

# 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 (primera 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
Introducción	7
Infiltración y exfiltración	8
Aire de ventilación	9
Movimiento de aire de la habitación	11
Mezcla perfecta	15
Distribución de aire bajo suelo	16
Aire de suministro	18

---

---

	<b>página</b>
División de los recintos	19
Mecanismos de conducción para ventilación e infiltración	20
Pila de presión	21
Presión del viento	27
Coefficiente de presión de la superficie del viento	29
Combinación de fuerzas impulsoras	34
Nivel de presión neutra	36
Coefficiente de empuje térmico	38
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 primera.
- Inicia con una introducción explicando la necesidad de ventilar recintos.
- Posteriormente se dan las definiciones de infiltración, exfiltración y aire de ventilación.
- Se revisa el movimiento ideal del aire en la habitación así como la mezcla perfecta.

- Se considera la distribución del aire bajo suelo, el aire de suministro y la división de los recintos.
- Se dan los mecanismos de conducción para la ventilación y la infiltración.
- Se define pila de presión y presión del viento.
- Se dan las ecuaciones del coeficiente de presión de la superficie del viento y de la combinación de fuerzas impulsoras.
- 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 (primera parte)

# Introducción

- La comodidad y la calidad del aire interior (IAQ, Indoor Air Quality) dependen de la regulación térmica, del control de fuentes contaminantes internas y externas, del suministro aceptable de aire y la eliminación de aire inaceptable, actividades y preferencias de los ocupantes, la construcción, así como del funcionamiento y el mantenimiento adecuados de los sistemas del recinto.
- El cambio de las tasas de ventilación y de infiltración para resolver problemas de confort térmico y reducir el consumo de energía puede afectar la calidad del aire.
- El aire exterior que fluye a través de un edificio se utiliza a menudo para diluir y eliminar los contaminantes del aire interior. Sin embargo, la energía requerida para acondicionar este aire exterior puede ser una porción significativa de la carga total de acondicionamiento del espacio.

# Infiltración y exfiltración

- La infiltración es el flujo de aire exterior en un edificio a través de grietas y otras aberturas involuntarias y mediante el uso normal de puertas exteriores para entrada y salida. La infiltración también se conoce como fuga de aire en un edificio.
- La exfiltración es una fuga de aire interior de un edificio a través de tipos similares de aberturas.
- Al igual que la ventilación natural, la infiltración y la exfiltración son impulsadas por diferencias de presión naturales y / o artificiales.
- El aire de transferencia es el aire que se mueve de un espacio interior a otro, intencionalmente o no.

