

EL VIENTO EN LOS EDIFICIOS. ESTADO DE AVANCE.

Jorge Luis Guerrero y Claudia Rita Moreno.

C.E.V.Eq.U. Depto. de Construcciones - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Comahue

Buenos Aires 1400 - Neuquén - (8300)

Teléfono: 099-436184 - Fax: 099-424874- E-mail cevequ@uncoma.edu.ar

Resumen.

El viento en los edificios produce en esencia tres efectos, uno mecánico al cual se lo debe resistir, otro de ventilación forzada, deseable o no y un tercero más sutil que es la alteración de la capacidad aislante de los cerramientos por modificación de la capa límite. El presente trabajo trata sobre el avance en el ensayo del comportamiento de esta capa y los elementos que se emplean para su evaluación.

Introducción.

En la envolvente edilicia, la transferencia de calor por convección es un fenómeno exclusivamente superficial, es decir, que la parte del sector de envolvente comprendida entre las superficies interiores y exteriores no interviene en el proceso. Luego, se tendrán dos calores transferidos por convección en la capa límite de aire que rodea a los cuerpos de una envolvente edilicia; uno en la superficie interior y otro en la exterior. Así:

$$q_{cli} = h_{cli} (T_{si} - T_i) \text{ - superficie interior}$$
$$q_{cle} = h_{cle} (T_e - T_{se}) \text{ - superficie exterior}$$

h_{cli} y h_{cle} : son los coeficientes de transferencia de calor convectivo interior y exterior en $W/m^2\text{C}$. La segunda se muestra en la fig.1.

T_{si} y T_{se} : son las temperaturas de las superficies interior y exterior del sector de envolvente.

El coeficiente h de conducción del calor toma valores diferentes según sea la convección natural o forzada. En el primer caso depende de la diferencia de temperaturas entre la superficie y el ambiente y su pendiente respecto a la vertical. En el segundo, además varía según la orientación de la superficie respecto a la dirección de la corriente de aire.

En esencia se tratan de dos fenómenos superficiales de transferencia de calor por convección, o sea uno en la superficie exterior y otro en la interior. El calor que se gana o pierde a través de una superficie es normal a ésta; se debe tener en cuenta entonces la variaciones de la resistencia de la capa límite con relación al ángulo en que se transmite el calor; además se debe considerar si el calor entra (positivo) o sale (negativo), ya que en el primer caso las capas de aire exterior se asientan en la superficie y el calor entrante provoca la ascensión del aire interior fijándose éste en la superficie interior, siendo de esta manera la resistencia de la capa límite mayor que en el caso del calor que sale.

Modelo de evaluación empleado actualmente.

En base a lo enunciado por Williams Mc Adams en su obra Transmisión del calor [7], para corrientes de aire de velocidades variables normales a una superficie plana y de extrapolaciones basadas en lo enunciado por P. O'Callaghan en Building for Energy Conservation [1], para corrientes con distinto ángulo de ataque y velocidad constante, se configuró un esquema de predicción de la resistencia térmica de la capa límite, que fue profusamente empleado en las

evaluaciones energéticas del Instituto de Arquitectura Solar de La Plata [8,9] y del propio CEVEqU [10].

No obstante la seriedad de las fuentes, el procedimiento nunca ha sido contrastado experimentalmente, con lo que subsiste el interrogante sobre su correlato con el proceso natural.

En esencia se tratan de dos fenómenos superficiales de transferencia de calor por convección, o sea uno en la superficie exterior y otro en la interior. El viento obviamente influye en la exterior.

Sean los valores:

$$h_1 = (1/h) \cdot ((1 + \cos \delta)/3) \quad , \text{ calor hacia afuera } \acute{o}$$

$$h_1 = (1/h) \cdot (1 - \cos \delta/3) \quad , \text{ calor hacia adentro y}$$

$$h_2 = [3,395 + 0,28 \cdot (\cos \gamma \cdot \sin \delta) + 1,977 \cdot (\cos \gamma \cdot \sin \delta)^2] \cdot V_v$$

$$R_{cie} = 1/(h_2 + h_1)$$

$$R_{cli} = 1/h_1$$

donde:

$h = 0,12 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ es el coeficiente de transferencia de calor por convección interior de una superficie vertical, que en esencia depende de la diferencia de temperatura.

