.

Para disponer de luz natural y como primera pauta es deseable disponer de ventanas tan altas como sea posible; sin embargo, para la captación de energía es deseable disponer de ventanas bajas para disminuir los efectos negativos de la estratificación de temperaturas en el interior del recinto. La magnitud relativa entre la abertura de la superficie acristalada en relación

(*) Departament de Física. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (Universitat Politècnica de Catalunya). Apartado de Correos 508, Terrassa (Barcelona).

(**) Departament de Física Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya). Diagonal 649, 08028-Barcelona.

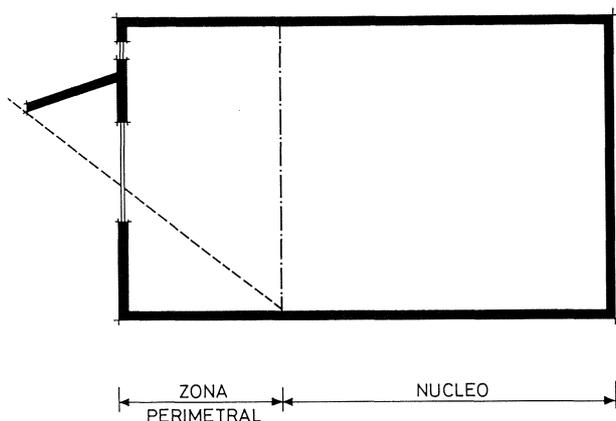


Fig. 1.-Sección esquematizada de un edificio con control solar fijo incorporado, dividiendo el espacio donde llega radiación solar directa (zona perimetral) respecto a la zona sometida a la acción de la radiación difusa (núcleo).

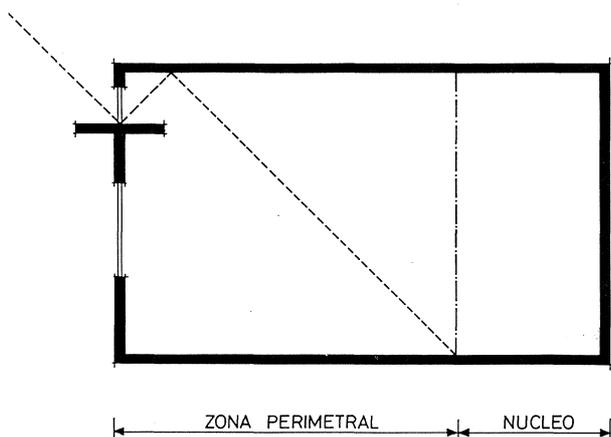


Fig. 2.-Sección esquematizada de un edificio que incorpora un elemento reflectante en la parte superior de la fenestration con objeto de incrementar la zona perimetral, siendo éste, un típico elemento pasivo de iluminación natural.

a la luz es un problema que engloba ambos conceptos (1). Esta es posiblemente una de las principales dificultades que se presenta en el diseño de la iluminación natural, que puede realizarse con ayuda del ordenador o bien a nivel de maqueta, siendo ambos métodos complementarios.

En el presente trabajo describimos un programa que realiza un balance térmico y lumínico con carácter mensual y anual, a partir de la siguiente estrategia:

1. Croquis del modelo físico del edificio a estudiar estableciendo la estrategia de iluminación natural a emplear (ver Figs. 1 y 2).
2. Trasladar los datos cuantitativos del modelo (dimensionado) al ordenador para calcular las cargas térmicas y de iluminación. Se efectúa el balance término y lumínico horario mensual.

Los datos de radiación solar, grados - día, etc. de la zona climática correspondiente al emplazamiento se habrán implementado al mismo.

3. Opcionalmente se podrá incluir en las fachadas exteriores del edificio los controles solares fijos (voladizos) que se deseen, y recalcular el balance térmico y lumínico en orden a la optimización de los dimensionados de fenestration y controles solares adoptados.

Los ingredientes básicos para tal fin, en resumen, son: hipótesis de fenestration, propiedades térmicas de los cerramientos (aislamiento térmico), orientación de las distintas fachadas, geometrías de los controles solares y clima.

Es importante remarcar que los resultados obtenidos con un determinado prototipo no son, habitualmente, generalizables a otras condiciones de diseño (2) y, por tanto, los que al final del artículo presentamos deben considerarse únicamente a título de ejemplo, siendo necesario en cada caso un estudio particularizado.

2. HIPOTESIS SOBRE LA ILUMINACION NATURAL

El diseño de la luz natural es un antiguo arte que se ha ido perdiendo durante el presente siglo como consecuencia del desarrollo de las fuentes artificiales de luz.

Los principios de la iluminación natural incluían reglas para el tamaño y localización de las aberturas que hoy han desaparecido de nuestros manuales.

