

ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA ENVOLVENTE
DE EDIFICIOS PARA LA NUEVA CAPITAL
PAUTAS PARA LA CONSERVACION Y USO RACIONAL DE LA ENERGIA

J.R. Fucaraccio*, R.R. Rébora*

INTRODUCCION

El INTI firmó un convenio con la Comisión Técnico Asesora-Decreto N° 328/86- para el traslado de la Capital, a los efectos de especificar los requisitos que deberán verificar los envolventes de los edificios que se construyan para la Nueva Capital, desde el punto de vista del Uso Racional de la Energía (URE).

La idea es estipular esos requisitos en los pliegos de condiciones para la construcción de todos aquellos edificios nuevos que se destinen a alojamiento de personas, tales como viviendas u oficinas de uso continuo o intermitente, en los cuales la climatización ambiental tiene por objeto mantener las condiciones normales de confort térmico. Quedan excluidos todos aquellos edificios o locales que por razones específicas de utilización deban mantenerse en condiciones diferentes. Tales requisitos también podrán figurar en las bases de los Concursos Nacionales que se organizarán para proyectar los edificios que defina el ENTECAP.

Cabe destacar que estos requisitos se aplican solamente para el diseño de la envolvente y no para el dimensionamiento de los sistemas termomecánicos de climatización ambiental. Para estos últimos se requiere que la potencia necesaria sea calculada utilizando procedimientos detallados de simulación numérica, en régimen variable de transporte de energía y masa, que permitan conocer el balance térmico, por lo menos para la ocurrencia en secuencia de varios días típicos de diseño, de la estación de refrigeración y calefacción. Las especificaciones fueron divididas en "requisitos de calefacción" y "requisitos de refrigeración". Se tomó como punto de partida las condiciones climáticas del lugar (Viedma-Carmen de Patagones) que fueron estudiadas por Evans y Schiller.[1]

1. REQUISITOS DE CALEFACCION

El método adoptado en este caso fue estipular un procedimiento de cálculo manual para la carga térmica diaria promedio de la estación de calefacción, expresada en Watts-hora por día y por metro cuadrado de área total de planta del edificio. Una vez definido el método de

*Departamento de Construcciones - INTI
Parque Tecnológico Miguelete
CC 157 (CP 1650) San Martín, Bs.As.

cálculo se fijan los límites admisibles para la carga térmica, en términos de valores máximos en función del área total de planta y del tiempo de utilización del edificio (Figura 1).

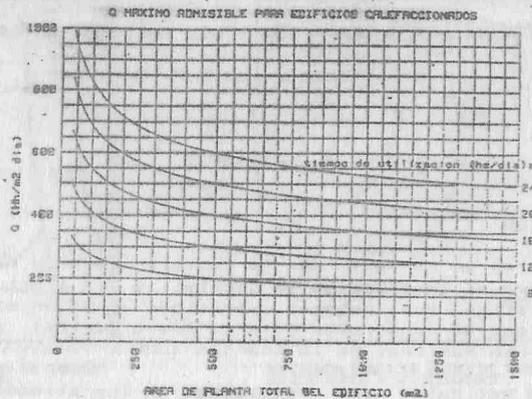


FIGURA 1

Dado que el método de cálculo está destinado solo a evaluar el diseño de la envolvente desde el punto de vista del URE, al definirlo se intentó describir la forma en que las distintas variables afectan el comportamiento térmico. Los valores numéricos deben considerarse entonces con una aproximación suficiente a los fines comparativos, pero de ninguna manera, como ya se dijo, destinada a dimensionar los equipos de climatización. La forma propuesta para calcular la carga térmica Q de calefacción es la siguiente [2]:

$$Q = Q_p - Q_s - Q_i - Q_{ln} \text{ (Wh/m}^2 \text{ día)}$$

Como se observa, la carga térmica se compone de cuatro términos con el siguiente significado: Q_p : energía promedio de pérdida diaria durante las horas de uso; Q_s : energía solar media diaria que ingresa al edificio y que es aprovechada durante las horas de uso; Q_i : energía media diaria generada por las fuentes internas, excluida la iluminación; Q_{ln} : energía media de iluminación nocturna. (La figura 2 aclara el significado de cada término.)