γ = es el ángulo entre la dirección del viento y la normal a la superficie ($^\circ$)

δ = es la pendiente de la normal de la superficie ($^\circ$)

V_v = es la velocidad del viento (m/seg.)

Es decir, que en los valores de las resistencias térmicas de las capas límite interiores se debe tener en cuenta la pendiente de la superficie y en las exteriores además de esto la orientación respecto al viento y su velocidad. Figuras 1 y 2 del esquema actual.

Planteo Experimental.

A fin de contrastar la concordancia del modelo expuesto o bien proponer otro con mayor concordancia fáctica lo razonable en primera instancia es la medición directa de los parámetros en cuestión en una situación real. Si bien esta postura es atractiva, ni bien se comienza a analizar los tamaños de los parámetros variables que deben ser medidos, comienzan las dificultades.

Experimentalmente se encuentran algunas dificultades para realizarla sobre objetos en una situación real. Las superficies deberían ser del orden de 10 m^2 , que representen situaciones reales de sectores de envolvente, debería poderse orientar de formas diferentes de manera de presentar distintos ángulos de ataque al viento. Esta propiedad requeriría una construcción muy costosa para permitir su movimiento. Las velocidades del viento por debajo de los 5 Km/h , o sea de $1,4 \text{ m/s}$ aumentan considerablemente la incerteza del dato medido, disminuyendo consecuentemente la validez de la contrastación fenomenológica.

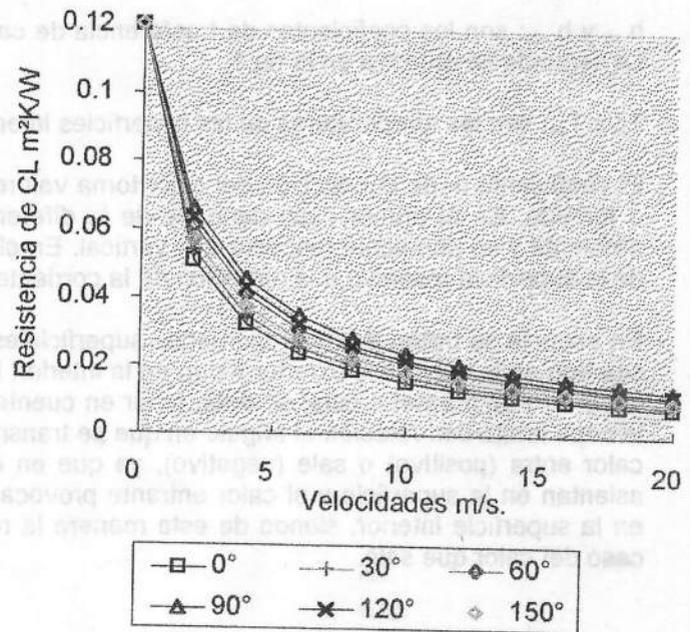


Figura 1

En este aspecto, bajo la tutela del Proyecto de Investigación, se realizó un trabajo de Seminario de Investigación bajo el tema "Medición de Velocidades bajas del viento". Los resultados no son muy halagüeños y resultó un elemento adecuado para no intentar medir este tipo de velocidades.

Haciendo uso de las propiedades que tienen las dimensiones de las magnitudes y los tamaños relativos entre éstas últimas y sus unidades, en la práctica experimental, se acude a la semejanza entre fenómenos para su análisis, evaluación y mediciones.

Acorde con lo expuesto más arriba, quedan dos caminos posibles para realizar la contrastación: la analogía y la semejanza.

Analogía.

La **analogía** consiste en el estudio de un proceso cualquiera mediante la experimentación de otros procesos físicos cualitativamente distintos cuyos vínculos coinciden por su forma matemática. Es decir, cumplen sólo con la primer condición de semejanza pero no con las restantes.