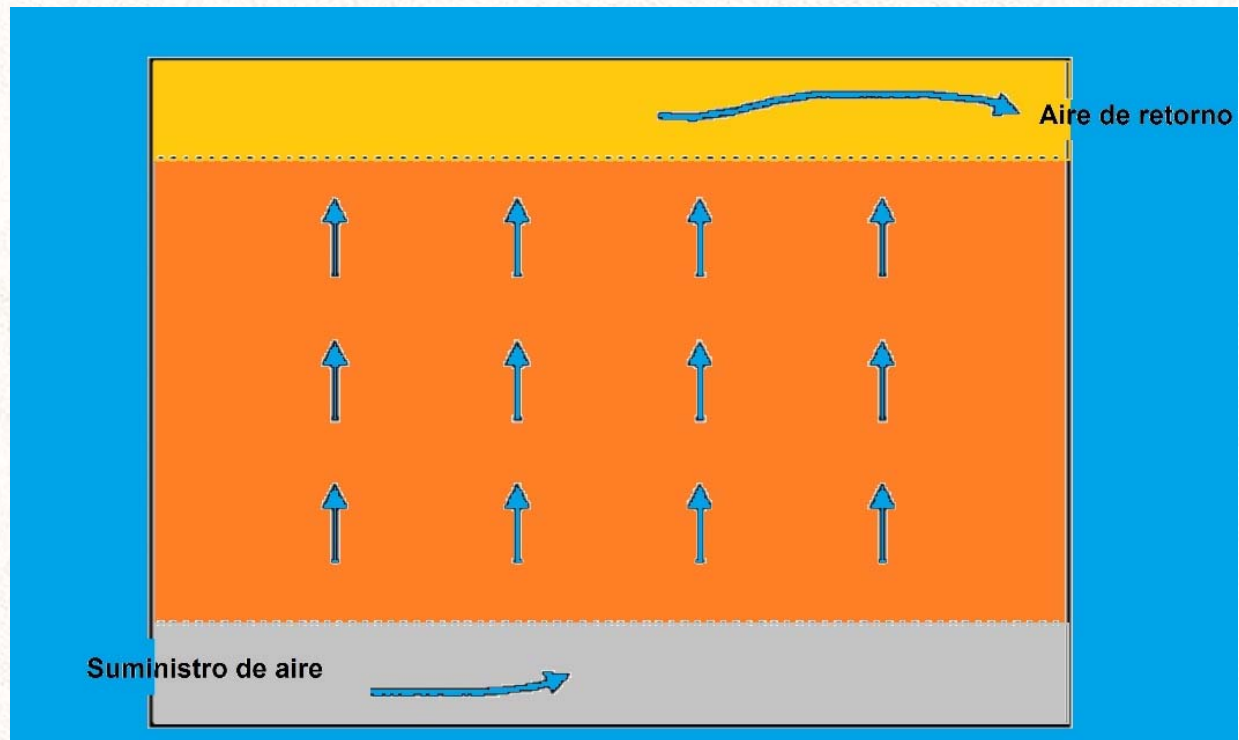
# Aire de ventilación

- El aire de ventilación se utiliza para proporcionar una calidad de aire interior aceptable.
- Puede estar compuesto de ventilación mecánica o natural, infiltración, aire recirculado adecuadamente tratado, aire de transferencia, o una combinación apropiada, aunque los medios permitidos para proporcionar aire de ventilación varían en las normas y directrices.
- La tasa de flujo de aire (exterior e interior) de suministro es la requerida para satisfacer la carga térmica.

- Los sistemas convencionales de aire acondicionado para edificios comerciales e institucionales tienen aproximadamente 10% a 40% de aire exterior.
- Cuando se utiliza aire exterior a través de ventilación mecánica, como es común en edificios comerciales e institucionales, este aire exterior es generalmente entregado en espacios como todo o parte del aire de suministro.
- Se debe determinar la magnitud del flujo de aire exterior hacia el edificio para dimensionar adecuadamente el equipo de acondicionamiento de aire y evaluar el consumo de energía (si es necesario).