Sin embargo, el aprovechamiento de la luz natural es importante por dos aspectos:

1. Contribuye a un importante ahorro de energía al disminuir las cargas eléctricas de los edificios.
2. La iluminación natural ofrece una mayor calidad de luz y favorece, por tanto, el confort y por ende las condiciones laborales de los trabajadores.

Modelar la luz natural sólo es posible a través de maquetas, en el sentido de la obtención de espacios alegres, recogidos, solemnes, etc.; con todo, una simulación simplificada mediante ordenador de la distribución de la luz natural, generada por la fenestration sobre las diferentes fachadas, permite una aproximación numérica suficiente para la optimización del dimensionado en relación al balance térmico y lumínico del edificio en estudio.

En nuestro programa se pueden tratar superficies acristaladas convencionales que incorporen voladizos (Fig. 1) y también ventanas con sistemas reflectantes (Fig. 2), esto es, sistemas que dispongan de una abertura en la parte baja para que provean de contenido visual al edificio y una superficie reflectante horizontal, en su parte su-

perior, que permita la reflexión de la luz solar hacia el techo e interior del edificio.

Dentro de esta filosofía los diseños son muy variados siendo conveniente, para establecer el modelo físico que habrá de introducirse al ordenador, la definición de zona perimetral y núcleo de cada fachada. Las delimitaciones de cada zona se establecen en función del modelo físico (3), pudiéndose emplear el rayo formado por una altura solar correspondiente a la latitud del lugar (ver Figs. 1 y 2). En la literatura del tema este aspecto queda poco claro y hay autores que utilizan distintos criterios, como por ejemplo la altura solar promedio anual, etc.

En general, los elementos que globalmente constituyen el sistema de fenestración, son:

- Distribución de las ventanás en cada fachada.
- Propiedades del vidrio (grosor, color, etc.).
- Interacciones con otros edificios (sombras proyectadas).
- Climatología del emplazamiento.

La fenestración puede ocupar una superficie variable del 0 al 70% de la fachada y en ella los distintos elementos anteriormente citados han de estar presentes en su diseño y cálculo, teniendo en cuenta no asumir como superficie acristalada el área formada por el marco, que puede alcanzar, en ocasiones, un 30% de la superficie total.

3. BALANCE TERMICO

3.1. Características térmicas de los cerramientos

Se propone el estudio de una planta de un edificio comercial, para lo cual consideraremos la inexistencia de pérdidas térmicas por el suelo y por el techo. Para las paredes de obra (todas exteriores, como habitualmente sucede aún cuando pueden darse otras posibilidades), se consideran los valores standard del coeficiente de transmisión térmica que les corresponda por su detalle constructivo, así como orientación azimutal de la fachada (p.e. $K = 1,2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$).

Para las superficies acristaladas se toma un coeficiente de $5,6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante las horas nocturnas este valor disminuye a la mitad como consecuencia del corrimiento de cortinas y persianas.

Atendiendo al carácter comercial del edificio, se adoptan unas fuertes necesidades de renovación de aire ($8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y persona [4]).

Se efectúa un balance energético de tipo estacionario, valorándose las necesidades y los ex-

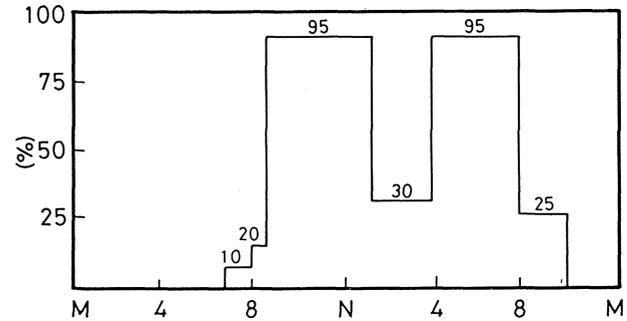


Fig. 3.-Propuesta de ocupación considerada por el programa, válida para los días laborables incluido el sábado que ha sido promediado con el resto de días de la semana. Otras hipótesis de ocupación pueden fácilmente ser incorporadas al programa.

cesos energéticos para la obtención de un ambiente a la temperatura de consigna (18°C), debiendo puntualizar que se toma un periodo de precalentamiento a primera hora de la mañana, como consecuencia de las características de ocupación de este tipo de edificios así como su baja inercia térmica.

3.2. Hipótesis de ocupación

En edificios comerciales son muy importantes los aportes internos de calor, entendiendo como tales los debidos a las personas que allí trabajan así como a los diferentes aparatos eléctricos y fuentes de luz en funcionamiento.

Estudios estadísticos proporcionan un índice de ocupación global correspondiente a $9,3 \text{ m}^2/\text{persona}$ y día (4), posibilitándose sin embargo, la entrada de dicho dato como un valor variable en cada caso, según sean las características y finalidad del edificio.

El aporte interno por persona realizando una actividad ligera, según P. O. Fanger (5), es de 93 W .