En la actualidad se utilizan mucho los métodos experimentales de investigación de fenómenos diversos basados en la analogía existente entre los fenómenos eléctricos y los dinámicos, térmicos, mecánicos y otros. Por ejemplo, la velocidad $v = e/t$ tendría una analogía en la resistencia eléctrica $R=V/I$.

El método de analogía aplicado a los procesos térmicos ofrece defectos considerables, ya que no permite tener en cuenta las variaciones de las propiedades físicas del medio e incluso los parámetros de interés debidas a la temperatura (viscosidad, conductividad térmica, capacidad calorífica, etc.).

Semejanza.

Haciendo uso de las propiedades que tienen las dimensiones de las magnitudes y los tamaños relativos entre éstas últimas y sus unidades, en la práctica experimental, se acude a la semejanza entre fenómenos para su análisis, evaluación e incluso para mediciones o toma de datos.

En esencia dos procesos físicos son semejantes si ambos tienen el mismo vínculo y todas sus magnitudes son iguales.

Cabe hacer notar que nada implica que el tamaño de las magnitudes sea el mismo. La amplia difusión reside precisamente en esta propiedad, donde las magnitudes pueden tener cualquier valor en su tamaño, haciéndose modelos semejantes para el estudio.

Se han establecido tres condiciones para que dos procesos sean semejantes. Han sido llamados 1º, 2º y 3º teoremas de semejanza, aunque en la realidad sean simples condiciones.

Cuando varios procesos cumplen las mismas leyes físicas, es decir son semejantes según la primer condición, todos sus criterios de semejanza se relacionan entre sí por medio de la ecuación de semejanza.

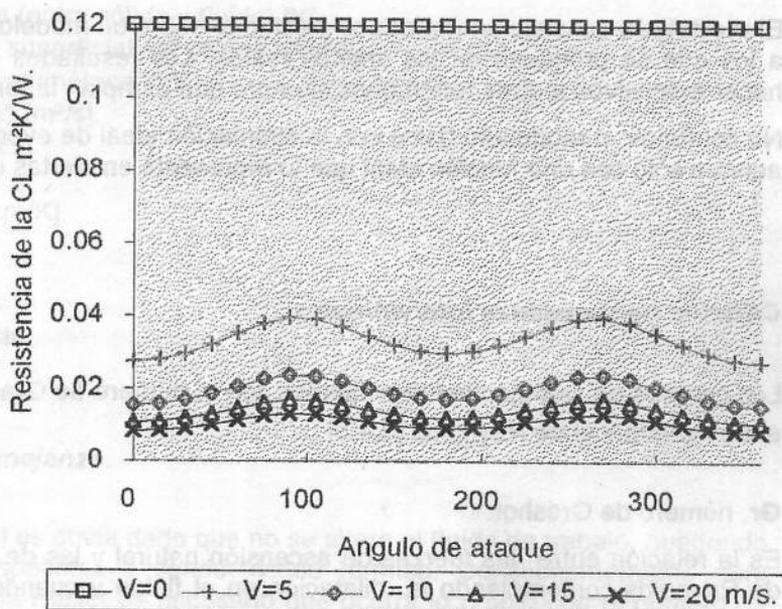


Figura 2

En virtud de la segunda condición, cuando dos procesos son semejantes, todos sus criterios de semejanza son iguales entre sí respectivamente.

Modelado.

La aplicación principal de la teoría de la semejanza es dar base científica a las investigaciones experimentales de los fenómenos complejos por el principio del modelado.

El **modelado** consiste en reproducir y estudiar sobre un modelo procesos cualitativamente iguales a los que se producen en los objetos reales. Los resultados de esos experimentos se pueden hacer extensivos a otros fenómenos siempre que cumplan la tercer condición de semejanza.

No confundir el modelado físico con la simulación ideal de eventos que también se llama **modelo** aunque sólo sea una función ideal que lo represente en ciertas condiciones.

Criterios de semejanza intervinientes.

Los criterios de semejanza intervinientes son el número de Grashof, el de Nusselt, el de Peclet, el de Prandtl y el de Reynolds [2,4,5].

Gr, número de Grashof.