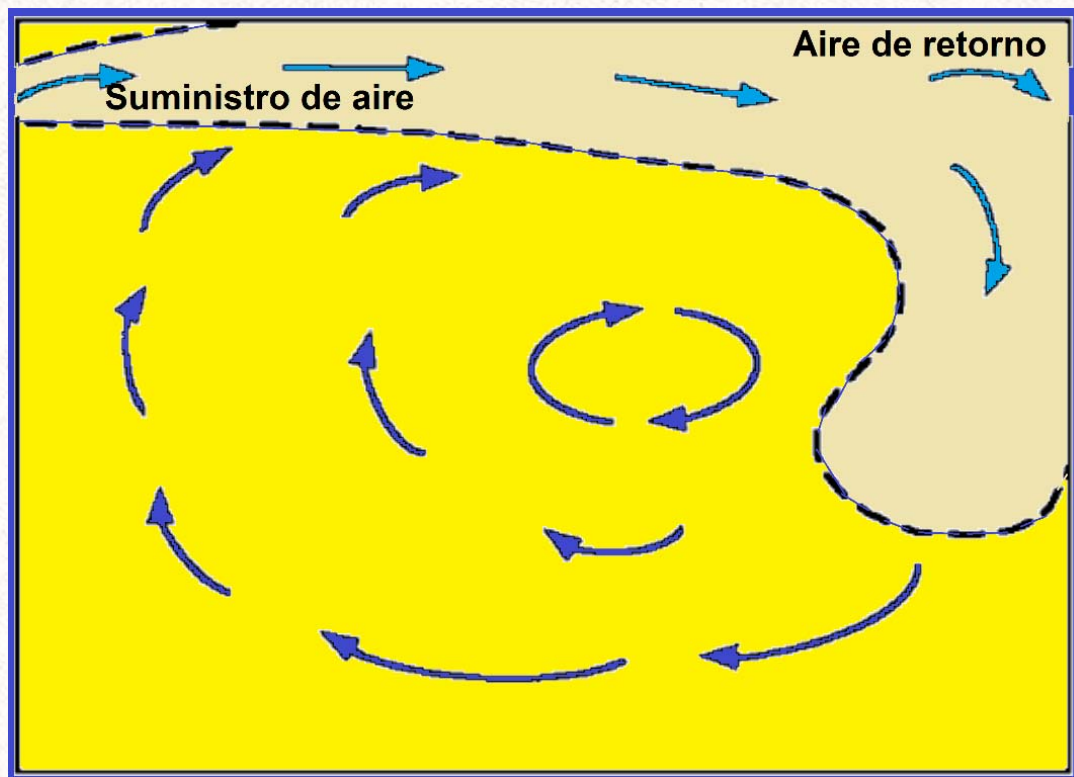
# Movimiento de aire de la habitación

- El movimiento de aire dentro de los espacios afecta la difusión del aire de ventilación y, por lo tanto, la calidad del aire interior y la comodidad.
- Dos patrones de flujo distintos se utilizan comúnmente para caracterizar el movimiento del aire en las habitaciones: flujo de desplazamiento y flujo de arrastre.
- El flujo de desplazamiento es el movimiento del aire tipo émbolo dentro de un espacio.
- Idealmente, no se produce ninguna mezcla del aire ambiente, lo cual es deseable para eliminar contaminantes generados dentro de un espacio.



- El flujo de arrastre, también se conoce como mezcla convencional.
- Los sistemas con difusores de techo que suministran aire y rejillas de aire de retorno son comunes en sistemas de distribución de aire que producen flujo de arrastre.
- El flujo de arrastre con mezcla muy pobre en la habitación se denomina flujo de cortocircuito porque gran parte del aire de suministro sale de la habitación sin mezclarse con el aire ambiente.



