

# UA: Acondicionamiento de aire

Año: 2019

---

<b>Horas teóricas</b>	<b>4.0</b>
Horas prácticas	0.0
Total de horas	4.0
Créditos institucionales	8.0
Título del material	Ventilación e Infiltración (segunda parte)
Tipo de unidad de aprendizaje	Curso
Carácter de la unidad de aprendizaje	Optativa
Núcleo de formación	Integral
Programa educativo	Ingeniería Mecánica
Espacio académico	Facultad de Ingeniería
Responsable de la elaboración	Juan Carlos Posadas Basurto

---

# Índice

	<b>Página</b>
Presentación	1
Estructura de la unidad de aprendizaje	2
Contenido de la presentación	4
Calidad del aire interior	7
Cargas térmicas	10
Ventilación natural	19
Flujo de aire a través de grandes aberturas	20
Medición de la fuerza en el envolvente	27
Modelos simplificados de ventilación residencial e infiltración	28
Superposición de efecto de viento y de pila	29

---

	<b>página</b>
Modelo básico	30
Valor de los coeficientes $C_s$ y $C_w$	32
Modelo Mejorado	35
Bibliografía	39

---

# Presentación

- La unidad de aprendizaje Acondicionamiento de Aire es optativa y se sugiere cursarla en el décimo período. No tiene antecedentes ni consecuentes pero se pide que el discente tenga conocimientos de termodinámica, ingeniería térmica, transferencia de calor, mecánica de fluidos y termoquímica (Unidades de Aprendizaje impartidas en el plan de estudios de Ingeniería Mecánica en periodos anteriores).
- El docente debe estar consiente de que la UA de Acondicionamiento de Aire es de aplicación de conocimientos, por lo que tiene que estar capacitado en las mismas áreas que se le solicita al discente.

# Estructura de la unidad de aprendizaje

1. Con base en los distintos arreglos de los sistemas de acondicionamiento de aire, entender su aplicación y diferenciar los elementos que los componen.
2. De las propiedades termodinámicas del aire húmedo y seco, y del agua a la saturación, realizar balances de energía en dispositivos de calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación.
3. Con el conocimiento del manejo e interpretación de la carta psicrométrica, realizar balances de energía en procesos que se realizan para acondicionar el aire.

4. A partir de la calidad ambiental en el interior de un recinto y las condiciones exteriores al mismo, determinar los procesos que acondicionarán el aire para el confort de las personas, animales y/o procesos de manufactura.
5. De la transferencia de calor a través de la construcción en estudio, calcular las cargas de enfriamiento o de calentamiento presentes en recintos residenciales y no residenciales.
6. Con las dimensiones del recinto y la cantidad de aire a suministrar, calcular y seleccionar el sistema de distribución de aire y equipo.

# Contenido de la presentación

- La presentación comprende el punto 6 donde se calcula la cantidad de aire a suministrar mediante ventilación considerando pérdidas (exfiltración) o ganancias (infiltración).
- Por su extensión, el tema se divide en dos presentaciones siendo ésta la segunda.
- Inicia con una descripción de la calidad del aire interior a los recintos.
- Se dan ecuaciones para la obtención de cargas térmicas y se muestra su aplicación con un ejemplo.
- Posteriormente se menciona la ventilación natural y el flujo causado sólo por fuerzas térmicas y su medición en la envolvente del recinto.

- Se dan modelos de ventilación residencial e infiltración.
- Se muestran las ecuaciones y las tablas donde obtener los valores de los coeficientes de efecto pila y efecto viento.
- Finalmente se propone un modelo mejorado a los anteriores.
- La información ha sido tomada del ASHRAE handbook fundamentals (2017) y sus colaboradores.
- Se muestra bibliografía al final del trabajo para que tanto los discentes como el docente puedan profundizar en alguno de los temas.

# Acondicionamiento de aire

Ventilación e infiltración (segunda parte)

# Calidad del aire interior

- Las concentraciones de contaminantes en interiores dependen de la intensidad de las fuentes y de su tasa total de eliminación.
- La experiencia en ingeniería y los estudios de campo indican que un suministro de aire exterior de aproximadamente 10 L/s por cada persona proporciona una calidad de aire interior percibida aceptable en los espacios de oficinas, mientras que las tasas más bajas pueden conducir a un aumento de los síntomas del síndrome del edificio enfermo (Apte et al. 2000 Mendell 1993; Seppanen et al. 1999; Sundell et al. 2011).
- Las fuentes de contaminantes incluyen el aire exterior; fuentes interiores tales como ocupantes, muebles y electrodomésticos; falta de limpieza, así como el uso de productos de limpieza y otros; suelo adyacente al edificio; y materiales de la misma construcción, especialmente cuando son nuevos.