Es la relación entre las fuerzas de ascensión natural y las de viscosidad. Reemplaza al número de Reynolds contemplando la dilatación en el fluido y cuando tiene diferencia de temperaturas con las paredes.

$$Gr = \rho^2 \beta \Delta T l^3 / \mu^2 = g \beta \Delta T l^3 / \tau^2$$

Nu, número de Nusselt.

Es la relación entre la resistencia térmica conductiva y la convectiva.

$$Nu = \alpha l / \lambda_f = \alpha d / \lambda = \alpha l_0 / \lambda$$

Pe, número de Peclet.

$$Pe = Re.Pr = v_0 l_0 / a$$

Pr, número de Prandtl.

Es la relación entre la transferencia viscosa y la del calor, las características térmicas en reposo y movimiento de fluidos o la difusividad molecular del momento y del calor.

$$Pr = \tau / a = \mu c_p / \lambda_f = (\rho / \mu) / (\lambda / \rho c_p)$$

Re, número de Reynolds.

Es la relación de las fuerzas de inercia y viscosidad (o de rozamiento si se multiplican numerador y denominador por $l.v$).

$$Re = l v / \tau_p v l / \mu = v l / \tau = G l / \mu = \eta \rho d^2 / m = v d \rho / m = v_0 l_0 / \tau$$

Nomenclatura.

a	difusividad térmica [m^2/s].
c_p	calor específico [$J/kg.K$].
d	diámetro [m].
G	gasto ó caudal másico [kg/s].
g	aceleración de la gravedad [m/s^2].
l	longitud [m].
v	velocidad [m/s].
ΔT	diferencia de temperaturas (entre sólido y fluido) [K].
α	coeficiente de transmisión superficial del calor [$W/m^2.K$].
β	coeficiente de expansión volumétrica [$1/K$].
τ	viscosidad cinemática (m/r) [m^2/s].
μ	viscosidad dinámica [$kg/m.s$].
ρ	densidad [kg/m^3].
λ	conductividad térmica [$W.m/K$].

Subíndices:

f	fluido.
o	característico o de referencia.
p	presión constante.

Evaluación de los criterios de semejanza.

La constancia del número de Prandtl es obvia dado que no se altera el fluido de trabajo, quedando constantes su viscosidad, calor específico y conductividad térmica. Consecuentemente para obtener la constancia del número de Peclet es necesario que ocurra lo propio con el número de Reynolds, es decir, que siendo constante la viscosidad cinemática, la longitud característica y la velocidad del fluido deberán variar en forma inversamente proporcional. Al disminuir el tamaño de la longitud se debe aumentar la velocidad sin llegar a factores que comprometan la compresibilidad del aire. La conductividad de la capa límite también será inversamente proporcional a esta distancia característica, al mantenerse constante el número de Nusselt [3].

Los casos con velocidad inducida igual a cero del fluido corresponderían ser tratados con el número de Grashof, siendo en este caso inversamente proporcional la diferencia de temperaturas con el cubo de la longitud característica; y reemplazaría en las expresiones al número de Reynolds.

Este caso no es de interés en particular para el programa, con lo cual su estudio no se realizará pero se tendrá en cuenta su influencia en los datos experimentales.

Premisas para la concepción experimental.

Las dimensiones de la muestra deben ser pequeñas, de manera de garantizar el flujo de aire circundante. Al ser pequeña ésta, la velocidad del fluido deberá ser alta, la que se medirá por medio de su presión dinámica sobre un tubo de Pitot o con un anemómetro de alambre caliente; para determinar la resistencia térmica de la capa límite se entregará a la muestra una energía térmica a fin de ser disipada en el aire.

Consecuentemente, se medirán la energía provista y la temperatura superficial de la muestra y la del seno de la vena de aire. Variando los ángulos de ataque de la muestra, se concluirá como resultado la resistencia térmica resultante.

La elaboración de datos relevados en la experimentación constará de una evaluación de su incertidumbre de medición, la que en primera instancia es definida para no superponer valores medidos.

Finalmente, esta elaboración de datos conformará a través de funciones de aproximación, la dependencia de la resistencia térmica de la capa límite respecto a la velocidad y dirección del viento, para superficies del orden de los 3 m de diámetro.