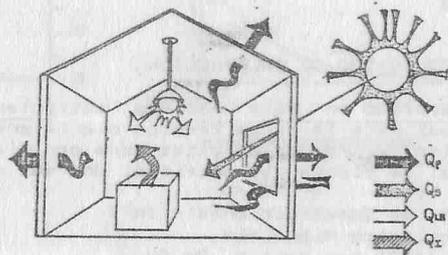


FIGURA 2

El método divide el tiempo de uso del edificio en diurno y nocturno, lo cual permite tener en cuenta, en la evaluación, la influencia de la utilización parcial de los edificios. Como se observa, no aparecen especificaciones sobre la carga térmica debida a la iluminación durante el período de utilización diurna del edificio, la cual es excluida del balance de energía. Ello se debe a que en la evaluación de energía que deberá ser provista por el sistema de climatización para mantener las condiciones de confort, se restan aquellas contribuciones energéticas gratuitas (por ejemplo: energía solar) o bien toda contribución no gratuita cuya provisión debe garantizarse en forma independiente de las características térmicas del edificio (por ejemplo, energía disipada por equipos de servicio (cocinas, calefones, etc) que no sean de climatización).

La carga térmica debida a la iluminación diurna, en cambio, es fuertemente dependiente de las características que definen el comportamiento térmico de la envolvente (tamaño y orientación de las ventanas), por lo cual no se la considera como energía libremente disponible. Solamente deberá descontarse la contribución de la energía media diaria de iluminación nocturna. Los valores límite para la potencia instalada de iluminación están fuera de los alcances de estos requisitos.

1.1. Carga de pérdidas

La carga de pérdidas se compone a su vez de tres términos: a) pérdidas a través de cerramientos; b) pérdidas por infiltraciones de aire; c) pérdidas por pisos en contacto con el terreno.

El cálculo de pérdidas a través de muros, techos y ventanas se realiza en la forma habitual como producto de la transmitancia térmica de los elementos constructivos involucrados, multiplicada por el área y por la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior. La banda horaria de uso se tiene en cuenta estimando la diferencia de temperatura como un promedio ponderado de las diferencias de temperatura diurna y nocturna.

Las infiltraciones de aire deberán estimarse a partir de datos de ensayos realizados sobre los cerramientos, o bien, en su defecto, utilizando los valores obtenidos a partir del análisis estadístico de ensayos realizados en el Departamento de Construcciones del INTI a lo largo de más de quince años (Tabla IV Norma IRAM 11604).

Para los pisos apoyados sobre el terreno se utiliza una simplificación del método incorporado en la Norma IRAM 11604, consistente en suponer que las pérdidas se producen a través de una franja perimetral de un metro de ancho. La simplificación se justifica por el peso relativamente pequeño de las pérdidas por los pisos y estudios realizados en el Departamento de Construcciones del INTI. [3].

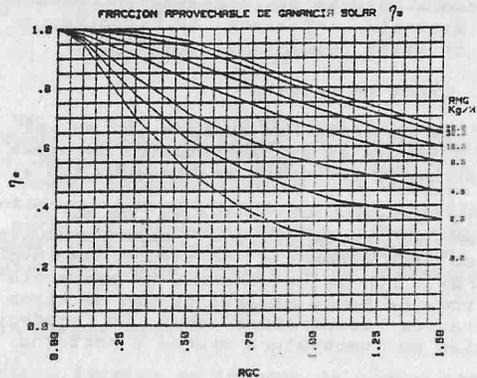
1.2. Energía solar media diaria

Para evaluar la energía solar media diaria que ingresa en el edificio y es aprovechada para calefaccionar se utiliza el método de Barakat-Sander [2], [4], adaptado para poder tener en cuenta la utilización parcial. El problema consiste en que, de la radiación solar que ingresa a lo largo del día, una parte es aprovechada en el momento en que ingresa para disminuir la carga

térmica. Otra parte es almacenada en la masa interior del edificio para ser liberada más tarde, y una última fracción, en caso de que la capacidad de almacenamiento sea insuficiente, es devuelta al ambiente exterior (usualmente por ventilación al producirse sobrecalentamiento). Se trata de estimar entonces la energía que ingresa a lo largo del día y la fracción que puede ser aprovechada durante el tiempo de uso.