- Los procesos de eliminación de contaminantes incluyen la dilución con aire exterior, ventilación de extracción local, deposición sobre superficies, reacciones químicas y procesos de limpieza de aire.
- Si (1) la ventilación general del edificio es el único proceso significativo de eliminación de contaminantes, (2) el aire interior está bien mezclado y (3) la fuerza de la fuente de contaminantes y la velocidad de ventilación han sido estables durante un período suficiente, entonces la concentración de contaminantes en interiores en estado estacionario está dada por

$$C_i = C_0 + 10^6 S / Q_{oa} \quad (10)$$

- Donde

$C_i$ : concentración en estado estacionario en interiores, ppm,

$C_0$ : concentración al exterior, ppm,

$S$ : concentración total de la fuente de contaminantes,  $m^3/s$ ,

$Q_{oa}$ : tasa de ventilación,  $m^3/s$ .

- La fluctuación en la intensidad de las fuentes contaminantes (en lugar del cambio en la tasa de ventilación) se considera la mayor causa de la variación de edificio a edificio en las concentraciones de contaminantes que no son generados por los ocupantes.

# Cargas térmicas

- El aire exterior introducido en un edificio constituye una gran parte de la carga total de acondicionamiento de espacio, lo cual es una razón para limitar las tasas de cambio de aire al mínimo requerido.
- El intercambio de aire normalmente representa del 20% al 50% de la carga térmica de un edificio moderno, que cumple con el código de ventilación, en climas no templados.
- El efecto sobre las cargas de calefacción tiende a ser mucho mayor que sobre las cargas de refrigeración (McDowell et al. 2003).
- El intercambio de aire aumenta la carga térmica de un edificio debido a que el aire entrante debe calentarse o enfriarse de la temperatura del aire exterior a la temperatura del aire del interior o del suministro.

- La tasa de consumo de energía por este calentamiento o enfriamiento sensible es

$$q_s = Q\rho c_p \Delta T \quad (11)$$

- Donde

$q_s$ : Carga térmica sensible, W.

$Q$ : Tasa de flujo volumétrico de aire, m<sup>3</sup>/s.

$\rho$ : Densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>.

$c_p$ : Calor específico a presión constante del aire, kJ/(kg K)

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas entre interiores y exteriores, K.

- Se asume la presión de aire del nivel del mar para altitudes de 610 m o menos.

- El intercambio de aire también modifica el contenido de humedad del aire en un edificio. La tasa de consumo de energía asociada con estas cargas latentes (despreciando la energía asociada con cualquier condensado) está dada por

$$q_l = Q\rho\Delta W(2501 + 1.805T) \quad (12)$$

- Donde
- $q_l$ : Carga térmica latente, W.
- $\Delta W$ : Diferencia de relación de humedad entre el interior y el exterior,  $kg_{agua}/kg_{aire\ seco}$ .
- $T$ : Promedio de las temperaturas interior y exterior, ° C.

# Ejemplo

- Una unidad de aire de reposición acondiciona 2360 L/s de aire exterior en el invierno para un edificio en Toluca, México. Si el aire se va a enviar directamente a los espacios ocupados a 24° C y 30% HR, ¿cuánto calor sensible y latente se debe agregar a este aire de ventilación en las condiciones de diseño de invierno?
- Datos:  $Q = 2360 \text{ L/s}$ ,  $T_i = 24^\circ \text{ C}$ ,  $\text{HR} = 30 \%$ ,  $c_p = 1.005 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ . Ciudad de Toluca, México.
- Suposiciones: El fluido de trabajo es aire seco y vapor de agua, considerados sustancias puras. El flujo es permanente y se desprecian cambios de energía cinética y potencial. Calores específicos constantes.

- De las tablas de datos meteorológicos proporcionadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Toluca está a una altura de 2720 m, la temperatura del bulbo seco promedio en invierno es de  $-1.4^{\circ}\text{C}$  y 64 % HR.
- De la tabla psicrométrica a nivel del mar y las condiciones de diseño en invierno, la relación de humedad deseada  $W$  a  $24^{\circ}\text{C}$  y 30% de humedad relativa es de aproximadamente  $0.0056\text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ , el volumen específico de aire seco es de  $0.8488\frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{aire seco}}} = \frac{1}{\rho}$ ,  $\rho = 1.178\frac{\text{kg}_{\text{aire seco}}}{\text{m}^3}$ .
- Nuevamente de la tabla psicrométrica a nivel del mar, a  $-1.4^{\circ}\text{C}$  y 64 % HR, la relación de humedad  $W$  es  $0.0018\text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$ .

