

REVISION ACTUALIZADA DE LOS PARAMETROS Y CRITERIOS DE CALCULO PARA EL REFRESCAMIENTO DE EDIFICIOS POR VENTILACION

Eduardo Yarke - Martha Fajol y grupo de alumnos **
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJAN
Cruce Rutas 5 y 7 - Luján - (6700) - Provincia de Buenos Aires
Fax (54)(323) 25795 - E-mail :yarke@lujan01.edu.ar

RESUMEN

Como primera etapa de un proyecto de investigación que entre sus objetivos figura la construcción de módulos experimentales que integren sistemas de calefacción pasivos con sistemas de refrescamiento, se realizó, dentro del ciclo académico en que los alumnos de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad reciben los contenidos del Area de Arquitectura Bioambiental, una revisión actualizada de los parámetros y criterios de cálculo de los sistemas de ventilación en edificios.- El trabajo que sigue es una apretada síntesis de los sistemas analizados con sus conclusiones y un listado de la principal bibliografía consultada.-

INTRODUCCION

En la Región del Gran Buenos Aires y en la zona de influencia de la Universidad Nacional de Luján, la principal carga energética que actúa sobre los edificios - en relación con las condiciones de confort bioambientales - es la carga del verano.- Esto no significa que deban subestimarse los condicionantes del invierno, solo que éste es mas corto y, salvo durante unos pocos días en el año, no muy riguroso.-

La gran mayoría de los edificios de la región no están adecuadamente diseñados ni construidos para adaptarse a ninguna de las estaciones opuestas, lo que se suple con un consumo de energías relativamente alto que, en el caso del invierno, se concreta utilizando mayoritariamente al gas natural como fuente - poco costoso - y en el caso del verano, utilizando energía eléctrica que por ser mucho mas cara tiene un uso limitado.-

Una proporción significativa de los edificios de la región, ofrece condiciones bioambientales muy deficientes para la carga del verano, y son numerosas las personas que en esa época no pueden descansar lo necesario por la sensación de agobio que encuentran en sus hogares, a pesar de que las noches estivales de la región son mayoritariamente confortables, como se verifica al analizar los parámetros meteorológicos que muestran las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional.-

En base a estas consideraciones, se comenzó en el Departamento de Tecnología de la Universidad, un proyecto cuyo objetivo es experimentar sobre modelos con sistemas integrados, que respondan tanto a las condiciones de invierno como de verano.-

Para la situación de verano, se entiende que los sistemas de refrescamiento basados en la ventilación son los que mejor se adaptan a las condiciones climáticas regionales.- Por ello, y como primera etapa del proyecto se realizó como tarea académica de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Industrial, una revisión actualizada de la bibliografía disponible sobre el tema.-

Básicamente se analizaron las condiciones y criterios que hacen a la llamada "ventilación de confort" y los que definen a la "ventilación nocturna".- En muy apretada síntesis, se exponen a continuación las principales aspectos considerados.-

VENTILACION SOBRE LAS PERSONAS O VENTILACION DE CONFORT

La manera mas tradicional y natural de producir refrescamiento es la de dirigir flujos de aire sobre las personas, ya sea permitiendo que el viento ingrese libremente en los espacios interiores y los recorra, o utilizando algún medio para mover al aire interior (ventiladores, abanicos, etc.) .- A esto se lo denomina ventilación sobre las personas o ventilación de confort.-

Mediante la ventilación de confort, las personas se refrescan por la transferencia convectiva del calor del cuerpo hacia el aire en movimiento y/o por el efecto de la transferencia del calor latente también del cuerpo hacia el aire como consecuencia de la evaporación de la transpiración.- Al actuar directamente sobre las personas, esta forma de refrescamiento tiene solo una pequeña influencia positiva sobre las condiciones de la temperatura radiante media interior o sobre las temperaturas radiantes de las superficies de las envolventes, que en el caso de estas últimas se traducen en una mejora en la amortiguación de la curva de temperaturas interiores, achatando el pico de máxima.-

Sin embargo, para que esta forma de refrescamiento sea realmente efectiva, deben cumplirse ciertas condiciones en cuanto al entorno climático, ya que ciertos límites de temperaturas máximas y de tensión de vapor no deben ser superados.-

Diversos estudios hechos - la mayoría en países desarrollados - determinaron los entornos de confort para condiciones de verano, y dentro de los cuales la mayoría de la gente - vestida con ropas livianas - dice encontrarse cómoda.- Es así como M. Humphreys (1) llamó : Temperatura Neutra (Tn) a aquella temperatura que, relacionada con las condiciones locales y casi sin

** Del Area de Arquitectura Bioambiental - Departamento de Tecnología - Carrera de Ingeniería Industrial

movimiento del aire interior, significaba para la mayoría de las personas una sensación de comodidad.- La fórmula que M. Humphreys propuso es :

$$T_n = 2,6 + (0,831 * T_m) \quad \text{en } (^\circ\text{C}) \quad (I)$$

siendo :