La cantidad de energía que ingresa al edificio se estima a partir de datos sobre radiación solar sobre planos orientados para la localidad y los informes sobre orientación y tamaño de las aberturas. Los datos sobre radiación solar fueron obtenidos siguiendo el método indicado en la referencia [5]. La fracción de esta energía, que es aprovechable cuando el edificio se utiliza las 24 horas, se obtiene de la Figura 3 en función de la energía solar que ingresa, la masa interior disponible, y la energía de pérdidas Q_p (calculada anteriormente). La ordenada en el gráfico es la relación entre la masa interior del edificio y la ganancia solar (RMG). La abscisa es la relación entre la ganancia solar y la carga de pérdidas (RGC).

FIGURA 3



Cuando el edificio se utiliza parcialmente, la fracción se corrige de acuerdo con la banda horaria de utilización y con los mismos parámetros anteriores, mediante una sencilla ecuación de ponderación. La energía media diaria liberada interiormente Q_I y la energía media de iluminación nocturna son datos de diseño.

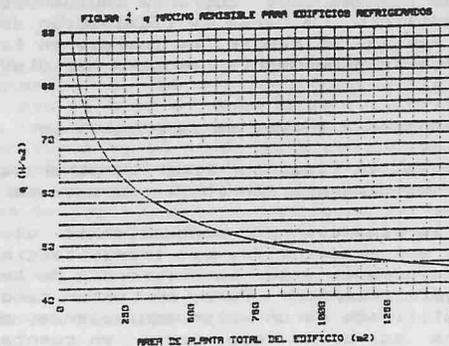
2. REQUISITOS DE REFRIGERACION

Los requisitos para edificios acondicionados por refrigeración ambiental se basan en estipular un método de cálculo manual de la carga térmica máxima (potencia máxima) que deberá ser extraída por los sistemas termomecánicos de refrigeración, a los efectos de mantener la situación de confort, y de establecer un límite máximo para dicha potencia (por unidad de área de planta), en función del área total de planta del edificio (Figura 4).

Mientras que los requisitos para los edificios calefaccionados están basados en limitar el consumo medio de energía, aquí se limita la potencia máxima de carga térmica; ello se debe a que en un programa de URE en refrigeración ambiental, se deben considerar no solamente

los ahorros de energía por consumo en el periodo de refrigeración sino que, también, por potencia instalada de equipo, que es función de la máxima demanda.

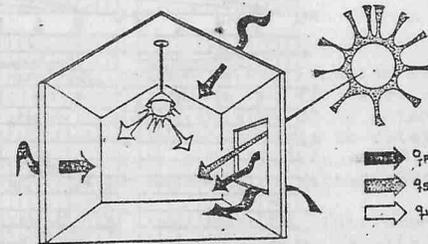
FIGURA 4



El sobredimensionamiento de equipos de refrigeración, generalmente operados eléctricamente, ocasiona problemas de uso ineficiente de energía en los momentos de ocurrencia de la máxima demanda y en situaciones de funcionamiento a carga parcial. La ecuación de balance toma en este caso la siguiente forma:
 $q = q_p + q_s + q_{ld}$ (W/m²) [4]. Se utilizan letras minúsculas para denotar que las unidades son de potencia.

Como se observa la carga térmica máxima de refrigeración cuenta con tres términos, que tienen el siguiente significado: q_p : ganancia por la envolvente; q_s : carga solar efectiva que se libera al ambiente interior; q_{ld} : carga de iluminación diurna. (La Figura 5 aclara el significado de cada término y el signo con el que intervienen en la ecuación de balance.)

FIGURA 5



Debido a que la máxima para cada término de la derecha de la ecuación de balance no se produce a la misma hora, el máximo valor para la suma no necesariamente se producirá a la hora de máxima temperatura exterior. Por lo general, el valor máximo de q se producirá entre las 16 y las 20 horas. Al primer extremo tenderán los sistemas livianos o con áreas transparentes al oeste reducidas, mientras que los sistemas masivos o con grandes superficies transparentes en el cuadrante oeste, desplazarán la hora de máxima hacia el atardecer.