**TOLUCA, MÉX.**

 LATITUD N 19° 17' 28"  
 LONGITUD W 99° 42' 51"  
 ALTITUD 2720 msnm

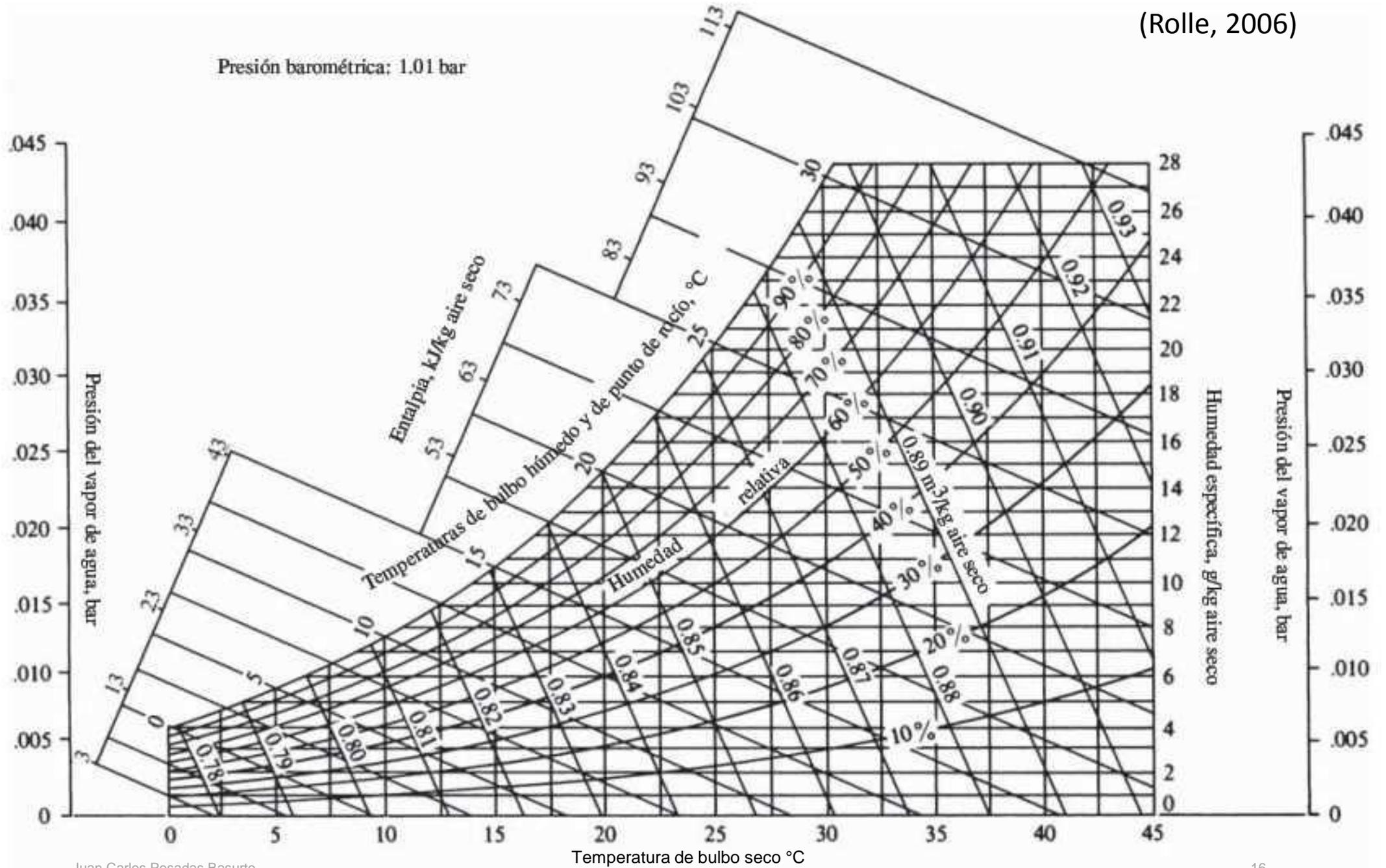
PERIODO 1981-2000

 OBSERVATORIO SINOPTICO  
 DEPENDENCIA: SMN-CNA

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TEMPERATURA</b>													
MAXIMA EXTREMA	23.8	26.1	29.6	29.9	29.9	29.5	24.0	29.4	29.2	23.7	25.1	29.0	29.9
PROMEDIO DE MAXIMA	19.2	20.5	22.3	23.5	23.4	21.4	20.1	20.3	20.2	20.2	20.2	19.4	20.9
MEDIA	8.9	10.1	11.8	13.5	14.7	14.8	14.0	14.0	13.9	12.4	10.8	9.5	12.4
PROMEDIO DE MINIMA	-1.4	-0.3	1.3	3.6	6.0	8.2	7.9	7.7	7.7	4.5	1.3	-0.4	3.8
MINIMA EXTREMA	-10.6	-7.7	-8.1	-4.3	0.3	-1.4	1.9	1.5	-7.1	-4.8	-7.2	-7.0	-10.6
OSCILACION	20.5	20.8	21.1	19.8	17.4	13.2	12.2	12.6	12.5	15.6	18.9	19.8	17.0
TOTAL HORAS INSOLACION	204	139	157	188	198	153	181	174	159	169	201	228	2153
<b>HUMEDAD</b>													
TEMPERATURA BULBO HUMEDO	5.9	6.5	7.2	8.0	9.3	10.6	10.3	10.6	10.7	9.1	7.6	6.5	8.5
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	64	61	58	56	60	68	71	72	72	70	67	65	65
EVAPORACION	84	107	225	166	140	101	90	90	81	81	73	76	1314.2
<b>PRECIPITACION</b>													
TOTAL	9.2	11.4	17.3	26.6	77.8	152.3	160.3	133.9	106.1	58.5	13.8	9.9	777.0
MAXIMA	58.8	43.7	61.0	60.2	163.9	240.8	231.3	229.4	145.3	106.8	62.7	56.3	240.8
MAXIMA EN 24 HRS.	31.7	32.4	35.5	22.4	38.0	73.4	59.3	44.8	42.8	56.3	17.7	30.3	73.4
MAXIMA EN 1 HORA	4.0	15.3	19.4	16.0	30.0	45.6	30.7	33.0	23.9	32.9	14.3	30.3	45.6