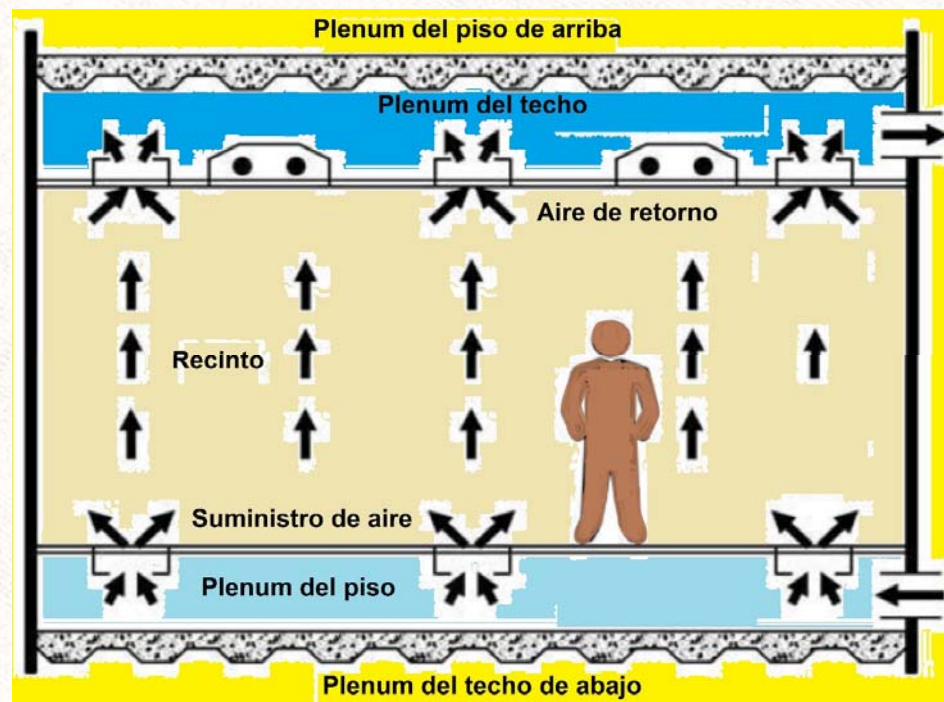


# Mezcla perfecta

- La mezcla perfecta se produce cuando el aire de suministro se distribuye instantánea y uniformemente por todo el espacio.
- Se conoce también como mezcla completa o uniforme.
- El aire se puede llamar bien agitado o bien mezclado.
- Este rendimiento teórico se aproxima mediante sistemas de flujo de arrastre que tienen un buen mezclado y sistemas de flujo de desplazamiento que permiten demasiada mezcla (Rock et al., 1995).

# Distribución de aire bajo suelo

- La distribución de aire bajo suelo es un método híbrido de acondicionamiento y ventilación de espacios (Bauman & Daly 2003).
- El aire se introduce a través de una cámara de piso (plenum de piso), con o sin conductos de derivación o unidades terminales, y es entregado a un espacio mediante difusores montados en el suelo.
- El aire combinado se mueve entonces verticalmente a través del espacio, con mezcla reducida, hacia retornos o escapes colocados en o cerca del techo.
- Este movimiento vertical ascendente del aire está en la misma dirección que las plumas térmicas y contaminantes creados por los ocupantes y el equipo común.



# Aire de suministro

- El aire de suministro que entra en un espacio a través de un difusor también se conoce como aire primario.
- Se forma un chorro cuando este aire primario sale del difusor.
- El aire secundario es el aire ambiente arrastrado en el chorro.
- El aire total es la combinación de aire primario y secundario en un punto específico en un chorro.
- El término aire primario también se utiliza para describir el suministro de aire a las cajas de mezcla accionadas por ventilador mediante una unidad central de tratamiento de aire.

# División de los recintos

- Para evaluar la calidad del aire interior y el confort térmico, los recintos se dividen en dos partes:
  1. la zona ocupada y
  2. el volumen restante del espacio.
- A menudo, este volumen restante es únicamente el espacio por encima de los ocupantes y se denomina zona de techo.
- La zona ocupada suele definirse como la más baja de 1.8 m de un recinto, aunque a veces se deducen capas cerca del piso y las paredes.
- Normalmente no se incluyen en las zonas ocupadas o en el techo los plenum de techo y suelo.
- Las zonas térmicas son diferentes de estas zonas de aire del recinto.

# Mecanismos de conducción para ventilación e infiltración

- La ventilación e infiltración naturales son generadas por la variedad de presiones a través de la envolvente del edificio causadas por el viento y la desigualdad de densidad del aire provocada por las diferencias de temperatura entre el aire interior y exterior (flotabilidad o efecto chimenea).
- Los sistemas mecánicos que provocan movimiento de aire también inducen diferencias de presión a través del envolvente.
- La diferencia de presión interior / exterior en una ubicación depende de la magnitud de estos mecanismos de accionamiento así como de las características de las aberturas en la envolvente del edificio (es decir, sus ubicaciones y la relación entre la diferencia de presión y el flujo de aire para cada abertura).

# Pila de presión

- La pila de presión es la presión hidrostática causada por la masa de una columna de aire situada dentro o fuera de un edificio.
- También puede ocurrir dentro de un elemento de flujo, tal como un conducto o chimenea que tiene separación vertical entre su entrada y salida.
- La presión hidrostática en el aire depende de la densidad y la altura de interés por encima de un punto de referencia.
- No deben utilizarse las condiciones estándar para calcular la densidad.
- Asumiendo que la temperatura y la humedad relativa son constantes sobre la altura de interés, la pila de presión disminuye linealmente a medida que aumenta la distancia por encima del punto de referencia.