Hay que tener en cuenta que la ocupación puede variar durante las diferentes horas del día, y por ello introducimos una propuesta de distribución horaria de los índices de ocupación promedio mensual (Fig. 3), siendo por supuesto, modificable para otros casos y circunstancias.

Se introduce un coeficiente de sombra (shading coefficient) dependiente de cada tipo de cristal, de $0,65$ sobre la iluminación natural y de $0,4$ sobre su aporte energético. Cuando la iluminación es superior a una cota de valor (opcional), se supone una probabilidad de corrimiento de las cortinas o persianas del 80%. En nuestro caso dicha cota se toma para 700 W/m^2 .

3.3. Aportación solar

En el balance térmico debemos incorporar las ganancias por radiación directa, que penetra

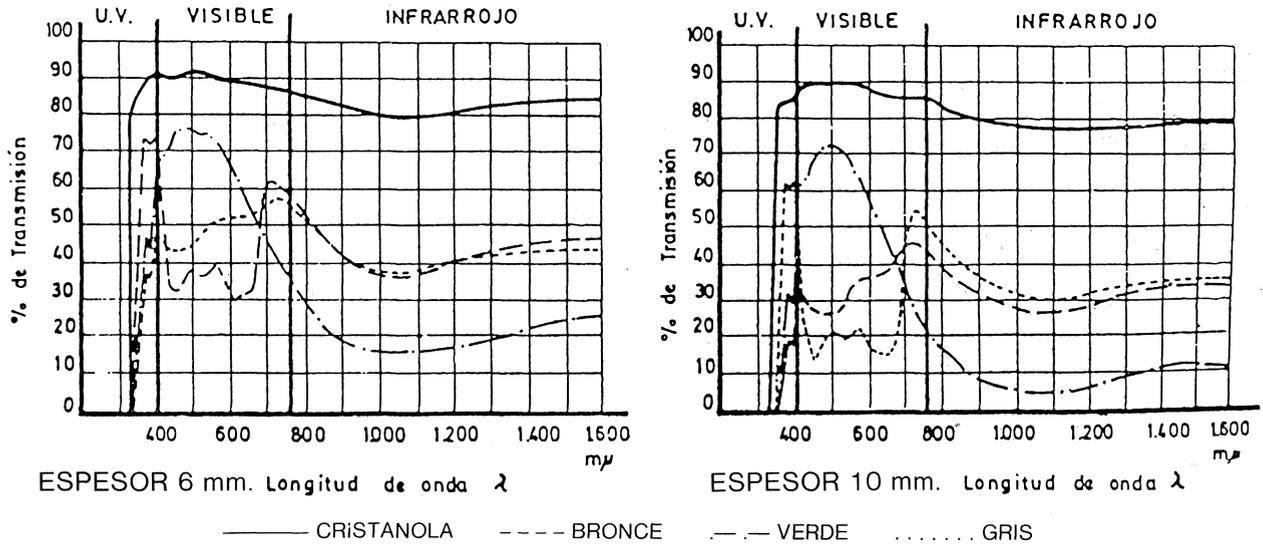


Fig. 4.-Espectro de transmisión de diferentes tipos de vidrios y gruesos habitualmente utilizados en este tipo de edificios. El programa permite elegir opcionalmente cualquiera de las 8 combinaciones posibles.

por el edificio a través de las superficies acristaladas.

Dado que la orientación de la superficie vertical de la fachada considerada puede ser cualquiera, es necesaria una subrutina de ordenador solamente para este cálculo de carácter horario mensual. Ello se ha realizado en un trabajo precedente (6). La componente de radiación solar difusa se calcula mediante la correlación de Collares-Pereira.

Por otro lado, es preciso valorar qué parte de radiación incidente penetra en el interior del edificio y qué parte es reflejada. En el presente trabajo se consideran cuatro tipos diferentes de vidrios cuyos coeficientes de transmitancia se introducen en función del tipo y fabricante. Se distinguen entre los grosores de 6 y 10 mm, así como los denominados blanco, bronce, verde y gris.

En la Fig. 4 se presentan los correspondientes espectros de transmisión.

3.4. Controles solares fijos

Como es bien sabido, en verano las paredes orientadas a Este y Oeste llegan a recibir mayor aportación solar que la propiamente orientada hacia el Sur. También es conocido el grave problema de exceso energético de muchos edificios durante la estación calurosa. Por todo ello es imprescindible dotar a éstos de controles solares fijos, perfectamente evaluados en cuanto al conocimiento de la radiación solar interceptada a lo largo de los distintos meses del año, procurando un dimensionado que haga a ésta máxima en verano y mínima en invierno (para este menester se consideran los meses de julio y enero respectivamente).