<b>PRESION</b>													
MEDIA EN LA ESTACION	737.4	736.9	736.9	737.4	737.5	736.9	738.5	738.1	737.7	738.0	737.9	740.0	737.8
<b>VIENTO MAXIMO DIARIO</b>													
MAGNITUD MEDIA	7.1	9.3	9.0	8.2	7.4	5.6	6.1	5.9	5.7	5.1	6.0	6.0	6.8
<b>FENOMENOS ESPECIALES</b>													
LLUVIA APRECIABLE	2.6	3.1	3.8	6.8	14.2	20.5	24.3	23.5	19.2	11.3	4.5	2.5	136.4
DESPEJADOS	8.3	10.5	10.6	8.4	7.3	5.4	5.5	5.3	4.9	5.4	6.1	6.9	84.8
MEDIO NUBLADOS	15.3	10.8	14.6	12.0	12.4	4.8	3.7	3.5	4.6	9.1	14.6	14.4	119.8
NUBLADO/CERRADO	7.5	6.7	5.7	9.6	11.3	19.9	21.7	22.2	20.4	16.5	9.3	9.7	160.5
GRANIZO	0.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.5	0.1	0.1	0.3	0.0	2.0
HELADA	20.8	14.8	9.4	2.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	3.4	10.5	18.3	79.3
TORMENTA ELECTRICA	0.3	0.3	0.6	1.2	3.9	4.7	4.3	4.3	3.3	2.0	0.8	0.4	25.9
NIEBLA	2.3	1.0	0.5	0.5	0.8	6.3	10.9	10.1	13.3	8.7	6.7	3.1	64.2

(Rolle, 2006)

Presión barométrica: 1.01 bar



- Con 2360 L/s de aire exterior a acondicionar, y usando las ecuaciones (11) y (12), de calor sensible y latente para el nivel del mar, la energía necesaria para acondicionar este aire exterior es

- $q_s = Q\rho c_p \Delta T$

- $q_s = 2360 \left[ \frac{\text{L}}{\text{s}} \right] \left[ \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right] \cdot 1.178 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{m}^3} \cdot 1005 \text{ J}/(\text{kgK}) \cdot (24 - (-1.4))\text{K}$