Por razones similares a las comentadas más arriba para la situación de calefacción, no aparecen en la ecuación de balance las cargas debidas a fuentes internas de calor no asociadas al diseño de la envolvente, ya que en situación de verano, la carga adicional que imponen dichas fuentes debe cubrirse independientemente del diseño térmico del edificio. La carga de iluminación diurna correspondiente a la hora de máxima, en cambio, se incluye en la ecuación de balance debido a su fuerte dependencia respecto del diseño de la envolvente.

2.1. Ganancias a través de la envolvente

Está formada a su vez por dos componentes: a) ganancia por conducción, y b) ganancia por infiltraciones de aire exterior.

Para evaluar la ganancia por conducción se utilizan, al igual que para la carga de calefacción, las transmitancias multiplicadas por las áreas involucradas y por la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. Pero en este caso la diferencia de temperatura utilizada es un valor equivalente, denominado diferencia de temperatura sol-aire, que tiene en cuenta el efecto de la radiación solar absorbida por la superficie exterior del cerramiento.

Debe tenerse en cuenta aun un factor adicional. Un cerramiento no reacciona solo en función de las diferencias de temperatura sol-aire en un momento dado sino que "recuerda" cuál fue la situación en un periodo anterior. Esto es: para una diferencia dada de temperatura sol-aire, el flujo de calor instantáneo a través de un muro cambiara de acuerdo con cuáles hayan sido las diferencias en horas anteriores.

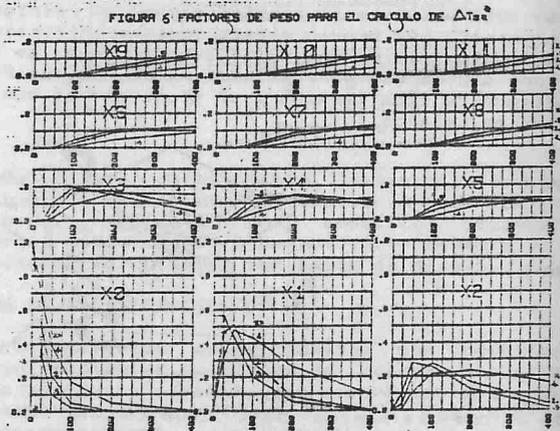


FIGURA 6

La capacidad para "recordar" las condiciones anteriores depende fundamentalmente de la masa del cerramiento y de su transmitancia. Puede hacerse la experiencia sencilla de comparar las temperaturas de las superficies del vidrio de una ventana y de un muro de mampostería orientados al oeste, una hora después del atardecer, en verano. Basta con apoyar la palma de la mano, para verificar que el muro "recuerda" aun al sol mientras el vidrio ya lo "olvidó". Para tener en cuenta este factor, se introduce una corrección: se considera la diferencia de temperatura sol-aire a una hora dada como el promedio ponderado de las diferencias en horas anteriores. Los

considera la diferencia de temperatura sol-aire a una hora dada como el promedio ponderado de las diferencias en horas anteriores. Los coeficientes de ponderación se obtienen de la Figura 6 en función de la masa del cerramiento y su transmitancia. Así, por ejemplo, si se trata de un cerramiento de 100 kg/m^2 , y $K = 2 \text{ W/m}^2\text{C}$ los coeficientes de peso resultan: $X_0 = 0.05$; $X_1 = 0.28$; $X_2 = 0.28$; $X_3 = 0.18$; $X_4 = 0.1$; $X_5 = 0.06$; $X_6 = 0.03$; $X_7 = 0.02$.

Si se desea calcular la diferencia de temperatura sol-aire corregida a una hora cualquiera, se ubican la tabla y la columna por utilizar, de acuerdo con el tipo de superficie y la orientación, y se hace la ponderación multiplicando cada coeficiente de peso por la diferencia de temperaturas a la hora anterior correspondiente (X_7 multiplica a la diferencia de temperatura correspondiente a siete horas antes, y así siguiendo). La diferencia de temperatura sol-aire corregida es la suma de todas las contribuciones así obtenidas. Este es el valor de diferencia de temperatura que se utiliza para calcular la contribución del cerramiento a la ganancia por conducción. La ganancia por infiltraciones se estima de la misma forma que en la verificación de la carga de calefacción utilizándose en este caso la diferencia de temperatura del aire.