T_n = Temperatura neutra con aire en calma

T_m = Temperatura media local del periodo del verano

En la práctica, las condiciones de aplicación de este concepto están limitadas a aquellas zonas climáticas cuyas temperaturas máximas medias se ubiquen dentro del entorno de los 30 a 32 °C y que tengan una amplitud térmica diaria no inferior a los 10 grados.- Para la ASHRAE (2), y con independencia de las condiciones climáticas, las condiciones de confort de verano para los espacios interiores deben ubicarse en un entorno entre 23 °C a 26,5 °C para velocidades de aire que no superen los 0,25 m/s y una tensión de vapor en el aire interior entre 4 g/Kg a 12 g/Kg , aunque admite que la temperatura interior pueda alcanzar niveles de 28 °C cuando la velocidad de aire interior es de 0,8 m/s, siendo éste el máximo valor permitido para el movimiento del aire. - Para B. Givoni (3) en cambio , son admisibles movimientos del aire interior hasta velocidades de los 2 m/s , lo que amplía la tensión de vapor admisible hasta los 19 g/Kg siempre y cuando las humedades relativas no superen al 90% y aclara que las condiciones de confort para la mayoría de la gente no son las mismas en los países desarrollados que en los que están en vías de desarrollo, aunque no avanza con mayores precisiones en este sentido.-

El entorno climático donde este tipo de refrescamiento puede ser empleado entonces con los mejores resultados, es el que se corresponde con las zonas templadas que no sean excesivamente húmedas y es así como el area geográfica donde se verifica la zona de influencia inmediata de la Universidad de Luján , aparece como particularmente apta, con entornos de temperaturas máximas medias entre 28,5 °C y 32,6 °C , niveles de presión de vapor medio entre 13,9 g/Kg y 20,8 g/Kg y velocidades medias de viento entre 8,6 Km/h (2,4 m/s) y 12,3 Km/h (3,4 m/s) , con una amplitud térmica diaria entre 10,5 grados a 12,5 grados, todo ello para el mes de enero tomado como típico mes de verano.-

Además de la condición de entorno climático , tanto la implantación como el diseño del edificio deben ser estudiados con detenimiento para que esta forma de refrescamiento pueda ser aprovechado con resultados satisfactorios.- Una condición esencial es que el se lo ubique en una zona sombreada que elimine la radiación solar incidente sobre sus muros , ventanas y cubiertas o la reduzca al máximo .- Si esta condición no se da naturalmente será necesario generar con los elementos arquitectónicos los sombreados necesarios.-

La forma y altura del edificio influyen en la posibilidad de captar las brisas, debido fundamentalmente a las turbulencias que la presencia del edificio produce en los flujos de la corriente de aire.- Tambien la rugosidad del terreno o la presencia de vegetación y arboledas próximas al edificio provocan alteraciones de los flujos.- Diversos autores han estudiado este tema, destacándose los aportes de K. Handa (4) y de M. Sherman y D. Grimsrud (5) en la determinación de los parámetros que modifican las velocidades medidas en las estaciones meteorológicas en relación con diferentes escenarios locales de rugosidad del entorno.-

Al utilizar esta forma de refrescamiento, ciertos criterios de diseño y constructivos no son imprescindibles , como ser aislaciones o masas acumuladoras , por lo que la existencia de los mismos estará en función de las necesidades de las otras estaciones más que por los requerimientos del verano.-

En cambio es esencial : la orientación - en relación con los vientos más frescos o los dominantes -, así también como la ubicación, la forma , el tamaño y la manera de abrir de los aventanamientos.- A lo largo de muchos años , un extenso número de investigadores han hecho aportes a este tema, basados en mediciones realizadas en túneles de viento o en mediciones directas.- El caudal del flujo de aire (Q_a) que ingresando por la abertura ubicada en una de las caras de una habitación , sale por la abertura ubicada en la cara opuesta (ventilación cruzada) es formulado por R. Aynsley; W. Melbourne y B. Vickery (6) de la siguiente manera :

$$Q_a = C_{de} * A * V \sqrt{P_i - P_s} \quad (II)$$

siendo:

Q_a = Caudal de aire que recorre al ambiente

C_{de} = Coeficiente medio de descarga para el ingreso y el egreso de la corriente de aire

A = Area sumada de las aberturas de ingreso y egreso

V = Velocidad del viento según Est. Meteorológica afectada por el coef. de rugosidad del entorno

P = Presión del flujo de aire sobre las aberturas.- Con (i) en el ingreso y (s) en la salida