- $q_s = 70\,967.102 \text{ W} = 70.9 \text{ kW}$

- Y

- $q_l = Q\rho\Delta W(2501 + 1.805T)$

$$\blacksquare q_l = 2360 \left[ \frac{\text{L}}{\text{s}} \right] \left[ \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right] \cdot 1.178 \frac{\text{kg}_{\text{aire seco}}}{\text{m}^3} \cdot (0.8488 - 0.0018) \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}} \cdot (2501 +$$

# Ventilación natural

- La ventilación natural es el flujo de aire exterior causado por el viento y las presiones térmicas a través de aberturas intencionales en el envolvente del edificio.
- En algunas circunstancias, puede controlar eficazmente tanto la temperatura como los contaminantes en climas templados, pero no se considera práctico en climas cálidos y húmedos o en climas fríos.
- El control de la temperatura por ventilación natural es a menudo el único medio de proporcionar enfriamiento cuando el aire acondicionado mecánico no está disponible.
- Las aberturas de ventilación natural incluyen ventanas, puertas, aberturas de buhardilla (monitor) y claraboyas; ventiladores de techo; pilas; y aberturas de entrada o salida especialmente diseñadas.

# Flujo de aire a través de grandes aberturas intencionales

- La relación que describe el flujo de aire a través de una gran abertura intencional se basa en la ecuación de Bernoulli con un flujo constante e incompresible.
- La forma general que incluye presiones de apilamiento, viento y ventilación mecánica a través de la abertura es

$$Q = C_D A \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (13)$$

- Donde  $Q$  es el caudal de aire [m<sup>3</sup>/s],  $C_D$  el coeficiente de descarga para abertura [adimensional] que depende de la geometría de la abertura y del número de Reynolds del flujo,  $A$  el área de la sección transversal de la abertura [m<sup>2</sup>],  $\rho$  la densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>] y,  $\Delta p$  la diferencia de presión a través de la abertura [Pa].

# Caudal causado sólo por el viento

- Los aspectos del viento que afectan la tasa de ventilación incluyen la velocidad promedio, la dirección predominante, la variación estacional y diaria de la velocidad y la dirección, el terreno y las obstrucciones locales, como edificios cercanos, colinas, árboles y arbustos.
- La ecuación (14) muestra la velocidad del aire forzado a través de las aberturas de entrada de ventilación por el viento o determina el tamaño adecuado de las aberturas para producir tasas de flujo de aire determinadas:

$$Q = C_v AU \quad (14)$$

- Donde  $Q$  es el caudal de aire [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $C_v$  el rendimiento de las aberturas (0.5 a 0.6 para vientos perpendiculares y 0.25 a 0.35 para vientos diagonales),  $A$  el área libre de aberturas de entrada [ $\text{m}^2$ ], y  $U$  la velocidad del viento [ $\text{m}/\text{s}$ ].

- Las entradas deben enfrentarse directamente al viento predominante. En caso contrario, el flujo será menor que el predicho por la ecuación anterior
- Si las entradas están inusualmente bien colocadas, el flujo será un poco más. Los lugares de salida deseables son en:
  1. el lado de sotavento del edificio directamente opuesto a la entrada;
  2. el techo, en el área de baja presión causada por la discontinuidad del viento;
  3. en el lado adyacente a la cara de barlovento (zona de baja presión);
  4. en una buhardilla en el lado del sotavento;
  5. en ventiladores de techo; o por apilamiento.
- Las entradas deben colocarse en zonas exteriores de alta presión; Las salidas deben colocarse en regiones exteriores de baja presión.

# Flujo causado sólo por fuerzas térmicas

- Si la resistencia interna del edificio no es significativa, el flujo causado por el efecto de apilamiento se puede expresar mediante