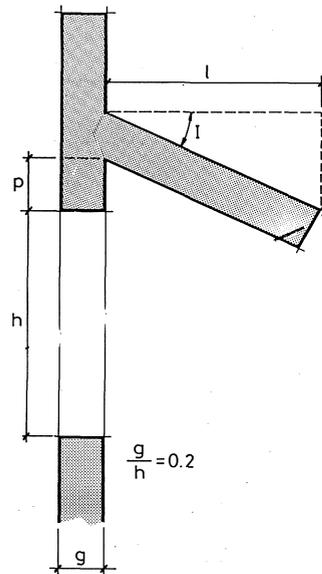


Fig. 5.-Parámetros característicos de los controles solares fijos considerados por el programa.

El tipo de controles solares es presentado en la Fig. 5 y una primera versión de este programa fue descrito y publicado en esta misma revista (7).

4. BALANCE LUMINICO

4.1. Condiciones de confort

Para edificios comerciales según cuál sea su finalidad, se recomienda uno u otro nivel de iluminación. Las normas dictadas para oficinas extraídas de la «Standard Building Operating Conditions» (8) recomiendan un nivel uniforme de iluminación de 540 lux, que corresponden a una potencia de 21,5 W/m² si se utilizan únicamente lámparas fluorescentes como fuente de luz.

4.2. Determinación del espectro de radiación solar incidente en función de la altitud solar

Debido a la absorción selectiva de radiación solar por la atmósfera, la radiación solar que llega sobre una determinada superficie horizontal se ve afectada por la altura solar. Para evaluar este fenómeno se utiliza la relación aire-masa (9) dada por la expresión:

$$m_x = [1229 + (614 \operatorname{sen} \alpha)^2]^{1/2} - 614 \operatorname{sen} \alpha \quad (1)$$

Tomando valores discretos de esta magnitud ($m_x = 0, 1, 4, 7, 10$), se determina el espectro de la radiación solar incidente sobre superficie horizontal, $I_x(\lambda)$, en función de la altura solar α y de la longitud de onda λ .

Estos valores se encuentran tabulados (9, 10) y han sido incorporados al ordenador a efectos del cálculo de iluminación. En cada caso y horariamente, se determina el valor de m_x , efectuándose interpolaciones entre los espectros incorporados. Con dicha valoración se tienen en cuenta las variaciones cualitativas de la composición de luz, no solamente durante los diferentes meses del año sino también durante las diferentes horas del día.

Estos resultados forman parte de la subrutina descrita en 3.3.

4.3. Cálculo de la iluminación natural en el interior del edificio

Una vez determinada la distribución espectral de la radiación solar que penetra por una determinada abertura, así como conocida la distribución del coeficiente de transmisión del vidrio, $\tau(\lambda)$, obtenemos la densidad de potencia de radiación solar entrante:

$$I_x(\lambda) \tau(\lambda) \quad (2)$$

cuyas unidades serán $W/\mu m$. Sin embargo hemos de transformar dichas unidades a las correspondientes unidades de sensación fisiológica de luminosidad. Ello se consigue teniendo en cuenta la curva de sensibilidad de las células conos del ojo humano, $V(\lambda)$ (Fig. 6).

El flujo luminoso vendrá dado entonces por:

$$\Phi = \int V(\lambda) I_x(\lambda) \tau(\lambda) 685 d\lambda \quad (3)$$

El rendimiento luminoso se define:

$$\eta = \frac{\Phi}{W} = \frac{\int V(\lambda) I_x(\lambda) \tau(\lambda) 685 d\lambda}{\int I_x(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

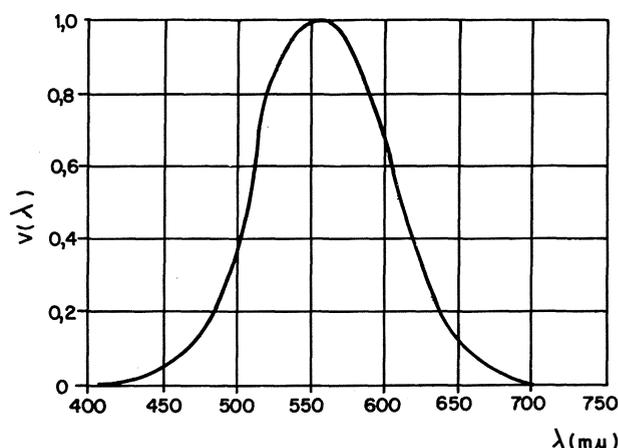


Fig. 6.—Curva de sensibilidad de las células como del ojo humano, que permite transformar la radiación solar penetrante (W/m^2) en flujo luminoso (Lm).