- Para una sola columna de aire, la pila de presión se puede calcular como

$$p_s = p_r - \rho g H \quad (1)$$

- Donde

$p_s$ : Pila de presión, Pa.

$p_r$ : Pila de presión a la altura de referencia, Pa.

$g$ : Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>.

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

$H$ : Altura sobre el plano de referencia, m.

- Para edificios altos o cuando se produce una estratificación significativa de la temperatura en interiores, la ecuación (1) debe modificarse para incluir el gradiente de densidad sobre la altura del edificio.
- La temperatura y, por lo tanto, las diferencias de densidad del aire entre el interior y el exterior causan diferencias de presión en la pila que impulsan los flujos de aire a través de la envoltura del edificio.
- El efecto de la pila es este fenómeno de flotabilidad.

- El edificio se caracteriza entonces por una altura de pila efectiva y un nivel de presión neutral (NPL, Neutral Pressure Level) o distribución de fugas.
- Una vez calculados, estos parámetros pueden usarse en modelos físicos de una sola zona para estimar la infiltración.
- Despreciando gradientes de densidad vertical, la diferencia de presión de la pila para una fuga horizontal en cualquier posición vertical viene dada por

$$\Delta p_s = (\rho_0 - \rho_i)g(H_{NPL} - H) = \rho_0 \left( \frac{T_i - T_0}{T_i} \right) g(H_{NPL} - H) \quad (2)$$

- Donde
- $T_i$ : Temperatura interior, K.
- $T_0$ : Temperatura exterior, K.
- $\rho_0$ : Densidad del aire exterior, kg/m<sup>3</sup>.
- $\rho_i$ : Densidad del aire interior, kg/m<sup>3</sup>.
- $H_{NPL}$ : Altura del nivel de presión neutra arriba del plano de referencia sin otras fuerzas transmisoras, m.

- Por convención, las diferencias de presión de la pila son positivas cuando el edificio está presurizado con respecto al exterior, lo que provoca el flujo fuera del edificio.
- Por lo tanto, estando ausentes otras fuerzas transmisoras y asumiendo que no hay efecto de pila dentro de los elementos de flujo mismos, cuando el aire interior es más caliente que el aire libre, la base del edificio se despresuriza y la parte superior se presuriza con respecto al exterior.
- Cuando el aire interior está más frío que en el exterior, el inverso es cierto.
- En algunas elevaciones en el edificio la presión en el interior es igual a la del exterior: esta altura es el nivel de presión neutral.
- Con barreras horizontales efectivas en edificios altos es posible tener más de una NPL.

# Presión del viento

- El viento al impactar y fluir alrededor de un edificio, crea una distribución de presiones estáticas en la superficie exterior que depende de su dirección, velocidad, densidad del aire, orientación superficial y condiciones circundantes.
- Las presiones del viento son generalmente positivas con respecto a la presión estática en la corriente de aire no perturbada en el lado de barlovento de un edificio y negativa en los lados de sotavento y el techo.
- Las presiones estáticas sobre las superficies del edificio son casi proporcionales a la presión de la corriente de aire no perturbada.

- La presión del viento viene dada por la ecuación de Bernoulli, suponiendo que no hay cambio de altura ni pérdidas de presión:

$$p_w = C_p \rho \frac{U^2}{2} \quad (3)$$

- Donde

$p_w$ : presión superficial del viento relativa a la presión estática al aire libre en el flujo no perturbado, Pa,

$C_p$ : coeficiente de presión de la superficie del viento, sin dimensiones,

$\rho$ : densidad del aire exterior, kg/m<sup>3</sup> (alrededor de 1.2 en el nivel del mar o cerca del mismo),

$U$ : velocidad del viento, m/s.