$$Q = C_D A \sqrt{2g\Delta H_{NPL}(T_i - T_o)/T_i} \quad (15)$$

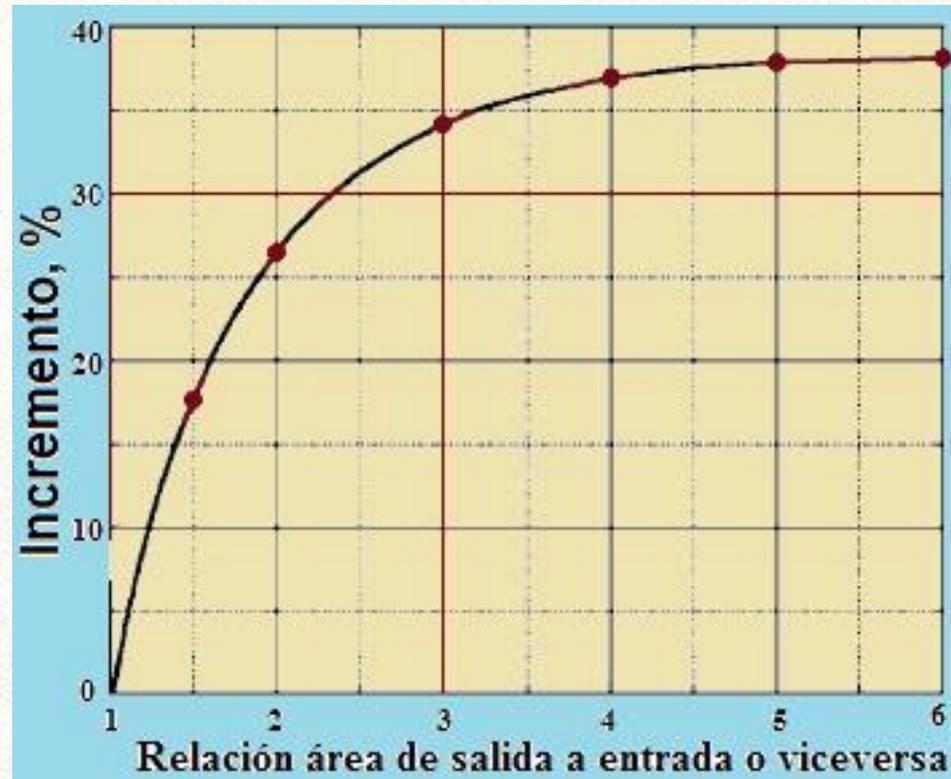
- Donde  $Q$  es la tasa de flujo de aire [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $C_D$  el coeficiente de descarga para la abertura,  $\Delta H_{NPL}$  la altura desde el punto medio de la abertura inferior hasta NPL [m],  $T_i$  la temperatura interior [K] y  $T_o$  la temperatura exterior [K].
- La ecuación anterior se aplica cuando  $T_i > T_o$ . Si  $T_i < T_o$ , reemplazar  $T_i$  en el denominador con  $T_o$ , y reemplazar  $(T_i - T_o)$  en el numerador por  $(T_o - T_i)$ .
- Si el edificio tiene más de una abertura, las áreas de salida y de entrada se consideran iguales. El coeficiente de descarga  $C_D$  tiene en cuenta todos los efectos viscosos tales como la resistencia superficial y la mezcla interfacial.

- La estimación de  $\Delta H_{NPL}$  es difícil para los edificios ventilados naturalmente.
- Si una ventana o puerta representa una fracción grande (aproximadamente el 90%) del área de abertura total en la envoltura, entonces la NPL está a la mitad de altura de dicha abertura y  $\Delta H_{NPL}$  es igual a la mitad de la altura de la abertura.
- Para esta condición, el flujo a través de la abertura es bidireccional (es decir, el aire desde el lado más caliente fluye a través de la parte superior de la abertura y el aire desde el lado más frío fluye a través del fondo).

- La mezcla interfacial se produce a través de la interface de contraflujo y el coeficiente de orificio se puede calcular de acuerdo con la siguiente ecuación (Kiel y Wilson 1986):

$$C_D = 0.4 + 0.0045|T_i - T_o| \quad (16)$$

- Si hay suficientes aberturas disponibles, el flujo de aire a través de la abertura será unidireccional, y la mezcla no puede ocurrir. Entonces se debe utilizar un coeficiente de descarga de  $C_D = 0.65$ .
- El mayor caudal por unidad de área de aberturas se obtiene cuando las áreas de entrada y salida son iguales; las dos ecuaciones anteriores se basan en esta igualdad.
- Aumentar el área de salida sobre el área de entrada (o viceversa) aumenta el flujo de aire pero no en proporción con el área añadida.



Cuando las aberturas no son iguales, se utiliza el área más pequeña en la ecuación (15) y se añade el incremento según lo determinado a partir de la figura mostrada

# Medición de la fuga en el envolvente

- Las aberturas en una envolvente del edificio no son uniformes en geometría y, generalmente, el flujo nunca se desarrolla completamente.
- Cada abertura puede ser descrita por la ecuación comúnmente llamada de la ley de potencia:

$$Q = c(\Delta p)^n \quad (17)$$

- Donde  $Q$  es el flujo de aire a través de la abertura [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $c$  es el coeficiente de flujo, [ $\text{m}^3/(\text{sPa}^n)$ ], y  $n$  el exponente de presión, adimensional.
- Un valor común para  $n$  es alrededor de 0.65. Los valores para  $c$  y  $n$  se pueden determinar para un edificio usando pruebas de presurización de ventilador.