Expresiones de vínculo entre parámetros.

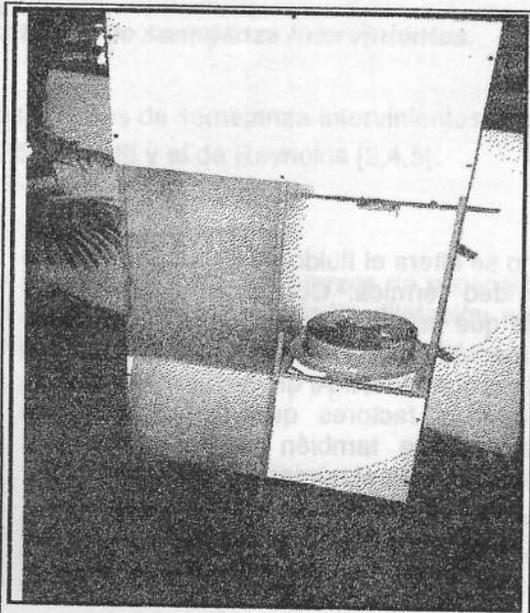
Sin pretender ser conclusivo, las expresiones de vínculo mostradas en el trabajo se resumen la para convección forzada en:

$$Nu = f(\gamma, Re) \cdot g(\gamma, Pr), \text{ para convección forzada.}$$

$$Nu = j(\delta, Gr, Pr), \text{ para convección natural.}$$

La *Función de aproximación* de los datos y las expresiones finales de las funciones f , g y j serán propuestas al analizar los datos experimentales. No obstante se presupone que serán potenciales respecto a los criterios adimensionales y tanto los exponentes como otros valores, posiblemente sean asimilables a alguna función trascendente de los ángulos γ entre la superficie y el flujo de aire o δ entre la primera y la vertical.

Equipo experimental.



El banco de ensayos para registrar los comportamientos térmicos de la capa límite de aire ante distintas velocidades del fluido se ha planteado conteniendo una cámara de medición donde se instala el dispositivo que asemeja la superficie exterior, un conducto que dirige la corriente del fluido con una sección ampliada en la zona de experimentación a los efectos de satisfacer la laminariedad de las corrientes.

Un propulsor con hélice axial aspira el fluido desde la cámara de medición y lo dirige al conducto de inyección de la misma completando un circuito cerrado. una matriz porosa a la salida de cámara de medición neutraliza velocidades diferenciales de flujo en el proceso de aspiración que pudiesen interferir en el comportamiento del ensayo.

En las partes curvas del sistema cerrado, se ubican deflectores para orientar el flujo laminarmente. Para que no cause efectos contraproducentes el movimiento rotativo del propulsor, se colocan a su salida deflectores orientadores rectos.

El caudal está regulado por compuertas colocadas antes del propulsor.

La superficie simulada permite cambiar el ángulo respecto a la dirección de la corriente.

El armazón de contención del sistema y algunas de sus divisiones están previstas en aglomerado de madera de 19mm enchapada en melamina. Los deflectores y partes de los conductos como así las compuertas están previstas en chapa de hierro galvanizado N° 26. El propulsor está compuesto por un extractor monofásico de 1/6 CV. El frente del sistema está compuesto por una lámina de policarbonato transparente a fin de poder visualizar el fenómeno. (ver figura 3)

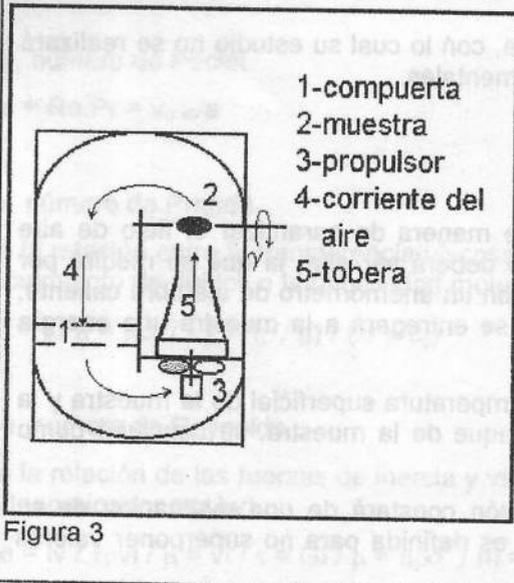


Figura 3

Bibliografía :