Son varios los autores que han contribuido con investigaciones para determinar lo que son las mayores incógnitas de la fórmula anterior : los (C_{de}) y los (P) , destacándose los trabajos de S. Chandra , B. Vickery at al. y los de C. Allen (7)

Entre los aportes de mayor interés relativos a la ubicación y proporción de los aventanamientos, figuran los trabajos de S. Chandra at al. (8) (9) y los de B. Givoni (10) .Este último autor determinó que porcentaje de la velocidad del viento exterior , es esperable para la velocidad con la que se desplaza el aire - una vez ingresado - por el interior de un ambiente, tomando en cuenta la dirección del viento, la ubicación y cantidad de aberturas y sus características.- Lo mas destacado de estos estudios es la influencia favorable que para las velocidades interiores tienen las llamadas aletas de viento (Fig. 1).-

En cuanto a los niveles de ahorro de energía que la aplicación de este sistema puede brindar, los estudios de B. Chandra (11) determinan que el mismo puede abarcar un entorno entre el 20% al 50%, aunque con diseños específicos se puede superar este último valor.-

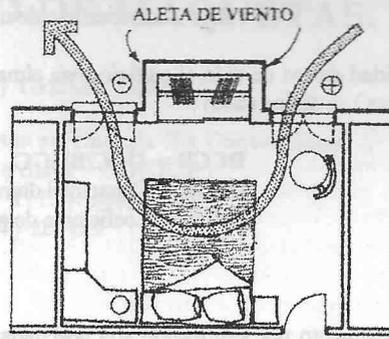


Fig. 1 - Las aletas para el viento como muestra la figura, aumentan la velocidad interior del aire que ingresa al establecer presiones de signo opuesto en la misma cara del edificio.-

LA VENTILACION NOCTURNA SOBRE LA MASA INTERNA DEL EDIFICIO

Cuando las máximas diarias superan frecuentemente los 31/32 °C y las amplitudes diarias de temperatura en el verano son mayores de 14 grados, con tensiones de vapor similares al caso anterior, el sistema de refrescamiento que puede dar buenos resultados es el de la ventilación nocturna sobre la masa del edificio.-

Durante el día, los habitantes del edificio tienen sensación de bienestar al poder disipar calor del cuerpo hacia el aire mas fresco y sobre todo hacia la masa interna, mediante el mecanismo de transferencia radiativo.- Un ventilador ubicado cerca del cielorraso, puede ayudar a los mecanismos de transferencia desde las personas a los muros perimetrales. al acelerar los mecanismos convectivos-

El inconveniente práctico que tiene este sistema es que obliga a mantener cerrados los aventanamientos durante el día y el edificio debe estar protegido, no solo de la radiación solar incidente, sino tambien de las infiltraciones del aire exterior.-A diferencia con el caso anterior, donde la masa del edificio actúa de manera secundaria, en este sistema tanto la masa como las aislaciones, sumados a los mecanismos de sombreado, son esenciales.-

Si para el sistema de ventilación de confort, muchos estudios fueron hechos sobre modelos a escala reducida y túneles de viento, para este sistema los estudios requieren de modelos experimentales a escala real.-

En este sentido los mayores aportes están siendo realizados por B. Givoni (12) con la comparación de resultados sobre modelos experimentales construidos en Israel y en San Diego - CA - USA.- Entre las conclusiones obtenidas por Givoni figura la determinación de la temperatura máxima (Tmax) interna que se estima alcanzará el edificio en un día determinado.-

La fórmula propuesta por Givoni es :

$$T_{max} = T_{med} + \Delta T + k * (T_{dia} - T_{med}) \quad (III)$$

donde :

Tmax = Temperatura máxima que se alcanzará en el interior en un día determinado

Tmed = Es la temperatura media meteorológica del mes

ΔT = Es un valor de tabla según la masa del edificio, el sombreado de las ventanas y la velocidad del aire interior si ha estado sometido a ventilación nocturna

k = Es un coeficiente según masa (0,5 para alta y 0,8 para baja)

Tdia = Es la temperatura media diaria externa del día determinado

Pero donde radican los aspectos mas interesantes de estas investigaciones, está en la relación que se establece entre los estudios de D. Balcomb at al. (13) para el calefaccionamiento pasivo y los estudios de B.Givoni para el refrescamiento por ventilación nocturna, cuando se utiliza la misma capacidad de almacenamiento que define Balcomb para los sistemas de Ganancia Directa como base para la capacidad de almacenamiento del frío (Cold Storage Capacity - CSC - en su notación inglesa).- En síntesis se busca definir que si ya se conoce cual es el rendimiento de una determinada cantidad de masa en un sistema de ganancia directa, cual sería el rendimiento de esa misma masa frente a la ventilación nocturna.-

B.Givoni (12) estimó que la relación de eficiencias entre ambas es :

$$CSC = 0,4 * dhc \quad (IV)$$

donde :