# Modelos simplificados de ventilación residencial e infiltración

- Para el modelado de energía o el cumplimiento de la norma, la tasa de cambio de aire de un edificio en particular no se puede deducir de manera confiable de la construcción o antigüedad del edificio, o de una simple inspección visual.
- La tasa de cambio de aire de un edificio puede ser determinada por
  - (1) la función de ubicación y fuga para cada abertura en la envolvente del edificio y entre las principales zonas de construcción,
  - (2) los coeficientes de presión del viento sobre la envolvente del edificio, y
  - (3) las tasas de flujo de aire de ventilación mecánica.

# Superposición de efectos de viento y de pila.

- Los modelos físicos de infiltración simplificados resuelven el problema de dos fuerzas motrices naturales (viento y pila) por separado y luego las combinan en un proceso llamado superposición.
- Una solución exacta es imposible porque (1) se desconocen las propiedades detalladas de todas las fugas en la construcción y (2) la fuga es un proceso no lineal.
- Sherman (1992b), al igual que Walker y Wilson (1993), encontraron que la cuadratura, mostrada en la Ecuación (18), es una técnica de superposición robusta:

$$Q = \sqrt{Q_w^2 + Q_s^2} \quad (18)$$

# Modelo básico

- Utilizando un área efectiva de fuga de aire, la tasa de flujo de aire de la infiltración se calcula como sigue

$$Q = \frac{A_L}{1000} \sqrt{C_s |\Delta T| + C_w U^2} \quad (19)$$

- Donde

$Q$ : tasa de flujo de aire, m<sup>3</sup>/s,

$A_L$ : área efectiva de fuga de aire, cm<sup>2</sup>,

$C_s$ : coeficiente de apilamiento, (L / s)<sup>2</sup>/(cm<sup>4</sup>K),

$\Delta T$ : diferencia media de temperatura interior-exterior para el intervalo de tiempo de cálculo, K,

$C_w$  : coeficiente de viento,  $(L / s)^2/[cm^4(m/s)^2]$ , y

$U$  : velocidad media del viento medida en la estación meteorológica local para el intervalo de tiempo de cálculo, m / s.

# Valor de los coeficientes $C_s$ y $C_w$

- Se dan valores de  $C_s$  para casas de uno, dos y tres pisos.
- El terreno utilizado para la conversión de velocidades meteorológicas a vientos locales es el de un área rural con obstáculos dispersos.
- Tasa de flujo de aire exterior 0.5 L/s (la mitad de la fuga del edificio en las paredes).
- La fracción de aire exterior 0 (cantidades iguales de fugas en el piso y el techo).
- Alturas de edificios de uno, dos y tres pisos 2.5, 5.0 y 7.5 m, respectivamente.
- Se presentan los valores de  $C_w$  para casas de uno, dos y tres pisos en las clases de refugio 1 a 5.

### Coefficiente de pila para modelo básico $C_s$

	Altura de la casa (pisos)		
	Uno	Dos	Tres
Coficiente de la pila	0.000 145	0.000 290	0.000 435

### Clases de refugios locales

Clase	Descripción
1	Sin obstrucciones ni blindaje local
2	Típico refugio para una casa rural aislada
3	Abrigo típico causado por otros edificios a través de la calle del edificio bajo estudio
4	Abrigo típico para edificios urbanos en lotes más grandes donde los obstáculos de protección están a más de una altura de edificio
5	Abrigo típico producido por edificios u otras estructuras inmediatamente adyacentes (más cerca de una altura de la casa): por ejemplo, casas vecinas del mismo lado de la calle, árboles, arbustos.