# Coeficiente de presión de la superficie del viento

- $C_p$  es una función de la ubicación en la envolvente del edificio y la dirección del viento. Walker y Wilson (1994) desarrollaron una función trigonométrica armónica para interpolar entre los coeficientes de presión media superficiales en una pared que fueron medidos con el viento normal a cada una de las cuatro superficies del edificio. Esta función fue desarrollada para edificios de poca altura (tres pisos o menos). Para cada pared del edificio,  $C_p$  está dada por

- $$C_p(\theta) = 1/2 \left\{ [C_p(1) + C_p(2)](\cos^2(\theta))^{1/4} + [C_p(1) - C_p(2)](\cos(\theta))^{3/4} + [C_p(3) + C_p(4)](\sin^2(\theta))^2 + [C_p(3) - C_p(4)]\sin(\theta) \right\} \quad (4)$$



- Si  $\cos(\phi)$  es negativo, restar el valor del absoluto de  $\cos(\phi)$  a la potencia  $3/4$ .
- Donde
- $C_p(1)$ : Coeficiente de presión cuando el viento está a  $0^\circ$ .
- $C_p(2)$ : Coeficiente de presión cuando el viento está a  $180^\circ$ .
- $C_p(3)$ : Coeficiente de presión cuando el viento está a  $90^\circ$ .
- $C_p(4)$ : Coeficiente de presión cuando el viento está a  $270^\circ$ .
- $\phi$ : Ángulo del viento medido en el sentido de las manecillas del reloj desde la normal a la pared 1.

- Los datos medidos utilizados para desarrollar la función armónica de Akins et al. (1979) y Wiren (1985) muestran que los valores típicos de los coeficientes de presión son

$$C_p(1) = 0.6$$

$$C_p(2) = -0.3$$

$$C_p(3) = C_p(4) = -0.65$$

- Debido a los efectos de la geometría en el flujo alrededor de un edificio, la aplicación de esta función de interpolación se limita a los edificios de poca altura de planta rectangular en sitios planos, sin rasgos distintivos, con la pared más larga menos de tres veces la longitud de la pared más corta.

- Además de la reducción de las presiones del viento causada por la disminución de su velocidad, se tienen también efectos del refugio local.
- Protección de árboles, arbustos y otros edificios dentro de las alturas de varios edificios de un edificio en particular producen turbulencia a gran escala que reducen la velocidad efectiva del viento y alteran la dirección del viento.
- Wilson y Walker (1991) recomiendan estimar la protección del viento para los vientos perpendiculares a cada lado del edificio y luego usar la función de interpolación en la ecuación siguiente para encontrar la protección del viento para ángulos de viento intermedios:

- $$s = \frac{1}{2} \{ [s(1) + s(2)](\cos^2(\phi)) + [s(1) - s(2)](\cos(\phi)) + [s(3) + s(4)](\sin^2(\phi)) + [s(3) - s(4)](\sin(\phi)) \} \quad (5)$$

- Donde

$s$ : Factor de protección para la dirección del viento particular  $\phi$ .

$s(i)$ : Factor de protección cuando el viento es normal a la pared  $i$  ( $i = 1$  a  $4$ , para cuatro lados de un edificio).

- La velocidad del viento usada en la Ecuación (3) es entonces dada por

$$U = sU_H \quad (6)$$

# Combinación de fuerzas impulsoras

- Las diferencias de presión causadas por el viento, el efecto de apilamiento y los sistemas mecánicos se consideran combinados al sumarlos y luego determinar la tasa de flujo de aire resultante a través de cada envolvente del edificio.
- Para temperaturas uniformes de aire interior, la diferencia de presión total a través de cada fuga se puede escribir en términos de un parámetro de viento de referencia  $P_U$  y el parámetro de efecto de pila  $P_T$  común a todas las fugas:

$$P_U = \rho_0 \frac{U_H^2}{2} \quad (7)$$

$$P_T = g\rho_0[(T_i - T_0)/T_i] \quad (8)$$

- La diferencia de presión a través de cada fuga, con presiones positivas para el flujo en el edificio, entonces es dada por

$$\Delta p = s^2 C_p P_U + H P_T + \Delta p_I \quad (9)$$

- Donde  $\Delta p_I$  es la presión que actúa para equilibrar las entradas y salidas, incluyendo los flujos del sistema mecánico.
- Cada fuga se define por sus coeficientes de presión, de protección y de altura. Cuando las presiones internas no son uniformes, se requieren análisis más complejos.