- 1.* P. W. O'callaghan - **Building For Energy Conservation**. Pergamon Press - First Edition 1978
- 2.* Brun, Martinot, Lagarde, Mathieu - **Mecánica De Los Fluidos**. Editorial Labor S.A - Primera Edición 1980
- 3.* Hermann Schlichting - **Teoría De La Capa Límite**. Ediciones Urmo - Quinta Edición 1972
- 4.* Necati Özisig - **Basic Heat Transfer**. Robert E. Krieger Publishing Company. Segunda Edición 1987
- 5.* Isachenco, Osipova, Sukomel - **Transmisión De Calor**. Marcombo S.A. De Boixareu Editores - 1973
- 6.* Mataix, Claudio - **Mecánica De Fluidos y Máquinas Hidráulicas**. Harla, México - Segunda Edición
- 7.* Williams Mc Adams .**Transmisión Del Calor**. Mc Graw Hill.
- 8.* J. L.. Guerrero, E. Rosenfeld, O. R. Ravella, N. Giménez. **Modelo Energético para el Programa C. E. S. A. D.** (Conjunto con Energía Solar de Alta Densidad). Actas de la 5^{ta}. Reunión de Trabajo de A. S. A. D. E. S.. Córdoba, Julio de 1979.
- 9.* J. L.. Guerrero, C. Díscoli, E. Rosenfeld, O. R. Ravella, C. Ferreiro. **Prototipo Experimental de La Plata: Primera Campaña De Habitabilidad y Comportamiento Energético**. Actas de la IX Reunión de Trabajo de A. S. A. D. E. S., San Juan. Octubre de 1984.
- 10.* L.. Guerrero . **Método de Diseño Energético**. Actas de la XVI Reunión de Trabajo de la A. S. A. D. E. S. La Plata, Prov. de Buenos Aires. Diciembre de 1993.

INTRODUCCION

El presente trabajo pretende ser un estudio comparativo entre la duración de las reservas de combustibles fósiles y los adelantos tecnológicos en materia que, aquellos, son los utilizados en la mayoría de los casos para construir e mantener la sustentabilidad de éstas.

Seuda como una de las situaciones aplicacional derivada del uso de estas fuentes energéticas, pero también independiente de ese efecto, nos interesa conocer y analizar la realidad que se presenta hoy y replantearnos como puede ser la que seguramente en el futuro se está generando con tales proyectos.

Abordaremos primero lo concerniente a la duración de las reservas.

Las necesidades energéticas en Argentina durante 1992 (1) han sido de 4.18 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), de las cuales: 19.8 millones de TEP (46.9 %) han sido aportadas con petróleo, 11.7 millones de TEP (28.2 %) con gas natural, 1 millón de TEP (2.4 %) con carbón, 1.8 millones de TEP (4.3 %) con energía nuclear y 1.7 millones de TEP (4.07 %) con hidroelectricidad. No se tienen en cuenta en esta estadística el consumo de leña y madera, ya que sólo se incluyen los combustibles que se disponen comercialmente.

Veremos que los combustibles fósiles cubren alrededor del 50 % de la energía primaria necesaria en el país. La misma situación se tiene si se considerara los valores para América Latina y el Caribe (A.L. y C.C.) es decir, los combustibles fósiles implicarían el 50 % de la energía primaria inyectada en este último año.

Por eso es fundamental tener presente la duración de las reservas de fósiles, ya que se prevé, que la misma energía no cambie significativamente durante los próximos años (2).

Las estadísticas sobre las reservas probadas de fuentes energéticas, consideradas no renovables, indicadas en 1994 por la OLADE (3), pueden resumirse en la Tabla 1 para Argentina, América Latina y el Caribe y el total mundial.