## Coeficiente de viento para modelo básico $C_w$

Clase de refugio	Altura de la casa (pisos)		
	Uno	Dos	Tres
1	0.000 319	0.000 420	0.000 494
2	0.000 246	0.000 325	0.000 382
3	0.000 174	0.000 231	0.000 271
4	0.000 104	0.000 137	0.000 161
5	0.000 032	0.000 042	0.000 049

# Modelo mejorado

- Para una sola zona se calcula las tasas de infiltración de aire en casas basadas en el modelo de Walker y Wilson (1998). La tasa de flujo de aire de la pila y la infiltración del viento es

$$Q_s = cC_s\Delta T^n \quad (20)$$

$$Q_w = cC_w(sU)^{2n} \quad (21)$$

- Donde  $Q_s$  el caudal de aire de la pila [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $Q_w$  es el caudal de aire del viento [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $c$  el coeficiente de flujo [ $\text{m}^3/(\text{sPa})^n$ ],  $C_s$  el coeficiente de la pila,  $(\text{Pa}/\text{K})^n$ ,  $C_w$  el coeficiente de viento,  $(\text{Pa}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2)^n$ ,  $s$  el factor de vivienda,  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas ( $T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}$ ) [K],  $n$  el exponente de presión.

- Para los valores tabulados de  $C_s$ ,  $C_w$  y  $s$ , se consideró:
  - cada piso de 2.5 m de alto,
  - la chimenea de 15 cm de diámetro y de 2 m por encima del techo superior,
  - la chimenea está descubierta,
  - la mitad de la fuga de la envoltura (sin incluir la chimenea) está en las paredes y una cuarta parte está en el piso y el techo, respectivamente,
  - $n = 0,67$ .

<b>Multiplicador de velocidad de viento modelo mejorado <math>G</math></b>							
		<b>Altura de la casa (pisos)</b>					
		<b>Uno</b>	<b>Dos</b>	<b>Tres</b>			
$G$		0.48	0.59	0.67			
<b>Coefficientes de viento y pila para modelo mejorado</b>							
		<b>Un piso</b>		<b>Dos pisos</b>		<b>Tres pisos</b>	
<b>Chimenea</b>		<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>
$C_s$		0.054	0.069	0.078	0.089	0.098	0.107
$C_w$	Para losa de sótano	0.156	0.142	0.170	0.156	0.170	0.167
$C_w$	Para espacio de arrastre	0.128	0.128	0.142	0.142	0.151	0.154

### Factor de alojamiento $s$ para modelo mejorado

Clase de refugio	Un piso		Dos pisos		Tres pisos	
	Sin chimenea	Con chimenea	Sin chimenea	Con chimenea	Sin chimenea	Con chimenea
1	1.00	1.10	1.07	1.07	1.06	1.06
2	0.90	1.02	0.98	0.98	0.97	0.97
3	0.70	0.86	0.81	0.81	0.79	0.79
4	0.50	0.70	0.64	0.64	0.61	0.61
5	0.30	0.54	0.47	0.47	0.43	0.43

# Bibliografía

- Apte, M. G., Fisk, W. J. & Daysey, J. M., 2000. Associations between indoor CO<sub>2</sub> concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings; An analysis of hte 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air*, 10(4), pp. 246-257.
- Gobierno de México, 2019. *Gobierno de México. CONAGUA*. [En línea] Available at: <https://smn.conagua.gob.mx/es/> [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- Kiel, D. E. & Wilson, D. J., 1986. Gravity driven airflows through open doors,15.1. *Proceedings of the 7TH IEA Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre*. UK: Stratford-upon\_Avon.

- MaDowell, T. P., Emmerich, S., Thornton, J. W. & Walton, G., 2003. Integration of airflow and energy simulation using CONTAM and TRNSYS. *ASHRAE Transactions*, 109(2), pp. 757-770.
- Mendell, M. J., 1993. Non-specific symptoms in office workers: A review and summary of the epidemiologic literature. *Indoor Air*, 96(2), pp. 227-236.
- Rolle, K. C., 2006. *Termodinámica*. Sexta ed. México: Pearson Edición.
- Seppanen, O. A., Fisk, W. J. & Mendell, M. J., 1999. Association of the ventilation rates and CO<sub>2</sub> concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9(4), pp. 226-252.
- Sherman, M. H., 1992. Superposition in infiltration modeling. *Indoor Air*, Volumen 2, pp. 101-114.

- Sundell, J. y otros, 2011. Ventilation rates and health: Multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*, 21(3), pp. 191-204.
- Walker, I. S. & Wilson, D. J., 1993. Evaluating models for superposition of wind and stack effects in air infiltration. *Building and Environment*, 28(2), pp. 201-210.
- Walker, I. S. & Wilson, D. J., 1998. Field validation of algebraic equations for stack and wind driven air infiltration calculations. *International Journal of HVAC&R Research (now Science and Technology for the Built Environment)*, 4(2), pp. 119-140.