Encontramos de (4) el rendimiento luminoso de la luz natural penetrante. Si consideramos el producto del rendimiento, η , por el valor de la radiación solar incidente y el área acristalada podemos obtener el valor de la iluminación natural en la zona perimetral de la fachada estudiada. Para la zona constituida por el denominado núcleo es necesaria la multiplicación por un coeficiente eficaz de reflectividad de la totalidad de las superficies interiores. Este coeficiente puede determinarse en función de la claridad del color de las superficies (variando de 0 [negro] a 9 [blanco] según la clasificación de Munsell):

$$\xi = \frac{V(V-1)}{100} \quad (5)$$

En la pared norte se considera que inciden, únicamente, la componente difusa y reflejada de modo uniforme, es decir, igualmente en todas las direcciones.

Todo ello, teniendo en cuenta las hipótesis abordadas en el apartado 2.

4.4. Necesidades de iluminación

Si consideramos las necesidades de iluminación en cada punto de la sala en estudio como diferencia entre el aporte solar y el nivel de confort exigido, debemos tener en cuenta la distinta demanda de iluminación según los horarios de ocupación.

Se propone como hipótesis de demanda de iluminación, la representada en la Fig. 7, la cual no debe tomarse como standard sino que puede ser susceptible a adaptaciones en función de los horarios de utilización y uso en cada caso. Debido a que éste es uno de los puntos más discutibles del programa, se ha previsto la posibilidad de su fácil modificación.

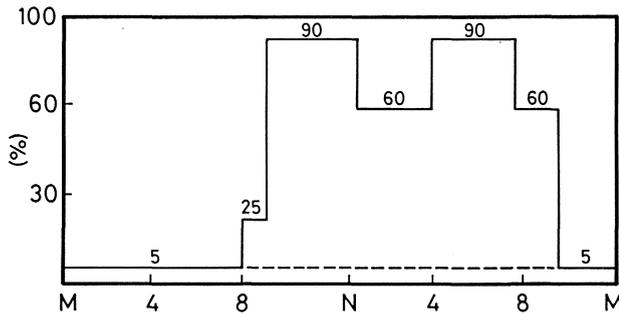


Fig. 7. -Hipótesis de demanda de iluminación considerada por el programa. No se atiende la demanda al 100% para cubrir las posibles aleatoriedades de la iluminación natural. Otras hipótesis de demanda de iluminación pueden ser fácilmente incorporadas al programa.

Las recomendaciones apuntadas en (4) y (8) nos sugieren esta distribución de la demanda como primera aproximación ante la falta de resultados estadísticos en qué apoyarnos.

Se observará que no se cubre la demanda al 100% como medida para tener en cuenta el factor de aleatoriedad de la iluminación natural.

5. DETALLES FINALES Y EJECUCION DEL PROGRAMA

Analizados los distintos elementos que han de configurar el programa, es importante reconsiderar algunos aspectos de los mismos:

- En primer lugar consideraremos el día típico como soleado (en nuestro país esta hipótesis es válida, especialmente en invierno y verano por ser estaciones caracterizadas por su gran estabilidad atmosférica).

La variación de las temperaturas diarias se tipifican, para cada mes del año, en función de los datos estadísticos publicados, distribuyendo simétricamente respecto a las 12 (hora solar), la distribución estadística de horas - temperatura para la zona de Barcelona (11).

- Recordemos que la definición de lo que entendemos por zona perimetral y núcleo del edificio debe estudiarse en cada caso de acuerdo al modelo físico de fenestración adoptado.

- El modelo de valoración de iluminación natural adoptado se basa en un algoritmo de cálculo simplificado.

- La planta del edificio es considerada rectangular. Es fácil modificar el programa para atender cualquier otra geometría. La orientación del edificio puede ser cualquiera.

- Las hipótesis de ocupación y de necesidades de iluminación horarias son ciertamente un punto delicado. Disponer de un programa totalmente propio es por ello importante en orden a introducir las modificaciones necesarias y convenientes de cada caso particular.

- En nuestro modelo no se contempla la existencia de inercia térmica del edificio, dado que el balance térmico que se efectúa es de tipo estacionario horario (se utilizan grados-hora de la zona geográfica del emplazamiento). Ello representa, obviamente, una limitación del mismo, aunque de hecho, muchos otros programas descritos en la literatura (p. e. [12]) tampoco lo implementan.

Con todo ello, se ha preparado un programa cuyo esquema sintetizado se presenta en la Fig. 8 y cuyo desarrollo ha costado cerca de año y medio de trabajo.

El programa se inició introduciendo la siguiente información:

- Superficies de las paredes verticales en m^2 .
- Coeficientes de transmisión térmica en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.
- Hipótesis inicial de fenestración (superficies en m^2 para cada pared y coeficientes de transmisión térmica del tipo y color del vidrio empleado en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- Hipótesis inicial de controles solares (opcional).

Mediante esta entrada de datos, el programa genera los siguientes resultados:

- Ganancia solar horaria mensual en kWh.
- Necesidades energéticas, en base a una temperatura de consigna de $18^\circ C$, en kWh.