# Nivel de presión neutra

- El NPL varía y es la altura o alturas en la envolvente del edificio donde, en ese instante en particular, no hay diferencia de presión interior-exterior.
- Las divisiones internas, las escaleras, los pozos de ascensor, los conductos de servicios públicos, las chimeneas, los respiraderos, las ventanas operables y los sistemas mecánicos de suministro y escape complican la predicción de la ubicación de la NPL.
- Cuanto más alto es el edificio y más pequeñas son sus resistencias internas al flujo de aire, más fuerte es el efecto de pila.
- El efecto de apilamiento se puede reducir sellando el edificio internamente entre los pisos, las puertas de los ascensores, las escaleras y las tuberías, ductos y penetraciones eléctricas.

- El efecto de la ventilación mecánica sobre las diferencias de presión de envolvente es más complejo y depende tanto de la dirección del flujo de ventilación (escape o suministro) como de las diferencias en estos flujos de ventilación entre las zonas del edificio.
- Presurizar todos los niveles de manera uniforme tiene poco efecto sobre las diferencias de presión entre pisos y cerramientos de ejes verticales, pero presurizar los pisos individuales aumenta la caída de presión en estas separaciones internas.
- Los datos disponibles sobre la NPL en varios tipos de edificios son limitados.



# Coeficiente de empuje térmico

- La suma de las diferencias reales de presión superior e inferior, divididas por la diferencia de presión teórica total, es igual al coeficiente de empuje térmico y depende de la resistencia al flujo de aire de las paredes exteriores en relación con la resistencia al flujo de aire entre los pisos.
- Manteniendo hermeticidad entre los pisos y de los pisos a los ejes verticales es una manera de controlar las diferencias de presión interior / exterior debido al efecto de apilamiento y, por lo tanto, a la infiltración y exfiltración.
- Una buena separación es también propicio para el funcionamiento adecuado de la ventilación mecánica y sistemas de gestión del humo.
- Sin embargo, se debe cuidar evitar diferencias de presión que podrían impedir la apertura de la puerta en caso de emergencia.

# Bibliografía

- Akins, R. E., Peterka, J. A. & Cemak., J. E., 1979. Averaged pressure coefficients for rectangular buildings. En: Proceedings of the Fifth International Wind Engineering Conference. Fort Collins, pp. 369-380.
- ASHRAE, 2017. Fundamentals (SI Edition). 2017 SI ed. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers, Inc..
- Bauman, F. & Daly, A., 2003. Underfloor air distribution design guide, ASHRAE.
- Rock, B. A., Brandemuehl, M. J. & Anderson, R., 1995. Toward a simplified design method for determining the air change effectiveness. ASHRAE Transactions, 101(1)(Paper 3852), pp. 217-227.

- Walker, I. S. & Wilson, D. J., 1994. Practical methods for improving estimates of natural ventilation rates. Buxton, UK, Proceedings of the 15th IEA Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre. pp 517-526.
- Wilson, D. J. & Walker, I. S., 1991. Wind shelter effects on air infiltration for a row of houses. Ottawa, ON, Proceedings of the 12th IEA Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre, pp. 335-346.
- Wiren, B. G., 1984. Wind pressure distributions and ventilation losses for a single-family house as influenced by surrounding buildings-A wind tunnel study. Proceedings of the Air Infiltration Centre Wind Pressure Workshop, pp. 75-101