CSC = Capacidad de la masa para almacenar frío

dhc = Capacidad diaria de almacenamiento de calor en la masa de un determinado sistema de ganancia directa según el método D.Balcomb

De allí se deriva que :

$$DCC = \sum (A_i * CSC) \quad (V)$$

donde :

DCC = Capacidad diaria de almacenar frío por ventilación nocturna

A_i = La superficie de un determinado elemento destinado a la acumulación

y que además la capacidad diaria de todo el edificio para almacenar frío (*Diurnal Cooling Capacity of de Building - DCCB -* según la notación inglesa) se define como :

$$DCCB = DCC/BHGC \quad (VI)$$

donde :

DCCB = Capacidad diaria del edificio para almacenar frío

BHGC = Coeficiente de ganancia de calor del edificio

CONCLUSIONES

Los sistemas de refrescamiento por ventilación son adecuadamente aplicables al Area del Gran Buenos Aires y la zona de influencia de la Universidad Nacional de Luján.-

El Sistema de Ventilación de Confort, tiene la ventaja de no requerir condiciones especiales de masa y aislaciones para el edificio, si éste se encuentra convenientemente sombreado, además que permite mantener al edificio abierto durante el día.- En cambio tiene la desventaja de que, a pesar del tiempo transcurrido y la cantidad de investigaciones realizadas, no existen métodos simplificados de cálculo que permitan a un profesional no especializado, determinar con cierta facilidad cuales serán los resultados esperables, ya que varios de los parámetros que intervienen son de difícil precisión y muy variables.-

El Sistema de Ventilación Nocturna, requiere del edificio condiciones mas definidas en cuanto a masa, aislaciones, calidad y control de aberturas, etc. En este sentido , son prometedoros los estudios mas recientes que buscan integrar sistemas de calefaccionamiento con sistemas de refrescamiento utilizando los mismos parámetros para la masa en un caso y en el otro aunque todavía son necesarios muchos mas estudios para tener métodos que puedan estar lo suficientemente simplificados, sobre todo en aquellos aspectos de prediseño geométricos y constructivos que permitan estimar resultados, tal como hoy sucede con algunos métodos de calefacción solar pasivos -

COLABORADORES

Colaboraron con este trabajo, los siguientes alumnos del Area de Arquitectura Bioambiental : S.Belaus; L.Pesagno; O.Malnero; V.Esaín; H.Lovizio; S.Mancuso; D.Kubransky; J.Gonzalez Carril; E.Busnelli; G.Cavasin; M.Lonné; J.Durante; R.Solieri; y V. Melgarejo

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) - Humphreys, M.A. 1975 "Field Studies of Thermal Confort Compared and Applied" Building Research Establishment, Current Paper, CP 76/75, UK, Garston, Watford.
- (2) - ASHRAE "Manual ASHRAE - 1985 Fundamentals" - Atlanta - American Society Heating, Refrig. and Air-Conditioning Eng.; Inc 1986; Chapter 14, " Air Flow in Buildings"
- (3) - Givoni B. - Chapter 18 "Windows in Building" - 1992 - incluido en Cowan H. "Encyclopedia of Building Technology" - 1992 - New York, Van Nostrand Reinhold.
- (4) - Handa K.-1979 - "Wind Induced Natural Ventilation", Document DIO, Stockholm, Swedish Council of Buildind Research
- (5) - Sherman M.N. and Grimsrud D.T., 1980, "Infiltration-Pressurization Correlation -Simplified Physical Modeling ". LBL-10163, Berkeley, CA ; Lawrence Berkeley Laboratories
- (6) - Aynsley R.M., Melbourne W. and Vickery B.J.-1977 - "Architectural Aerodynamics ", London Applied Science Publishers.
- (7) - Allen C., 1983 "Wind Pressures For Air Infiltration Calculations", Berkshire, Great Britain , Air Infiltration Centre (AIC)
- (8) - Chandra S., 1983, "A Desing Procedure To Size Windows For Naturally Ventilated Rooms" In Proc. 8th National Passive Solar Conference, Boulder, CO, ASES, pp 108-110
- (9) - Chandra S., Fairey P. and Houston M., 1984, "A Handbook For Designing Ventilated Buildings" Cape Canaveral, FL, Florida Solar Energy Centre
- (10) - Givoni B..1976, " Man, Climate and Architecture", 2nd. ed., London, Applied Science Publishers.
- (11) - Chandra S., Chapter 2 "Ventilative Cooling" - 1989 - incluido en Cook J. "Passive Cooling" MIT - Massachusetts, Cambridge, London.
- (12) - Givoni B. -1994, "Passive and Low Energy Cooling of Buildings", New York Van Nostrand Reinhold
- (13) - Balcomb J.D., 1983, "Heat Storage and Distribution Inside Passive Solar Building" Los Alamos National Laboratory