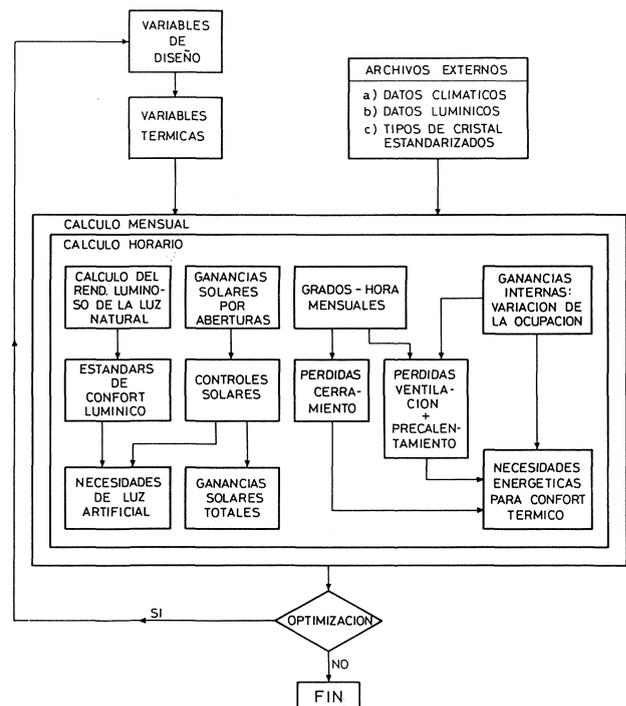


Fig. 8. -Diagrama de bloques del programa DAYLIGHT, descrito en el presente artículo.

TABLA 1

Valores horarios mensuales de los distintos parámetros térmicos y lumínicos, correspondientes al mes de julio, sin y con voladizo, muestra representativa del listado mensual anual que proporciona el programa.

	Radiación solar entrante en Kwh	Necesidades y excesos de energía auxiliar en Kwh	Necesidades lumínicas para alcanzar el nivel de confort en la zona perimetral Sur, en lux	Idem zona perimetral Este	Idem zona perimetral Oeste	Idem zona perimetral Norte	Idem en el núcleo del edificio
Jul.							
1	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
2	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
3	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
4	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
5	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
6	41,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	58,18	- 13,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	71,57	- 15,13	0,00	0,00	0,00	0,00	33,79
9	92,23	- 16,65	0,00	0,00	0,00	0,00	4,54
10	105,01	- 18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	330,92
11	108,79	- 20,15	0,00	0,00	0,00	0,00	325,48
12	102,78	- 23,93	0,00	0,00	0,00	0,00	333,77
13	102,78	- 23,93	0,00	0,00	0,00	0,00	333,77
14	108,79	- 20,15	0,00	0,00	0,00	0,00	166,48
15	105,01	- 18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	171,92
16	92,23	- 16,65	0,00	0,00	0,00	0,00	190,04
17	71,57	- 15,13	0,00	0,00	0,00	0,00	378,29
18	58,18	- 13,78	0,00	0,00	0,00	155,79	398,18
19	41,45	- 7,19	86,60	183,73	0,00	329,44	426,58
20	0,00	0,00	477,00	477,00	477,00	477,00	477,00
21	0,00	0,00	318,00	318,00	318,00	318,00	318,00
22	0,00	0,00	318,00	318,00	318,00	318,00	318,00
23	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
24	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
Jul.							
1	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
2	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
3	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
4	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
5	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
6	37,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	46,90	- 13,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	52,36	- 15,13	0,00	0,00	0,00	0,00	60,28
9	57,64	- 16,65	0,00	0,00	0,00	0,00	52,53
10	54,33	- 18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	401,42
11	56,12	- 20,15	0,00	0,00	0,00	0,00	398,84
12	59,47	- 23,93	0,00	0,00	0,00	0,00	394,12
13	59,47	- 23,93	0,00	0,00	0,00	0,00	394,12
14	56,12	- 20,15	0,00	0,00	0,00	0,00	239,84
15	54,33	- 18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	242,42
16	57,64	- 16,65	0,00	0,00	0,00	0,00	238,03
17	52,36	- 15,13	0,00	0,00	0,00	26,02	404,78
18	46,90	- 13,78	0,00	0,00	0,00	171,08	413,47
19	37,17	- 7,19	138,90	222,59	0,00	334,65	431,79
20	0,00	0,00	477,00	477,00	477,00	477,00	477,00
21	0,00	0,00	318,00	318,00	318,00	318,00	318,00
22	0,00	0,00	318,00	318,00	318,00	318,00	318,00
23	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
24	0,00	0,00	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50