2.2. Carga por radiación solar

La carga por radiación solar se estima a partir de valores de tabla. Por consideraciones similares a las efectuadas anteriormente, la carga de radiación a una hora es función de lo ocurrido en horas anteriores. En este caso, afortunadamente, el promedio de la radiación en las últimas n horas es una aproximación suficiente; n se obtiene en función de la masa interior del edificio de la tabla 1. La carga por iluminación diurna del edificio es un dato de diseño.

M_i	(kg/m^2)	0	100	200	400
n	(h)	1	2	3	4

Tabla 1:

3. CONCLUSIONES

Se ha pretendido establecer un método de verificación manual de la envolvente de los edificios para la Nueva Capital desde el punto de vista del URE. Se restringen valores totales de la potencia máxima de refrigeración y/o de la energía media diaria de calefacción, lo cual permite una razonable libertad de diseño, al no limitar, individualmente, las distintas componentes de dichas magnitudes.

Las condiciones impuestas se refieren exclusivamente a la envolvente, y son válidas independientemente de la eficiencia y el tipo de equipos que se utilice. No se han estipulado requisitos sobre la eficiencia de los equipos y sistemas termomecánicos, como tampoco, distinguido entre sistemas de energía convencional o no-convencional.

El primer paso en todo proyecto de URE debe darse analizando las características de transferencia de energía y masa en los límites del sistema termodinámico que se estudia, en este caso, de la envolvente de los edificios.

Los requisitos, descriptos en forma general en este artículo, están definidos con precisión en el informe elevado a la Comisión Técnico Asesora, de forma de eliminar ambigüedades y posibles diferencias de interpretación. Junto con ellos se presenta toda la información que necesita quien evalúe su cumplimiento, en forma de tablas y gráficos de simple comprensión. No se incluyen tablas de propiedades térmicas de materiales y cerramientos tales como conductividad y transmitancia térmica, para lo cual se remite a resultados de mediciones debidamente certificados, o a valores en tablas reconocidas por normas argentinas [6],[7].

REFERENCIAS

1. J. Martín Evans, S. de Schiller, "Estudios Biambientales para la Nueva Capital", informe presentado a la Comisión Técnico Asesora para el Traslado de la Capital Buenos Aires, setiembre de 1986.
2. S.A. Barakat, D.M. Sander, "A Method for optimization of South Window Areas in Houses". Division of Building Research, NRCC, Canadá, Ottawa, Ontario.
3. R. Rébora., L. Castro Padula, "Método simplificado para el diseño de la aislación térmica y la estimación de las pérdidas anuales de calor en pisos apoyados sobre el terreno", Duodécima reunión de trabajo de ASADES, 1987.
4. S.A. Barakat, D.M. Sander, "Utilization of Solar Gain through windows for heating houses", NRCC, DBR, BR Note 184, 1982.
5. J.R. Fucaraccio, "Propuestas de un método de cálculo de la Radiación Solar para su Utilización en el Dimensionamiento de Sistemas Termomecánicos", Departamento de Construcciones - INTI.
6. María Elisa Prada de Merediz, Vicente Volantino, Tabla de transmitancias y resistencias térmicas, Departamento de Construcciones, INTI.
7. Norma IRAM 11601 (esquema sometido actualmente a discusión pública). Acondicionamiento térmico de edificios. Propiedades térmicas de materiales para la construcción.

BIBLIOGRAFIA

1. Ashrae Handbook, 1985, Fundamental.
2. Energy Conservation for New Building Design, Ashrae Standard 90.
3. Liliana Castro Padula. "Validación experimental y computación de métodos simplificados para evaluar sistemas solares pasivos". Informe final de beca de perfeccionamiento del CONICET, 1986.
4. Norma IRAM 11604; Acondicionamiento Térmico de Edificios.
5. Passive Solar Leating Analysis - A Design Manual, "Los Alamos" National Laboratory.
6. R. Rébora, J.R. Fucaraccio, M.E. P. de Merediz, V.L. Volantino. "Normas Mínimas de Habitabilidad para la República Argentina". Departamento de Construcciones, INTI.