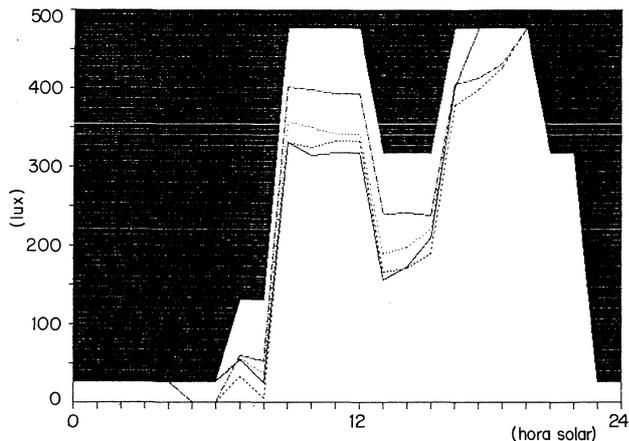


Fig. 9.-Gráficas correspondientes a las necesidades de iluminación no cubiertas por la iluminación natural para la obtención del confort (540 lux), para el núcleo del edificio. En las condiciones descritas en el ejemplo del apartado 6, para enero sin voladizo (—), enero con voladizo (.....), julio sin voladizo (-----), julio con voladizo (-.-.-.-.-). El contorno de la figura corresponde al nivel de confort exigido de iluminación.

- Necesidades de iluminación para cada zona perimetral (4 zonas), en lux.
- Necesidades de iluminación en el núcleo, en lux.

El programa genera un archivo, de modo que se puedan modificar los parámetros de entrada que se considere oportuno, manteniendo los anteriores constantes, permitiendo iterar el proceso con gran rapidez para la obtención del dimensionado de áreas acristaladas y controles solares óptimos.

6. EJEMPLO DE APLICACION

Sea una planta de un edificio comercial de varios niveles y orientado al Sur. Las dimensiones son de 100 m por 100 m y altura 3 m. Se emplaza en Barcelona y se supondrán correctas las hipótesis de ocupación y de necesidades lumínicas descritas en los apartados anteriores.

Se propone estudiar las necesidades energéticas térmicas y lumínicas de dicho edificio en base a la obtención del confort durante el periodo de uso diario.

Se propone inicialmente la siguiente hipótesis de fenestración y de controles solares:

- Fachada Sur: 70%.
- Fachadas Este y Oeste: 50%.
- Fachada Norte: 20%.
- Coeficiente transmisión de la radiación (vidrio bronce 6 mm): 0,7.
- Coeficiente de reflectividad: 0,5.
- Dimensionado de controles solares:
 - Fachada Sur: $l/h = 0,5$; $p/h = 0,3$; $l = 0$.

- Fachadas Este y Oeste: $l/h = 0,5$; $p/h = 0,3$; $l = 30$ grados.
- Fachada Norte: Sin voladizo.

En la Tabla I, se presenta el formato de datos correspondientes al mes de julio, comparativamente a los casos con y sin voladizo y a título de ejemplo, puesto que el listado total ocuparía demasiado espacio para ser reproducido aquí. Se ha separado la ganancia solar de las pérdidas del edificio (primera y segunda columna) para destacar su dependencia respecto a la adopción de controles solares.

En la Fig. 9 se puede observar el efecto luminoso del control solar adoptado en el núcleo del edificio (que supone el 80% de la superficie total), respecto a los meses de enero y julio. Se puede observar que en enero, el voladizo intercepta radiación únicamente al mediodía mientras que durante el mes de julio su efecto es patente a lo largo de toda la jornada. Es importante comentar que dichos resultados están fuertemente condicionados con la hipótesis de necesidades de iluminación descrito en el apartado 4.4, que en la figura está representada por el contorno de la gráfica. Queda patente la diferente incidencia del control solar en los dos periodos considerados.

Analizados los primeros resultados, se procedería a un posterior ajuste recurrente según las prioridades definidas en el proyecto, que omitimos en este ejemplo.

7. CONCLUSIONES

La iluminación natural junto con la captación solar y refrigeración natural son las tres grandes áreas que configuran la energía solar pasiva como parte de la denominada arquitectura bioclimática.

La iluminación natural no sólo representa un importante ahorro de energía sino que además permite aumentar el nivel de confort del usuario por su mayor calidad respecto a la luz proveniente de fuentes artificiales, redundando en un doble beneficio: fisiológico y psíquico.

La reducción de las cargas eléctricas de los edificios en los cuales se haya optimizado la fenestración adoptada puede alcanzar un % elevado, representando para éstos un ahorro realmente apreciable en términos económicos sin afectar, necesariamente, a la calidad estética del edificio y consiguiéndose un aumento del grado de confort.

Pero para optimizar nuestros diseños es necesario disponer de la herramienta informática, en nuestro caso se trata de un IBM-PC de configu-

ración básica (sistema operativo 2,00), ocupando, dicho programa 50 Kbytes de memoria y siendo el tiempo de ejecución para cada hipótesis de diseño de aproximadamente 10 minutos.

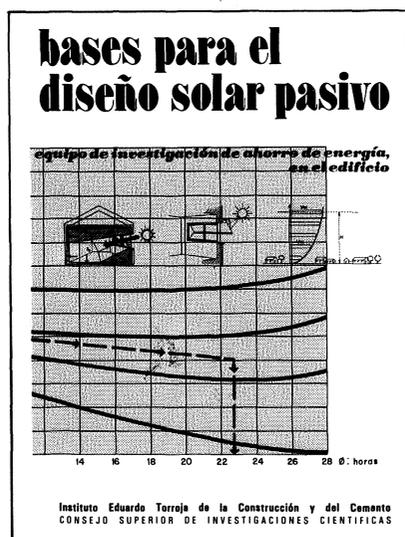
El programa es puesto a disposición de los profesionales de la ingeniería y la arquitectura interesados en la gestión y ahorro de la energía a través de técnicas de aprovechamiento solar.

REFERENCIAS

- (1) J. F. KREIDER; F. KREITH: Solar heating and cooling. Hemisphere Publishing Corporation (1982), pp. 157.
- (2) R. JOHNSON; S. SELKOWITZ; F. WINKELMANN; M. ZENTNER: Glazing optimization study for energy efficiency in commercial office buildings. Proc. of the Third International Symposium on Energy Conservation in the Built Environment, Dublin, Ireland, March 30 - April 1 (1982).
- (3) R. J. COLE: Energy savings in offices through daylighting strategies. Proc. of the Second International Congress on Building Energy Management, Ames, Iowa, May 30 - June 3 (1983).
- (4) U.S. CHOI; R. JOHNSON; S. SELKOWITZ: The impact of daylighting on peak electrical demand. Energy and Buildings, 6 (1984), pp. 387.
- (5) P. O. FANGER: Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering. McGraw Hill, New York (1972).
- (6) J. PUIGDOMENECH; J. A. CUSIDO: Tablas de radiación solar para paredes verticales a diferentes orientaciones azimutales. El Instalador, mayo (1984).
- (7) J. A. CUSIDO; J. PUIGDOMENECH: Dimensionado de controles solares fijos en función de la aportación de radiación solar directa y de la orientación de la pared. Informes de la Construcción, v. 36, n.º 364 (1984).
- (8) United States Department of Energy, Standard Building Operating Conditions. Technical Support for Notice of Proposed Rulemaking on Energy Performance Standards for New Buildings, Nov. (1979).
- (9) F. KREITH; J. F. KREIDER: Principles of solar engineering, Hemisphere Publishing Corporation (1978), p. 43.
- (10) M. P. THEKEEKARA: Data on Incident Solar Energy, «The Energy Crisis and Energy from the Sun», Institute for Environmental Sciences (1974).
- (11) A. MITJA; A. GIRBAL: Estalvi d'energia en instal·lacions esportives. Generalitat de Catalunya (1983), p. 50.
- (12) R. JOHNSON; R. SULLIVAN; S. SELKOWITZ; S. NOZAKI; C. CONNER; D. ARASTEH: Glazing energy performance and design optimization with daylighting. Energy and Buildings, 6 (1984), p. 305.

* * *

publicación del i.e.t.c.c.



Equipo de Ahorro de Energía en el edificio

Dirección y coordinación:
Arturo García Arroyo

M.^a José Escorihuela
José Luis Esteban
José Miguel Frutos
Manuel Olaya
Bernardo Torroja

selectividad en la aplicación de los sistemas y procedimientos pasivos dando origen a un ecumenismo arquitectónico solar, al margen de las condiciones climáticas y funcionales específicas de cada caso y lugar.

En este libro, utilizando criterios y metodología pedagógicos, se dan los fundamentos e instrumentos teórico-prácticos necesarios para el planteamiento de todo proyecto arquitectónico solar pasivo, de acuerdo con los principios éticos y económicos de conservación y ahorro de energía. Es decir: respeto de los presupuestos bioclimáticos, búsqueda de la máxima captación y acumulación de la radiación solar, y esmero en el aislamiento térmico de los cerramientos.

Un volumen encuadernado en cartulina ibiza plastificada, a cinco colores, de 16 x 23 cm, compuesto de 216 páginas, 217 figuras, 87 gráficos, 19 tablas y 10 cuadros.

Madrid, 1983. Precios: España 2.100 ptas.; 30 \$ USA.

Las dificultades de suministro y el alto coste de los productos energéticos convencionales han despertado la atención de los usuarios, técnicos e industriales de la edificación hacia los procedimientos y sistemas en que se basa el aprovechamiento de otras fuentes alternativas de energía, principalmente la solar. Esto ha generado un rápido desarrollo industrial y comercial que, en opinión de los autores de este libro, arrastran los siguientes defectos: un mimético tecnologismo respecto de los sistemas convencionales que violenta las peculiaridades de la energía solar (baja densidad y variabilidad en el tiempo), y una escasa